

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERBANDINGAN *BUBBLE DECK SLAB*  
DENGAN PELAT LANTAI KONVENSIONAL  
(Studi kasus: Muhammadiyah Boarding School Pleret  
Bantul)**

**(*COMPARATIVE ANALYSIS OF BUBBLE DECK SLAB  
WITH CONVENTIONAL FLOOR SLAB*)  
(*Case Study: Muhammadiyah Boarding School Pleret  
Bantul*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**NAUFAL ARRASYID  
20511217**

**PROGAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2025**

## TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN *BUBBLE DECK SLAB* DENGAN  
PELAT LANTAI KONVENSIONAL  
(Studi kasus: Muhammadiyah Boarding School Pleret Bantul)  
(*COMPARATIVE ANALYSIS OF BUBBLE DECK SLAB WITH  
CONVENTIONAL FLOOR SLAB*)  
(Case Study: Muhammadiyah Boarding School Pleret Bantul)**

Disusun oleh

**Naufal Arrasyid  
20511217**


Telah diterima sebagai satu persyaratan untuk  
Memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 26 Februari 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

27/02  
28



**Jafar, S.T., M.T., MURP.**  
NIK: 185111305

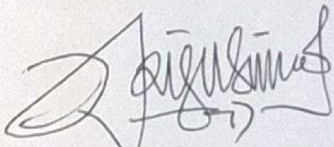
Penguji I



**Elvis Saputra S.T., M.T.**  
NIK : 205111302

Penguji II

05/03 2025

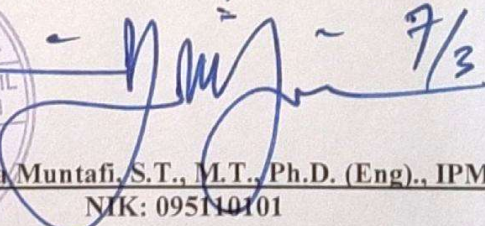


**Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T.**  
NIK : 185111304

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



7/3 2025



**Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.**  
NIK: 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 26 Februari 2025

Yang membuat pernyataan,



Naufal Arrasyid

(20511217)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Perbandingan *Bubble Deck Slab* Dengan Pelat Lantai Konvensional (Studi Kasus: Muhammadiyah Boarding School Pleret Bantul). Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan penulis kesempatan untuk menyelesaikan skripsi ini, mencapai tujuan, serta memberikan kemampuan dan kekuatan untuk menghadapi tantangan dan kesulitan yang penulis hadapi.
2. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Jafar, S.T., M.T., MURP. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis dengan sabar selama proses pengumpulan data dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Elvis Saputra S.T., M.T. dan Bapak Anggit Mas Arifudin, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk mempresentasikan hasil penelitian dan memberi kritik, saran, serta masukan yang sangat berharga.
5. Kedua orang tua penulis yang paling berjasa dalam hidup, Bapak Sugiharto dan Ibu Titik Maryati. Terimakasih atas dukungan, kepercayaan, pengorbanan, doa, motivasi, dan nasihat yang tiada hentinya diberikan.

6. Rafida Eliana selaku adik penulis yang telah memberi fasilitas laptop untuk penyelesaian skripsi ini.
7. Aisyiah Nurul A'ini terima kasih tak terhingga penulis ucapkan untuk segala dukungan, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan selama ini. Tanpa kehadiranmu, mungkin penulis tidak akan memiliki semangat untuk terus berjuang dan tidak menyerah dalam menghadapi segala kesulitan dan tantangan selama proses penelitian dan penulisan Tugas Akhir ini. Setiap kata penyemangat, setiap senyuman, dan setiap momen kebersamaan kita telah menjadi energi yang menguatkan penulis untuk menyelesaikan karya ini..
8. Rekan seperjuangan penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Terimakasih sudah menjadi partner diskusi dan *sharing* ide selama proses penelitian dan penulisan skripsi.
9. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penulisan Skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna karena keterbatasan penulis. Besar harapan penulis Tugas Akhir ini dapat bermanfaat, membantu memberikan ilmu dan wawasan baru kepada para pembaca.

Yogyakarta, 26 Februari 2025

Penulis,

Naufal Arrasyid  
20511217

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xx
ABSTRAK	xxiv
<i>ABSTRACT</i>	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan dari Penelitian Sebelumnya	8
2.3 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Struktur Bangunan	12

3.1.1	Fungsi stuktur bangunan	12
3.1.2	Komponen utama stuktur	12
3.2	Pelat Lantai Konvensional	13
3.2.1	Jenis Pelat Lantai	14
3.2.2	Perencanaan Dimensi Pelat Lantai Konvensional	17
3.2.3	Rumus Perhitungan Pelat Lantai	17
3.3	<i>Bubble Deck Slab</i>	29
3.3.1	Jenis <i>Bubble Deck Slab</i>	29
3.3.2	Perencanaan Dimensi Pelat <i>Bubble Deck</i>	33
3.3.3	Kelebihan Pelat <i>Bubble Deck</i>	35
3.4	Pembebanan Struktur	36
3.4.1	Beban Mati	36
3.4.2	Beban Hidup	36
3.4.3	Beban Gempa	36
3.5	Kontrol Struktur	37
3.5.1	Periode Fundamental Struktur	37
3.5.2	Partisipasi Massa	38
3.5.3	Ketidakteraturan	38
3.5.4	Simpangan Antar Tingkat	43
3.5.5	Pengaruh P-delta	44
3.6	Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok	45
3.7	<i>Bill of Quantity</i>	58
BAB IV METODE PENELITIAN		60
4.1	Umum	60
4.2	Data Objek Penelitian	60
4.3	Tahapan Penelitian	61
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		65

5.1	Pendahuluan	65
5.2	Data Bangunan	65
5.3	Beban Gravitasi	69
5.3.1	Beban Mati	69
5.3.2	Beban Hidup	70
5.4	Permodelan	70
5.4.1	Model 3D Bangunan	72
5.5	Pembebanan Gempa	74
5.5.1	Parameter Seismik Pelat <i>Bubble Deck</i>	74
5.5.2	Parameter Seismik Pelat Konvensional	77
5.6	Kontrol Struktur	87
5.6.1	Pengecekan Simpangan Antar lantai bangunan dengan pelat <i>Bubble Deck</i>	87
5.6.2	Pengecekan Simpangan Antar lantai bangunan dengan Pelat Konvensional	93
5.6.3	Pengaruh P-Delta pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	98
5.6.4	Pengaruh P-Delta pada Bangunan Pelat Konvensional	100
5.6.5	Cek Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	103
5.6.6	Cek Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Pelat Konvensional	108
5.7	Analisis Momen Pelat	113
5.7.1	Perhitungan Momen Pelat Lantai <i>Bubble Deck</i>	113
5.7.2	Perhitungan Momen Pelat Atap <i>Bubble Deck</i>	132
5.7.3	Perhitungan Momen Pelat Lantai Konvensional	151
5.7.4	Perhitungan Momen Pelat Atap Konvensional	170

5.7.5	Rekapitulasi Momen dan Penulangan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	189
5.8	Desain Tulangan Lentur Balok Bangunan dengan Pelat <i>Bubble Deck</i>	191
5.8.1	Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan	192
5.8.2	Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan	215
5.8.3	Desain Tulangan Lentur Balok Anak	215
5.8.4	Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	215
5.9	Desain Tulangan Lentur Balok Bangunan dengan Pelat Konvensional	217
5.9.1	Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan	218
5.9.2	Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan	242
5.9.3	Desain Tulangan Lentur Balok Anak	242
5.9.4	Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat Konvensional	242
5.10	Perbandingan Hasil Desain Tulangan Balok antara Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	244
5.11	Rekapitulasi Perbandingan Berat Bangunan pada Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	249
	<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	252
6.1	Kesimpulan	252
6.2	Saran	253
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	254
	<b>LAMPIRAN</b>	256

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3. 1 Bagian Momen Negatif Interior Mu di Lajur Kolom	22
Tabel 3. 2 Bagian Momen Positif Interior Mu di Lajur Kolom	22
Tabel 3. 3 Bagian Momen Negatif Interior Mu di Lajur Kolom	25
Tabel 3. 4 Bagian Momen Positif Interior Mu di Lajur Kolom	25
Tabel 3. 5 Menunjukkan beban, defleksi, berat pelat	32
Tabel 3. 6 Spesifikasi Desain <i>BubbleDeck</i>	34
Tabel 3. 7 Peraturan Desain <i>Bubble Deck</i>	34
Tabel 3. 8 Faktor Keutamaan Gempa	37
Tabel 3. 9 Koefesien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	38
Tabel 3. 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	38
Tabel 3. 11 Simpangan Antar Tingkat Izin	44
Tabel 3. 12 Nilai $\beta_1$ untuk Distribusi Tegangan Beton	46
Tabel 3. 13 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip	58
Tabel 5. 1 Data Bangunan	66
Tabel 5. 2 Dimensi Balok	66
Tabel 5. 3 Dimensi Kolom	66
Tabel 5. 4 Dimensi Pelat	66
Tabel 5. 5 Pembebanan Pelat Lantai	69
Tabel 5. 6 Pembebanan Pelat Atap	69
Tabel 5. 7 Pembebanan Balok	70
Tabel 5. 8 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	89
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	90
Tabel 5. 10 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	91

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional	92
Tabel 5. 12 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	94
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	95
Tabel 5. 14 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat Konvensional	96
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional	97
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	99
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah Y pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	100
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah X pada Bangunan Pelat Konvensional	101
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional	102
Tabel 5. 20 Hasil Ketidakberaturan Horizontal Gempa Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	106
Tabel 5. 21 Hasil Ketidakberaturan Horizontal Gempa Arah Y pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	106
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Perhitungan Kekakuan Total Kolom pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	107
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1 B pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	108
Tabel 5. 24 Perbandingan Nilai Simpangan Maksimum Dengan 1,2 dan 1,4 Nilai Simpangan Rata-Rata Gempa Arah X pada Bangunan Pelat Konvensional	111

Tabel 5. 25 Perbandingan Nilai Simpangan Maksimum Dengan 1,2 dan 1,4 Nilai Simpangan Rata-Rata Gempa Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional	111
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perhitungan Kekakuan Total Kolom pada Bangunan Pelat Konvensional	112
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1 B pada Bangunan Pelat Konvensional	113
Tabel 5. 28 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	120
Tabel 5. 29 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	120
Tabel 5. 30 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	127
Tabel 5. 31 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	127
Tabel 5. 32 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	139
Tabel 5. 33 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	139
Tabel 5. 34 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	146
Tabel 5. 35 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	146
Tabel 5. 36 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	158
Tabel 5. 37 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	158
Tabel 5. 38 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	165
Tabel 5. 39 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	165
Tabel 5. 40 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	177
Tabel 5. 41 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	177
Tabel 5. 42 Bagian Momen Negatif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	184
Tabel 5. 43 Bagian Momen Positif Interior $M_u$ di Lajur Kolom	184
Tabel 5. 44 Perbandingan Momen Pelat	190
Tabel 5. 45 Perbandingan Penulangan Pelat	191
Tabel 5. 46 Rekapitulasi Tulangan Pada Balok Induk dan	216
Tabel 5. 47 Rekapitulasi <i>Bill of Quantity</i> Tulangan Pada Balok	217
Tabel 5. 48 Rekapitulasi Tulangan Pada Balok Induk dan	242
Tabel 5. 49 Rekapitulasi <i>Bill of Quantity</i> Tulangan Pada Balok	244
Tabel 5. 50 Perbandingan Momen Ultimate dengan Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	244

Tabel 5. 51 Perbandingan Momen Nominal dan <i>Probable</i> dengan Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	245
Tabel 5. 52 Selisih Perbandingan Momen Nominal Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	246
Tabel 5. 53 Kebutuhan Tulangan Balok Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	247
Tabel 5. 54 Perbandingan <i>Bill of Quantity</i> Tulangan Balok Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	248
Tabel 5. 55 Selisih <i>Bill of Quantity</i> Tulangan Balok Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	248
Tabel 5. 56 Rekapitulasi Berat Bangunan dengan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	250
Tabel 5. 57 Perbandingan Berat Bangunan dengan Pelat <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	250

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Gambar Penulangan Pelat Satu Arah Daerah Lapangan	15
Gambar 3. 2 Gambar Penulangan Pelat Satu Dua Arah Tampak Depan	16
Gambar 3. 3 Gambar Penulangan Pelat Dua Arah Tampak Depan	16
Gambar 3. 4 Gambar Penulangan Pelat Dua Arah Tampak Atas	17
Gambar 3. 5 <i>Bubble Deck (Continuous Arrangement of Bubble)</i>	29
Gambar 3. 6 <i>Alternative Bubble Deck Slab (type I)</i>	30
Gambar 3. 7 <i>Alternative Bubble Deck Slab (type II)</i>	30
Gambar 3. 8 <i>Connventional Slab</i>	31
Gambar 3. 9 Grafik Daya Dukung Beban Pada Pelat	32
Gambar 3. 10 Grafik Perilaku Lendutan Pada Pelat	32
Gambar 3. 11 Grafik Berat Pelat	33
Gambar 3. 12 Peraturan DIN 1045 dan DIN 1045-1 tentang <i>Bubble Deck</i>	34
Gambar 3. 13 <i>Minimum Properties Versions of BubbleDeck (The Biaxial Hollow deck- The way to new solutions)</i>	35
Gambar 3. 13 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a dan 1b)	39
Gambar 3. 14 Ketidakberaturan Berat	39
Gambar 3. 15 Ketidakberaturan Geometri Vertikal	40
Gambar 3. 16 Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral	40
Gambar 3. 17 Ketidakberaturan Torsi	41
Gambar 3. 18 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	42
Gambar 3. 19 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	42
Gambar 3. 21 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel	43
Gambar 3. 21 Simpangan Antar Tingkat	43
Gambar 4. 1 Peta Lokasi Gedung Muhammadiyah <i>Boarding School Pleret</i> Bantul	61
Gambar 4. 2 Flow Charts Penelitian	63

Gambar 4. 3 Lanjutan Flow Charts Penelitian	64
Gambar 5. 1 Denah Struktur Kolom Balok	67
Gambar 5. 2 Denah Pelat Lantai	67
Gambar 5. 3 Denah Pelat Atap	67
Gambar 5. 4 Potongan Tampak Samping	68
Gambar 5. 5 Potongan Tampak Depan	68
Gambar 5. 6 Denah Dinding	70
Gambar 5. 7 Input Stiffness Modification Factors Bangunan dengan Pelat Bubble Deck	71
Gambar 5. 8 Input Stiffness Modification Factors Bangunan dengan Pelat Konvensional	72
Gambar 5. 9 Permodelan SAP 2000 Tampak Atas	72
Gambar 5. 10 Permodelan SAP 2000 Tampak Samping	73
Gambar 5. 11 Permodelan SAP 2000 Tampak Depan	73
Gambar 5. 12 Permodelan 3D SAP 2000	74
Gambar 5. 13 Parameter Percepatan Gempa	75
Gambar 5. 14 Parameter Percepatan Gempa	78
Gambar 5. 15 Berat Bangunan Pelat Beton Bertulang <i>Bubble Deck</i> dengan SAP 2000	81
Gambar 5. 16 Berat Bangunan Pelat Beton Bertulang Konvensional dengan SAP 2000	81
Gambar 5. 17 Berat Setiap Lantai Pelat Beton Bertulang <i>Bubble Deck</i> dengan SAP 2000	82
Gambar 5. 18 Berat Setiap Lantai Pelat Beton Bertulang Konvensional dengan SAP 2000	83
Gambar 5. 19 Output V Dinamik SAP 2000 Bangunan Dengan Pelat <i>Bubble Deck</i>	85
Gambar 5. 20 Output V Dinamik SAP 2000 Bangunan Dengan Pelat Konvensional	86
Gambar 5. 21 Grafik <i>Respon Spektrum</i>	87

Gambar 5. 22 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	90
Gambar 5. 23 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	92
Gambar 5. 24 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	95
Gambar 5. 25 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional	98
Gambar 5. 26 Grafik Pengaruh P-Delta Arah X dan Y pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>	100
Gambar 5. 27 Grafik Pengaruh P-Delta Arah X dan Y pada Bangunan Pelat Konvensional	103
Gambar 5. 28 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)	104
Gambar 5. 29 Penempatan Titik-Titik Pada Denah Struktur Arah X	104
Gambar 5. 30 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)	109
Gambar 5. 31 Penempatan Titik-Titik Pada Denah Struktur Arah X	109
Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan Momen Pelat	190
Gambar 5. 33 Diagram Berat Tulangan Balok <i>Bubble Deck</i> vs Konvensional	249
Gambar 5. 34 Diagram Berat Bangunan <i>Bubble Deck</i> vs Konvensional	250

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Input Material pada <i>Define Materials</i> SAP 2000 <i>Bubble Deck</i>	257
Lampiran 2 Input Material pada <i>Define Materials</i> SAP 2000 Konvensional	257
Lampiran 3 Input Mutu Beton Pelat <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	258
Lampiran 4 Input Mutu Beton Pelat Konvensional pada SAP 2000	258
Lampiran 5 Input Mutu Beton Balok, Kolom <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	259
Lampiran 6 Input Mutu Beton Balok, Kolom Konvensional pada SAP 2000	259
Lampiran 7 Input Mutu Baja Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	260
Lampiran 8 <i>Frame Properties</i> Balok BI 1 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	260
Lampiran 9 <i>Frame Properties</i> Balok BI 2 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	261
Lampiran 10 <i>Frame Properties</i> Balok BI 3 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	261
Lampiran 11 <i>Frame Properties</i> Balok BI 4 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	262
Lampiran 12 <i>Frame Properties</i> Balok BA 1 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	262
Lampiran 13 <i>Frame Properties</i> Kolom K1 Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional pada SAP 2000	263
Lampiran 14 <i>Area Section</i> Pelat PL1 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	263
Lampiran 15 <i>Area Section</i> Pelat PL1 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	264
Lampiran 16 <i>Area Section</i> Pelat PL2 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	264
Lampiran 17 <i>Area Section</i> Pelat PL2 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	265
Lampiran 18 <i>Area Section</i> Pelat PL3 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	265
Lampiran 19 <i>Area Section</i> Pelat PL3 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	266
Lampiran 20 <i>Area Section</i> Pelat PL4 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	266
Lampiran 21 <i>Area Section</i> Pelat PL4 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	267

Lampiran 22 <i>Area Section</i> Pelat PA 1 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	267
Lampiran 23 <i>Area Section</i> Pelat PA 1 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	268
Lampiran 24 <i>Area Section</i> Pelat PA 2 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	268
Lampiran 25 <i>Area Section</i> Pelat PA 2 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	269
Lampiran 26 <i>Area Section</i> Pelat PA 3 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	269
Lampiran 27 <i>Area Section</i> Pelat PA 3 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	270
Lampiran 28 <i>Area Section</i> Pelat PA 4 Bangunan <i>Bubble Deck</i> pada SAP 2000	270
Lampiran 29 <i>Area Section</i> Pelat PA 4 Bangunan Konvensional pada SAP 2000	271
Lampiran 30 <i>Define Grid Sytem Data</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	271
Lampiran 31 Tumpuan Jepit Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	272
Lampiran 32 <i>Mass Source Data</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	272
Lampiran 33 <i>Define Constraints</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	273
Lampiran 34 <i>Define Response Spectrum Functions</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	273
Lampiran 35 <i>Input Response Spectrum Functions</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	274
Lampiran 36 <i>Define Load Patterns</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	274
Lampiran 37 <i>Define Load Cases</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	275
Lampiran 38 <i>Load Cases Dead</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	275
Lampiran 39 <i>Load Cases Modal</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	275
Lampiran 40 <i>Load Cases Additional Dead Load</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	276
Lampiran 41 <i>Load Cases Live Load</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	276
Lampiran 42 <i>Load Cases Eqx</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i>	277
Lampiran 43 <i>Load Cases Eqy</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i>	277
Lampiran 44 <i>Load Cases Eqx</i> Bangunan Konvensional	278

Lampiran 45 <i>Load Cases Eqx</i> Bangunan Konvensional	278
Lampiran 46 <i>Load Patterns</i> Torsi Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	279
Lampiran 47 <i>Define Load Combinations</i> Bangunan <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional	279
Lampiran 48 <i>Detail</i> Gambar Denah Kodefikasi dan Penulangan Bangunan dengan Pelat <i>Bubble Deck</i> serta Konvensional	280

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Ss	= Parameter percepatan gempa untuk periode 0,2 detik (g)
S1	= Parameter percepatan gempa untuk periode 1 detik (g)
Fa	= Faktor amplifikasi getaran untuk periode pendek
Fv	= Faktor amplifikasi getaran untuk periode 1 detik
SMs	= Percepatan periode pendek ( $SMs = Fa \times Ss$ )
SM1	= Percepatan periode 1 detik ( $SM1 = Fv \times S1$ )
SDs	= Percepatan respons spektral untuk periode pendek
SD1	= Percepatan respons spektral untuk periode 1 detik
To	= Waktu periode periode rendah (detik)
Ts	= Waktu periode respons struktur (detik)
TL	= Periode panjang (detik)
Ta	= Periode fundamental struktur (detik)
Tmax	= Periode maksimal struktur (detik)
R	= Koefisien respons struktur
Ie	= Faktor keutamaan gempa ( $Ie = 1,5$ untuk gedung sekolah)
Cs1	= Koefisien gaya gempa statik pada periode pendek
Csmax	= Koefisien gaya gempa maksimum
Csmin	= Koefisien gaya gempa minimum
Cspakai	= Koefisien gaya gempa yang digunakan dalam perhitungan
V	= Gaya gempa yang bekerja pada bangunan (N)
V (Ex)	= Gaya gempa pada arah X
V (Ey)	= Gaya gempa pada arah Y
Vdinamik	= Gaya gempa dinamis (N)
Vstatik	= Gaya gempa statik (N)
W	= Berat bangunan (kN)

$V_{\text{statik ekivalen}}$	= Gaya gempa statik ekivalen berat bangunan
$V_{\text{dinamik ekivalen}}$	= Gaya gempa dinamis ekivalen analisis dinamis
$F_y$	= Tegangan leleh baja (MPa)
$F'_c$	= Kekuatan tekan beton (MPa)
$M_{u+}$	= Momen positif (kNm)
$M_{u-}$	= Momen negatif (kNm)
$E_s$	= Modulus elastisitas baja (MPa)
$\epsilon_c$	= Regangan beton pada kondisi maksimal (tanpa satuan)
$\Phi$	= Faktor reduksi momen (tanpa satuan)
$\emptyset$ Pokok	= Diameter tulangan pokok (mm)
$\emptyset$ Sengkang	= Diameter tulangan sengkang (mm)
Penutup Beton	= Tebal pelindung beton (mm)
Jarak Vertikal Tulangan	= Jarak antar tulangan vertikal (mm)
Overstrength Factor	= Faktor overstrength (tanpa satuan)
$M_n$	= Momen nominal (kNm)
$\epsilon_y$	= Regangan baja pada tegangan leleh (tanpa satuan)
$m$	= Faktor material (tanpa satuan)
$\beta_1$	= Koefisien faktor kekuatan beton (tanpa satuan)
$\rho_b$	= Rasio tulangan beton (tanpa satuan)
$R_b$	= Tegangan baja yang berfungsi pada balok (MPa)
$R_m$	= Tegangan baja modifikasi (MPa)
$B_{\text{perlu}}$	= Lebar balok yang diperlukan (mm)
$H_{\text{perlu}}$	= Tinggi balok yang diperlukan (mm)
$B_{\text{pakai}}$	= Lebar balok yang dipakai (mm)
$H_{\text{pakai}}$	= Tinggi balok yang dipakai (mm)
$R_1$	= Tegangan baja pada kondisi tumpuan (MPa)
$M_1$	= Momen pada balok (Nmm)
$d_s$ asumsi	= Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan (mm)

$d$	= Jarak efektif balok (mm)
$\rho$	= Rasio tulangan (tanpa satuan)
$K_n$	= Koefisien momen (MPa)
$R_1$	= Tegangan pada tulangan tarik (MPa)
$A_{s1}$	= Luas penampang tulangan pada baris pertama (mm <sup>2</sup> )
$A_{s2}$	= Luas penampang tulangan pada baris kedua (mm <sup>2</sup> )
$d_s$ tarik	= Jarak efektif pada tulangan tarik (mm)
$S$	= Jarak antar tulangan horizontal (mm)
$\epsilon_s$	= Regangan baja tarik (tanpa satuan)
$\epsilon_s'$	= Regangan baja tekan (tanpa satuan)
$f_s'$	= Tegangan baja pada regangan tekan (MPa)
$A_s'$	= Luas penampang tulangan pada sisi tekan (mm <sup>2</sup> )
$K_{pr}$ tarik pakai	= Tegangan reduksi pada tarik (MPa)
$M_{pr}$ tarik pakai	= Momen kapasitas tarik pada balok (kNm)
$M_{pr}$ desak pakai	= Momen kapasitas tekan pada balok (kNm)
$M_n$ baru	= Momen nominal baru pada balok (kNm)
$M_{pr}$ – tumpuan	= Momen kapasitas total pada tumpuan (kNm)
$\phi M_n$ – tumpuan	= Momen kapasitas total dipengaruhi faktor reduksi (kNm)
$c$	= Kedalaman garis netral pada penampang (mm)
$a$	= Jarak dari permukaan beton ke titik netral (mm)
$c'$	= Kedalaman garis netral pada kondisi modifikasi (mm)
$\epsilon_t$	= Regangan total (tanpa satuan)
$\rho$ tarik pakai	= Rasio tulangan tarik yang dipakai (tanpa satuan)
$\rho_{max}$	= Rasio maksimum tulangan (tanpa satuan)
$\rho_{min}$	= Rasio minimum tulangan (tanpa satuan)
$M_1$	= Momen kapasitas tarik pada balok (kNm)
$M_2$	= Momen kapasitas tekan pada balok (kNm)
$A_s'$	= Luas penampang tulangan pada sisi tekan (mm <sup>2</sup> )

$M_{n+}$  tumpuan = Momen kapasitas positif pada tumpuan (kNm)

## ABSTRAK

Gedung sekolah memerlukan kekuatan dan keamanan struktural yang tinggi untuk menahan beban bangunan dan beban hidup. Pelat lantai merupakan salah satu elemen struktur penting dalam pembangunan gedung bertingkat. *Bubble Deck Slab* adalah inovasi konstruksi modern yang mengurangi penggunaan beton dan beban bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja struktur antara sistem pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional pada Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul.

Metode penelitian mencakup analisis beban gravitasi dan gempa serta kontrol struktur menggunakan perangkat lunak *SAP2000* dan *AutoCAD*. Model struktur dianalisis dengan *Direct Design Method* untuk pelat dua arah dan pendekatan koefisien momen untuk pelat satu arah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua sistem pelat memenuhi persyaratan SNI tanpa ketidakberaturan vertikal dan horizontal yang signifikan. Pelat *Bubble Deck* menghasilkan momen ultimate lebih rendah dibandingkan pelat konvensional, menunjukkan efisiensi struktural yang lebih baik. Selain itu, penggunaan *Bubble Deck* mengurangi kebutuhan tulangan balok sebesar 14% (2789,904 kg) dan berat bangunan sebesar 21% (2830549 N), sehingga lebih efisien dalam penggunaan material. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa sistem *Bubble Deck* lebih unggul dalam efisiensi struktural, pengurangan berat, serta optimasi material dibandingkan dengan pelat konvensional.

**Kata kunci:** *Bubble Deck*, Pelat Konvensional, Kontrol Struktur, Efisiensi Material, Berat Bangunan, *SAP 2000*.

## **ABSTRACT**

*School buildings require high structural strength and safety to withstand both the building load and live load. Floor slabs are one of the important structural elements in the construction of multi-story buildings. Bubble Deck Slab is a modern construction innovation that reduces the use of concrete and building load. This research aims to analyze the structural performance comparison between the Bubble Deck slab system and conventional slabs in the Muhammadiyah Boarding School building in Pleret, Bantul.*

*The research methodology includes gravity and seismic load analysis, as well as structural control using SAP2000 and AutoCAD software. The structural model is analyzed using the Direct Design Method for two-way slabs and the moment coefficient approach for one-way slabs.*

*The results show that both slab systems meet the SNI (Indonesian National Standard) requirements without significant vertical or horizontal irregularities. The Bubble Deck slab produces lower ultimate moments compared to the conventional slab, indicating better structural efficiency. Additionally, the use of Bubble Deck reduces the need for beam reinforcement by 14% (2789,904 kg) and the building weight by 21% (2830549 N), making it more efficient in material usage. The conclusion of this research is that the Bubble Deck system is superior in terms of structural efficiency, weight reduction, and material optimization compared to conventional slabs.*

**Keywords:** *Bubble Deck, Conventional Slab, Structural Control, Material Efficiency, Building Weight, SAP 2000*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gedung sekolah merupakan bangunan yang digunakan untuk kegiatan belajar mengajar sehingga memiliki persyaratan khusus terkait kekuatan dan keamanan struktural terutama dalam menahan beban bangunan itu sendiri maupun beban hidup yang ada di bangunan tersebut, sehingga dalam perencanaannya harus menggunakan metode konstruksi yang tepat. Pelat lantai adalah salah satu elemen struktural yang penting dalam pembangunan gedung bertingkat.

*Two Way Slab* merupakan jenis pelat yang ditopang oleh balok di keempat sisinya serta rasio antar bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2. Kemudian pada sistem pelat dua arah ini beban yang berasal dari pelat kemudian disalurkan keempat balok penumpu yang kemudian beban tersebut ditransfer ke kolom. Sedangkan untuk *one way slab* merupakan jenis pelat yang ditopang oleh balok di keempat sisinya serta rasio antar bentang panjang terhadap bentang pendeknya lebih dari 2.

Dalam perkembangannya, pelat lantai *Bubble Deck Slab* merupakan alternatif yang tergolong baru dalam inovasi proyek konstruksi modern. Pelat lantai *Bubble Deck Slab* terdiri dari beton sebagai elemen struktural utama dan baja sebagai elemen struktural pendukung dengan tambahan bola berongga udara berbahan *polyethylene* dengan kepadatan tinggi yang berada ditengah tulangan atas dan bawah. Terdapat 2 jenis *hollow ball* yaitu *hollow spherical balls* dan *hollow elliptical balls*. Bola-bola tersebut tidak bereaksi kimiawi dengan beton atau tulangan karena dibuat dengan bahan *non-porous*.

*Bubble Deck* sendiri merupakan sebuah inovasi metode dengan mengilangkan bagian tengah pada beton konvensional yang tidak memberikan kinerja struktural karena bahan dari penyusun dari *bubble deck* itu berisi udara sehingga dapat mengurangi penggunaan beton. Penggunaan beton yang berkurang

karena sudah tergantikan dengan *bubble deck* otomatis dapat mengurangi beban bangunan. *Bubble Deck* menghasilkan pekerjaan lantai 20% lebih cepat dengan penggunaan bekisting dan balok yang lebih minim, mengurangi biaya konstruksi sebesar 10%, bentuk rongga di tengah-tengah pelat datar *Bubble Deck* bisa mengurangi penggunaan beton sebesar 35% (Bhade dan Barelikar, 2016).

Berbagai macam jenis *Bubble Deck* yang bisa digunakan salah satunya *Hollow Spherical Balls*. Dalam perhitungannya metode tersebut sudah diatur di SNI 2847 2019, ACI 318 M14 serta DIN 1045. Akan tetapi, dalam peraturan tersebut tidak dijelaskan secara jelas dan mendetail. Namun, desain *bubbledeck* tetap berpedoman pada prinsip dasar konstruksi beton bertulang, termasuk perhitungan kekuatan lentur. Kekuatan lentur pada sistem *Bubble Deck* dihitung menggunakan metode konvensional. Maka dari itu pada tugas akhir ini, penulis meneliti dengan membandingkan *Bubble Deck Slab* menggunakan *direct design method* untuk pelat *two way slab*, *one way slab* menggunakan metode koefisien momen dan balok dengan pelat lantai konvensional kemudian melakukan desain ulang dan menganalisis pada struktur Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul.

Pengumpulan data diperlukan untuk merencanakan ulang struktur gedung dan menentukan kriteria desain yang diinginkan. Desain awal (*Preliminary Design*) serta mendapatkan input permodelan struktur gedung dari pembebanan untuk mendapatkan hasil analisa strukturnya. Hasil analisa struktur digunakan untuk perhitungan perencanaan sehingga menghasilkan gambar teknik serta kesimpulan dan saran. Dalam penggunaan pelat lantai *Bubble Deck Slab* diperlukan analisis yang cermat untuk memastikan kekuatan dan keamanannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan struktur Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul yang dikombinasikan dengan pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional serta kontrol struktur?
2. Bagaimana perbandingan gaya dalam pelat lantai antara bangunan yang menggunakan pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional terhadap efisiensi struktural dan berat bangunan?
3. Bagaimana perbandingan kebutuhan tulangan (*bill of quantity*) balok akibat perbedaan berat bangunan?
4. Bagaimana perbandingan berat bangunan antara sistem pelat *Bubble Deck* dan konvensional ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Merencanakan struktur Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul yang dikombinasikan dengan pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional serta kontrol struktur.
2. Membandingkan gaya dalam pelat lantai antara bangunan yang menggunakan pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional terhadap efisiensi struktural dan berat bangunan.
3. Membandingkan kebutuhan tulangan (*bill of quantity*) balok akibat perbedaan berat bangunan.
4. Membandingkan berat bangunan antara sistem pelat *Bubble Deck* dan konvensional.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Manfaat bagi penulis:
  - a. Menambah ilmu keteknisipilan dan memberikan wawasan baru.

- b. Menambah pengetahuan mengenai modifikasi pelat lantai struktur gedung di Indonesia.
2. Manfaat penelitian bagi pembaca:
    - a. Menambah pengetahuan dalam modifikasi perbandingan penggunaan *Bubble Deck Slab* dan balok dengan pelat konvensional terhadap struktur plat gedung.
    - b. Dapat menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya dimasa yang akan datang.
    - c. Menambah pengetahuan terhadap penurunan beban bangunan karena pengurangan penggunaan beton dengan *Bubble Deck*.

### 1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi oleh beberapa batasan yang diharapkan untuk memberikan arah yang jelas pada penelitian tugas akhir ini. Batasan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bangunan yang digunakan yaitu Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul yang berlokasi di Kanggotan, Pleret, Kecamatan Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55791.
2. Bangunan yang dimodelkan terdiri dari 3 lantai dengan tinggi bangunan 10,5 meter dari muka tanah. Namun, pada penelitian ini penulis hanya meninjau dari struktur gedung atas terhitung dari muka tanah tanpa melibatkan struktur bawah.
3. Penulis menggunakan metode *Direct Design Method* pada pelat *Two Way Slab*, pelat satu arah menggunakan metode pendekatan momen *ultimate* dan balok yang dikombinasikan dengan *Bubble Deck* pada bagian pelat dan metode konvensional pada elemen struktur lainnya.
4. Penulis tidak meninjau utilitas bangunan, *mechanical, electrical, plumbing* dan *finishing*.
5. Penulis tidak meninjau dari segi produksi bahan *Bubble Deck*, segi manajemen konstruksi dan segi rancangan anggaran biaya.

6. Sistem struktur yang akan direncanakan yaitu Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
7. Struktur gedung menggunakan material beton bertulang dan dibandingkan dengan modifikasi *Bubble Deck* beton bertulang pada bagian pelat.
8. Memodifikasi struktur atap yang sebelumnya menggunakan upvc dan baja wf menjadi pelat beton untuk mendapatkan hasil berat volume bangunan terutama pelat beton bertulang.
9. Permodelan menggunakan *software Autocad* 2021 dan *SAP* 2000 versi 2022.
10. Analisa menggunakan *software SAP* 2000 versi 2022.
11. Peraturan – peraturan untuk analisa stuktur beton bertulang menggunakan sebagai berikut :
  - a. SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
  - b. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung.
  - c. Peta *Hazard* Gempa Indonesia Tahun 2019.
  - d. (*Bubble Deck - United Kingdom*)
  - e. DIN 1045-1 (2001).
  - f. DIN 1045.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi, acuan, serta data penunjang dalam penelitian ini.

Aji (2019) telah melakukan penelitian bagaimana penerapan drop panel dan *Bubble Deck* yang dikombinasikan dengan teknologi *flat slab* untuk mengubah desain struktur gedung apartemen Setiabudi Medan. Merencanakan desain awal, struktur utama dan struktur sekunder yang sesuai dengan hasil perencanaan. Menentukan pembebanan pada perencanaan struktur Gedung Apartemen Setiabudi Medan, melakukan investigasi pemodelan pada struktur Gedung Apartemen Setiabudi Medan, membuat penulangan dan pendetailan dimensi komponen Gedung Apartemen Setiabudi Medan, menghitung dimensi pelat *Bubble Deck*, mempertimbangkan kondisi tanah yang ada saat ini dan mendesain pondasi struktur Gedung Apartemen Setiabudi Medan untuk memikul beban-beban yang dipikul dan menghasilkan perhitungan struktur serta gambar teknik untuk desain yang telah diperbarui.

Rahmatullah Saepudin Putra dkk, (2020) telah melakukan penelitian mengenai penggunaan pelat satu arah dan pelat dua arah berdasarkan jenis dan kebutuhan struktur. Perbedaannya terletak pada cara penyaluran beban ke balok. Objek penelitian adalah gedung sekolah dua lantai dengan ukuran denah kelas 9x8 meter. Analisa dilakukan dengan metode perencanaan elastis. Setiap dimensi komponen struktur dibuat sama untuk kedua sistem pelat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selisih anggaran biaya antara sistem pelat satu arah dan dua arah adalah 2%. Sistem pelat dua arah lebih ekonomis. Perbedaan yang signifikan terletak pada volume beton. Sistem pelat satu arah menggunakan 35% lebih banyak beton pada balok anak. Untuk besi tulangan, sistem pelat satu arah menggunakan 10% lebih banyak daripada sistem pelat dua arah.

Andreas dkk, (2022) telah melakukan penelitian mengenai pelat lantai, sebagai unsur integral dalam struktur bangunan. Salah satunya metode alternatif yang dikenal sebagai *Bubble Deck Slab*. Metode ini menghilangkan beton pada bagian tengah pelat yang tidak berfungsi secara struktural serta meningkatkan efisiensi. Penggantian ini dapat mengakibatkan perbedaan biaya dan waktu dibandingkan dengan metode konvensional. Penelitian ini dilakukan pada Gedung Pengendali Pusat Proyek Pembangkit Listrik Muara Tawar dengan pendekatan metode kuantitatif. Analisis melibatkan perhitungan rencana anggaran dan penjadwalan menggunakan *Microsoft Project*. Hasil analisis menunjukkan perbedaan signifikan dalam biaya dan waktu antara metode tersebut. Metode *Bubble Deck Slab* menonjol dengan biaya lebih murah sebesar Rp. 142.128.506,44 atau 14,442%, dan penyelesaian 1 hari atau 3,846% lebih cepat dibandingkan metode konvensional.

Fatma dan Chandrakar (2018) telah melakukan penelitian mengenai Pelat dek gelembung menghasilkan lantai 20% lebih cepat dengan balok dan bekisting terbatas, yang meminimalkan biaya konstruksi sebesar 12% dan menyetujui minimalisasi penggunaan beton sebesar 32%. Teknologi *Bubble Deck* memungkinkan lempengan beton yang lebih kuat, dan seringkali lebih tebal, menjangkau area yang lebih luas dan juga memberikan peluang untuk merancang kantilever yang lebih besar secara arsitektural. *Bubble Deck* dirancang untuk menjadi solusi efisien untuk mengurangi jumlah beton yang digunakan dalam konstruksi bangunan, memperkuat keseluruhan rangka dan mendistribusikan berat beton yang sebenarnya digunakan dengan lebih baik. Untuk penyelidikan ini, perilaku struktur *Bubble Deck* pada kondisi yang berbeda akan dipelajari untuk mendapatkan pemahaman tentang teknik baru ini dan membandingkannya dengan sistem pelat yang ada saat ini. Perbedaan antara pelat padat dan pelat kosong terhadap ketahanan gesernya. Karena minimalisasi volume beton, ketahanan geser akan berkurang. Kapasitas geser harus diukur pada kisaran 72-91% dari kapasitas geser dek padat.

## 2.2 Perbedaan dari Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan tinjauan dari evaluasi penelitian terdahulu yang dijelaskan di atas bahwa terdapat perbedaan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut ini

1. Pada penelitian yang akan dilakukan, merencanakan struktur Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul dengan menggunakan sistem *Two Way Slab* dan balok yang dikombinasikan dengan *Bubble Deck*. Sedangkan pada penelitian Aji (2019) menggunakan *drop panel* dan metode *Flat Slab* dikombinasikan dengan *Bubble Deck*.
2. Pada penelitian yang akan dilakukan penulis hanya meninjau dari segi biaya kebutuhan material, sedangkan pada penelitian Andreas dkk, (2022) menganalisis perbandingan biaya dari segi pekerjaan pelat lantai.
3. Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan sistem pelat dua arah yang dikombinasikan dengan *Bubble Deck*, sedangkan pada penelitian Rahmatullah Saepudin Putra dkk, (2020) menganalisis perbandingan antara penggunaan sistem pelat satu arah dan dua arah dari segi biaya anggaran.
4. Pada penelitian yang akan dilakukan penulis meninjau dari kontrol struktur dan berat struktur bangunan pelat lantai yang dikombinasikan metode *Direct Design Method* pada pelat *Two Way Slab*, pelat satu arah menggunakan metode pendekatan momen *ultimate* dan balok dengan *Bubble Deck* terutama mutu yang digunakan sebagai *preliminary design* dari data yang sudah ada pada bagian pelat lantai konvensional yaitu menggunakan mutu beton  $F'c$  25 Mpa, sedangkan pada penelitian Nagma dan Vinaysingh (2018) menggunakan mutu beton (M30) atau setara dengan  $F'c$  30 Mpa.

Perbandingan penelitian sebelumnya dengan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu				
Peneliti	Aji (2019)	Andreas dkk, (2022)	Rahmatullah Saepudin Putra dkk, (2020)	Fatma dan Chandrakar (2018)
<b>Judul</b>	Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Setiabudi Medan Menggunakan Metode Flat Slab Dikombinasikan Dengan <i>Bubbledeck</i> dan <i>Drop Panel</i> .	Perbandingan Biaya dan Waktu Pekerjaan Pelat Lantai Pada Konvensional dan Metode <i>Bubble Deck Slab</i> .	Perencanaan Gedung Sekolah Menengah Atas dengan Sistem Pelat Satu Arah dan Dua Arah	Untuk Mempelajari Perbandingan antara Pelat Konvensional dan <i>Bubble Deck Slab</i> .
<b>Tujuan</b>	Merencanakan desain awal, struktur utama, dan struktur sekunder yang sesuai dengan hasil perencanaan merupakan tujuan dari penelitian ini serta membuat dimensi <i>Bubble Deck</i> pada pelat lantai.	Untuk mengurangi beban mati dengan menghilangkan beton yang secara struktural tidak berfungsi pada bagian tengah pelat dan menggantinya dengan pelat <i>Bubble Deck</i> .	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan dimensi elemen struktur sistem pelat satu arah dan dua arah dalam hal kebutuhan material dan efektivitas biaya.	Untuk mengurangi konsumsi energi yang lebih sedikit - baik dalam produksi, pelaksanaan pekerjaan, mengurangi material, beban, menurunkan biaya.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu				
Peneliti	Aji (2019)	Andreas dkk, (2022)	Rahmatullah Saepudin Putra dkk, (2020)	Fatma dan Chandrakar (2018)
<b>Hasil Penelitian</b>	Mendapatkan hasil <i>preliminary design</i> , struktur primer, dan struktur sekunder yang sesuai dengan hasil perencanaan struktur gedung Apartemen Setiabudi Medan dengan metode <i>flat slab</i> yang dikombinasikan <i>Bubble Deck</i> dan <i>drop panel</i> .	Pekerjaan pelat lantai menggunakan metode konvensional sebesar Rp.984.243.466,50. Sedangkan penggunaan metode <i>Bubble Deck Slab</i> membutuhkan biaya sebesar Rp.842.104.960,06. pelat dengan metode <i>Bubble Deck slab</i> lebih murah Rp. 142.138.506,44 atau 14,442% dibandingkan dengan cara konvensional.	sistem pelat satu arah pada balok induk menghasilkan momen tumpuan -130,214 kNm, dan balok anak -57,429 kNm. Sedangkan sistem pelat dua arah pada balok induk menghasilkan momen tumpuan -163,486 kNm, dan balok anak -41,688 kNm.	Pengurangan berat adalah faktor penting yang ditemukan pada pelat <i>Bubble Deck</i> . Berat pelat konvensional adalah 33% lebih banyak daripada <i>Bubble Deck</i> . Volume diameter struktur pada balok dan dinding berkurang sehingga dapat menghemat biaya dan waktu dengan <i>Bubble Deck</i> .

(Sumber: Aji, 2019, Andreas 2022, Rahmatullah Saepudin Putra dkk, 2020, Fatma dan Chandrakar, 2018)

### 2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu. Perbedaan penelitian ini untuk mengetahui modifikasi struktur menggunakan metode *Direct Design method* pada pelat *Two Way Slab*, pelat satu arah menggunakan metode pendekatan momen *ultimate* dan balok yang dikombinasikan dengan *Bubble Deck* pada Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul dari segi perencanaannya meliputi *premiery design*, dimensi struktur primer dan sekunder. Sedangkan dari penelitian sebelumnya dari segi lokasi dan spesifikasi bangunannya berbeda, sehingga dari hal tersebut akan mempengaruhi perhitungan struktur design dan dimensi struktur yang digunakan.

Dari perbedaan dimensi struktur dengan penelitian lain akan menghasilkan penurunan berat struktur bangunan dan kontrol struktur yang berbeda juga terutama pada Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul yang sebagai objek penelitiannya.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Struktur Bangunan**

Struktur bangunan merupakan rangkaian elemen konstruksi seperti kolom, balok, pelat, dan pondasi yang dirancang untuk mendukung dan mentransfer beban dari bangunan ke tanah. Elemen tersebut saling berkaitan untuk menjaga stabilitas dan kekuatan bangunan.

##### **3.1.1 Fungsi Struktur Bangunan**

Adapun beberapa fungsi struktur bangunan berdasarkan SNI 1727 tahun 2020 sebagai berikut ini :

1. Pendukung beban vertikal
  - a. Beban mati (*dead load*) meliputi semua komponen bangunan yang bersifat tetap seperti berat bangunan sendiri, balok, kolom, pelat, dan elemen non struktural lainnya
  - b. Beban hidup (*live load*) meliputi beban yang bersifat statis dapat berubah-ubah, seperti manusia.
2. Pendukung beban horizontal beban angin (*wind load*) yang memberikan gaya vertikal pada atap dan dinding bangunan.
3. Pendukung beban gempa (*earthquake load*) gaya gempa bekerja secara vertikal dan horizontal pada struktur yang dapat menyebabkan deformasi signifikan jika struktur tidak dirancang dengan baik.
4. Menyalurkan beban ke tanah yang diterima oleh struktur, kemudian beban ditransfer melalui pondasi.

##### **3.1.2 Komponen Utama Struktur**

Bangunan struktur terdiri dari beberapa elemen, seperti pelat, balok dan kolom, yang digabungkan untuk memberikan keamanan dan kenyamanan. Perancangan mengacu pada SNI 1727 tahun 2020 dan SNI 2847 tahun 2019 untuk memenuhi syarat dan kriteria seperti kemampuan menahan beban, mutu, efisiensi,

dan biaya. Komponen struktur akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Pelat lantai

Pelat lantai merupakan elemen horizontal dalam bangunan, pelat lantai dirancang untuk menahan beban dari atas dan menyalurkannya ke struktur bawah. Metode penyaluran beban ini bergantung pada jenis sistem pelat yang digunakan. Selain itu, pelat lantai juga berperan penting dalam menjaga kestabilan bangunan terhadap gaya horizontal. Pemilihan sistem pelat yang tepat akan mempertimbangkan efisiensi konstruksi, kebutuhan ruang, dan material struktur.

2. Balok

Sebagai elemen utama dalam struktur bangunan, balok berfungsi menyalurkan beban dari lantai ke bagian bawah bangunan. Selain itu, balok juga berperan sebagai elemen penahan gempa. Beban yang bekerja pada balok menyebabkan terjadinya momen lentur dan gaya geser. Untuk mengatasi gaya-gaya tersebut, balok dilengkapi dengan tulangan lentur, tulangan sengkang, dan dalam beberapa kasus, tulangan torsi.

3. Kolom

Kolom merupakan elemen struktural yang berfungsi menerima beban aksial tekan dan momen lentur dari balok, lalu menyalurkannya ke pondasi. Tulangan longitudinal pada kolom berfungsi menahan gaya tekan, dan jumlahnya ditentukan berdasarkan hasil analisis diagram interaksi Mn-Pn. Sementara itu, tulangan geser berfungsi menahan gaya geser, dan kebutuhannya ditentukan melalui perhitungan luasan tulangan geser.

4. Pondasi

Pondasi Elemen yang mentransfer beban dari struktur ke tanah. Pondasi harus dirancang untuk menahan beban tanpa menyebabkan penurunan yang berlebihan.

### **3.2 Pelat Lantai Konvensional**

Sudarmoko (1996) Pelat adalah struktur bidang (permukaan) yang lurus, datar, atau melengkung, dengan ketebalan yang secara substansial lebih kecil dari

dimensi lainnya. Dimensi pelat dapat dibatasi oleh garis lurus atau lengkung.

Asroni (2010) Pelat lantai adalah struktur bidang horizontal tipis yang terdiri dari beton bertulang, dengan beban yang bekerja tegak lurus terhadap bidang struktur.

Salah satu komponen struktural dari struktur bangunan adalah pelat lantai, yang terdiri dari dua bentang: bentang pendek yang dikenal sebagai  $L_x$  dan bentang panjang yang disebut  $L_y$ . Pelat lantai untuk bangunan bertingkat biasanya terdiri dari beton bertulang. Ada dua jenis pelat lantai yaitu satu arah (*One Way Slab*) dan dua arah (*Two Way Slab*). Ini diklasifikasikan berdasarkan rasio  $L_y$  terhadap  $L_x$ ; jika nilai  $L_y/L_x$  lebih besar dari dua, maka termasuk dalam kategori satu arah; jika kurang dari dua, maka termasuk dalam kategori dua arah. Selain rasio  $L_y$  terhadap  $L_x$ , sistem tulangan membedakan pelat lantai dua arah dengan pelat lantai satu arah.

### 3.2.1 Jenis Pelat Lantai

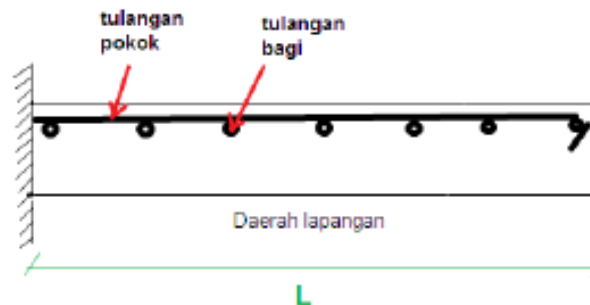
Adapun ketentuan untuk dua jenis pelat lantai yaitu satu arah (*One Way Slab*) dan dua arah (*Two Way Slab*) yaitu sebagai berikut.

#### 1. Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

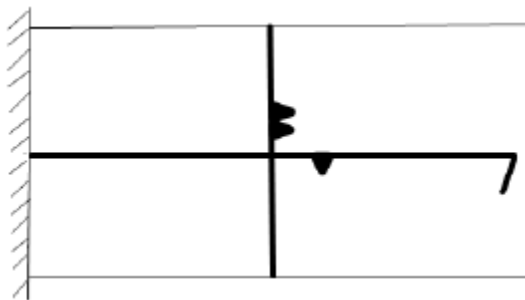
Wang (1979) Bangunan pelat satu arah beban lantai sebagian besar akan ditransfer ke balok dan hanya sebagian kecil yang akan ditransfer langsung ke kolom jika panjang permukaan lantai dua kali atau lebih besar dari lebarnya. Kondisi yang disebutkan dalam frasa sebelumnya dapat didesain sebagai pelat satu arah dengan tulangan susut dan tulangan suhu serta tulangan utama sejajar dengan gelagar atau sisi pendek pelat. Pelat dengan tulangan utama satu arah ditemukan jika pelat beton sebagian besar menahan beban berupa momen lentur pada bentang satu arah. Contoh pelat satu arah adalah pelat kantilever (*luifel*) dan pelat yang ditopang oleh 2 tumpuan.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, momen lentur pada pelat satu arah hanya bekerja pada satu arah, yaitu arah bentang  $L$ . Tulangan utama juga dipasang pada satu arah, yaitu arah bentang  $L$ . Tulangan tambahan dapat dipasang dengan arah tegak lurus dengan tulangan utama untuk mempertahankan posisi tulangan utama ketika beton dicor. Selain mendukung lokasi tulangan utama dan memberikan tulangan untuk mencegah beton retak akibat susut dan variasi

temperatur, tulangan tambahan ini dikenal dengan sebutan tulangan penguat.



(a) Tampak Depan Pelat Kantilever



(b) Tampak Atas Pelat Kantilever

**Gambar 3. 1 Gambar Penulangan Pelat Satu Arah Daerah Lapangan**

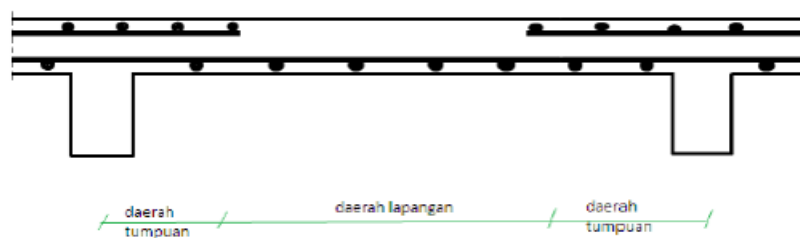
(Sumber: Asroni, 2010)

## 2. Pelat Satu Arah (*one way slab*)

Sudarmoko (1996) Selama syarat-syaratnya terpenuhi, sistem pelat dua arah juga dapat digunakan pada pelat bentang tunggal dan bentang menerus. Jika rasio bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) kurang dari dua, maka diperlukan tipe pelat dua arah. Konstruksi pelat 2 arah dengan tulangan utama 2 arah terjadi ketika beban berupa momen lentur pada bentang 2 arah ditahan oleh pelat beton. Pelat yang ditumpu dengan 4 sisi saling sejajar merupakan contoh pelat 2 arah.

Pelat 2 arah di area lapangan hanya memiliki tulangan utama yang bersilangan, baik dalam arah ( $L_x$ ) maupun arah ( $L_y$ ). Sementara itu, di sekitar area tumpuan terdapat tulangan utama dan tulangan bagi. Karena momen lentur pelat

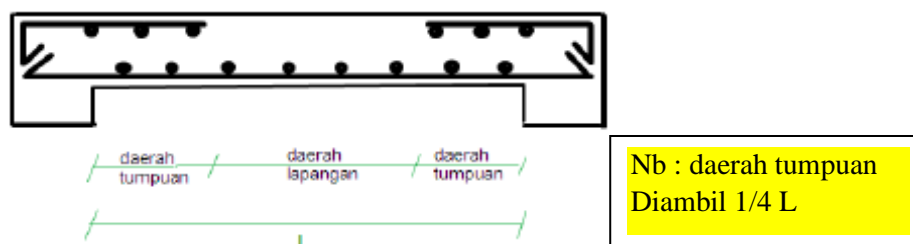
dua arah bekerja pada dua arah yaitu pada bentang ( $L_x$ ) dan bentang ( $L_y$ ) tulangan utama juga disediakan pada dua arah yang tegak lurus (melintang), sehingga meniadakan kebutuhan tulangan lebih lanjut. Karena daerah tumpuan pada pelat dua arah hanya bekerja momen lentur satu arah, maka baik tulangan pembagi maupun tulangan utama masih tetap digunakan.



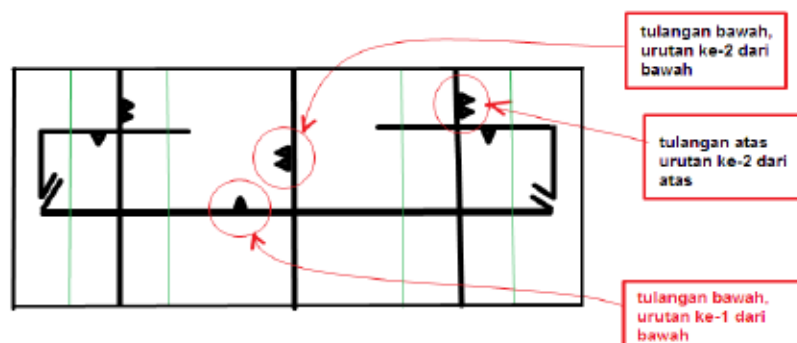
**SNI 2847:2019**

jarak tidak kurang dari seperenam panjang bentang yang diukur dari pusat ke pusat tumpuan dalam arah tersebut.

**Gambar 3. 2 Gambar Penulangan Pelat Satu Dua Arah Tampak Depan**  
(Sumber: Asroni, 2010)

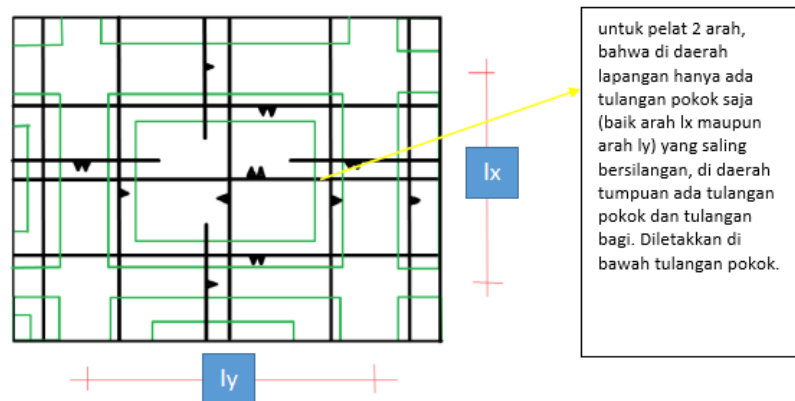


**(a) Tampak depan pelat dengan 2 tumpuan sejajar**



**(b) Tampak atas pelat dengan 2 tumpuan sejajar**

**Gambar 3. 3 Gambar Penulangan Pelat Dua Arah Tampak Depan**  
(Sumber: Asroni, 2010)



**Gambar 3. 4 Gambar Penulangan Pelat Dua Arah Tampak Atas**  
(Sumber: Asroni, 2010)

### 3.2.2 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai Konvensional

Adapun perencanaan dimensi pelat lantai konvensional, untuk pelat satu arah menggunakan metode koefisien momen sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan metode desain langsung (*direct design method*). Perencanaan pelat meliputi bj beton bertulang  $2400 \text{ kg/m}^3$  dengan ketebalan pelat 230 mm serta, mengacu pada SNI 2847 – 2019 Tabel 6.6.3.1.1(b) untuk pelat datar nilai minimum inersia pada level beban terfaktor 0,25 yang nantinya akan diinput pada SAP 2000 bagian *stiffness modification factors*.

### 3.2.3 Rumus Perhitungan Pelat Lantai

Rumus dan sistem penulangan yang digunakan dalam perhitungan pelat lantai adalah sebagai berikut.

#### 1. Pelat Satu Arah

(Asroni, 2010) Pelat satu arah merupakan pelat yang lebih dominan menahan beban seperti momen lentur pada bentang satu arah saja. Kantilever (*luifel*) dan pelat yang ditumpu oleh 2 tumpuan sejajar merupakan contoh dari pelat satu arah. Pendekatan koefisien momen pada daerah mu tumpuan yaitu  $1/12$  karena bentang pada momen negatif kurang dari 3 m, sedangkan untuk mu lapangan  $1/14$  karena berada di ujung pelat tidak menerus dan monolit mengacu pada SNI 2847 – 2019 Tabel 6.5.2. Rumus perhitungan pelat satu arah adalah sebagai berikut.

##### a. Perhitungan Momen Desain

Qu pelat lantai	= 1,2 qd x 1,6 l
Mu tumpuan	= $\frac{1}{12} \times Qu \times Lx^2$
Mu lapangan	= $\frac{1}{14} \times Qu \times Lx^2$
Dpokok	= $\emptyset$
Dbagi	= $\emptyset$
Pb	= selimut beton mm
Hpelat	= tebal pelat mm
ds	= $Pb + \frac{Dpokok}{2}$
d	= h – ds
b	= lebar tinjauan

b. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

Penulangan Daerah Tumpuan

Mu (-)	= Momen ultimate negatif
$\emptyset$	= 0,9
Mn (-)	= $\frac{Mu}{\emptyset}$
m	= $\frac{fy}{0,85 fc}$
Rn	= $\frac{Mn}{bd^2}$
P Perlu	= $\left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right]$
pmin	= 0,002
pmin pakai	

Nilai pmin pakai merupakan nilai terbesar dari pmin dan pperlu. Sehingga nilai pmin pakai adalah 0,002.

As perlu	= pperlu x b x d
As min	= 0,002 x b x d
As pakai	

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min mm<sup>2</sup>

$$As1 \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}}$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Cek} = As \text{ pakai baru}$$

$$= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}}$$

Karena nilai As pakai baru > As pakai >, maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai satu arah.

Penulangan Daerah Lapangan

$$Mu (+) = \text{Momen ultimate positif}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$Mn (+) = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 fc}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2}$$

$$P \text{ Perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right]$$

$$\rho_{min} = 0,002$$

$\rho_{min}$  pakai

Nilai  $\rho_{min}$  pakai merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{min}$  dan  $\rho_{perlu}$ . Sehingga nilai  $\rho_{min}$  pakai adalah 0,002.

$$As \text{ perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$As \text{ min} = 0,002 \times b \times d$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min

$$As1 \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}}$$

S pakai

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Cek} = As \text{ pakai baru}$$

$$= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai satu arah sudah OK.

Keterangan :

M = Momen lentur pelat per satuan panjang

c = koefisien momen

Qu = beban Ultimate (kN/m<sup>2</sup>)

Ln = bentang bersih (m)

Lx = bentang pendek (m)

Vu = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (kN)

Vn = kelewatan gaya nominal (kN)

F'c = mutu beton (mPa)

d = tinggi efektif (mm)

h = tebal pelat (mm)

Pb = tebal selimut beton (mm)

D = Diameter Tulangan (mm)

Mn = momen nominal ( kNm)

ρ = rasio tulangan

Cc = gaya dalam beton (N)

a = tinggi kekang beton (mm)

b = bentang yang ditinjau (mm)

x = letak garis netral

$\epsilon_s$  = regangan leleh baja (mm)

$s$  = jarak tulangan pokok (mm)

(Sumber : SNI – 2847 – 2019)

## 2. Pelat Dua Arah

(Asroni, 2010) Pelat yang dapat menahan tekanan dalam bentuk momen lentur pada bentang dua arah disebut pelat satu arah. Pelat satu arah adalah pelat yang memiliki empat sisi paralel yang mendukungnya. Jika  $L_y/L_x < 2$ , atau rasio bentang panjang (L) terhadap bentang pendek (X), kurang dari dua, maka diperlukan pelat dua arah.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan penulangan pelat dua arah adalah sebagai berikut.

### a. Data – data pelat

H pelat = Ketebalan pelat

$F'_c$  = Kuat tekan beton

$F_y$  = Kuat tarik baja

bB1 = Lebar balok tinjauan

hB1 = Tinggi balok tinjauan

hkolom = bkolom = Tinggi dan lebar kolom

$L_y$  = Bentang panjang pelat

$L_x$  = Bentang pendek pelat

Bentang bersih  $L_y$  =  $L_y - (\frac{1}{2} \times bB1) - (\frac{1}{2} \times bB1)$

Bentang bersih  $L_x$  =  $L_x - (\frac{1}{2} \times bB2) - (\frac{1}{2} \times bBA1)$

Jenis arah pelat =  $\frac{L_y}{L_x}$

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  kurang dari dua (2) sehingga pelat lantai tersebut termasuk jenis pelat lantai dua arah.

### b. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Panjang

#### 1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_x \times L_{ny}^2}{8}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 3. 1 Bagian Momen Negatif Interior Mu di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 3. 2 Bagian Momen Positif Interior Mu di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = \frac{l_2}{l_1}$$

$$Y2 = \frac{l_2}{l_1}$$

$$X = \frac{L_x}{L_y}$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom}$$

$$M (+) \text{ lajur tengah} = 1 - M (+) \text{ lajur kolom}$$

## 2) Panil eksterior (tepi)

$$M_{0,ve,eksterior} - \text{kolom} = 0.65 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+)\text{ lajur}$$

## 3) Panil interior (tengah)

$$M_{0,ve,eksterior} - \text{kolom} = 0.35 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+)\text{ lajur}$$

## c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

## 1) Penulangan daerah tumpuan

$$d_s = P_b + \frac{1}{2} D$$

$$d = h - d_s$$

$$M_u (-) = \text{Momen } \textit{ultimate} \text{ tumpuan}$$

$$\phi \text{ lentur} = 0,9$$

$$M_n (-) = \frac{M_u}{\phi}$$

$$b = l_y \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$R_n = \frac{M_n (-)}{b \times d^2}$$

$$P \text{ perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right]$$

$$P \text{ min} = 0,002$$

$$A_s \text{ perlu} = (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d$$

$$A_s \text{ min} = (\rho_{\text{min}}) \times b \times h$$

$A_s$  pakai

Nilai terbesar dari  $A_s$  perlu dan  $A_s$  min. Sehingga digunakan  $A_s$  min.

$$A_{s1} \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{A_{s1} \times b}{A_s \text{ pakai}}$$

$$S \text{ pakai} = S \text{ perlu} \approx \text{mm}$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= A_s \text{ pakai baru} \\ &= \frac{A_{s1} \times b}{S \text{ pakai}} \end{aligned}$$

Karena nilai  $A_s \text{ pakai baru} > A_s \text{ pakai}$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah sudah OK.

## 2) Penulangan daerah lapangan

$$D_s = P_b + \frac{1}{2} D$$

$$d = h - d_s$$

$$M_u (+) = \text{Momen } \textit{ultimate} \text{ lapangan}$$

$$\emptyset \text{ lentur} = 0,9$$

$$M_n (+) = \frac{M_u}{\emptyset}$$

$$b = l_y \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$R_n = \frac{M_n (+)}{b \times d^2}$$

$$P \text{ perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right]$$

$$P \text{ min} = 0,002$$

$$A_s \text{ perlu} = (\rho \text{ perlu}) \times b \times d$$

$$A_s \text{ min} = (\rho_{\text{min}}) \times b \times h$$

$A_s \text{ pakai}$

Nilai terbesar dari  $A_s \text{ perlu}$  dan  $A_s \text{ min}$ .

$$A_{s1} \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{A_{s1} \times b}{A_s \text{ pakai}}$$

$$S \text{ pakai} = S \text{ perlu} \approx \text{mm}$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\ \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\ \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\ &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \end{aligned}$$

Karena nilai As pakai baru > As pakai > As min, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah sudah OK.

d. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Pendek

1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. L2 bentang panjang. L1 bentang pendek, maka L2/L1 = 1,125 m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 3. 3 Bagian Momen Negatif Interior Mu di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 3. 4 Bagian Momen Positif Interior Mu di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$\begin{aligned}
M_{0,ve,interior}^- &= 0,90 \\
M_{0,ve,interior}^+ &= 0,45 \\
Y1 &= 0,9 \\
Y2 &= 0,45 \\
X &= \frac{Lx}{Ly} \\
X1 &= 0,5 \\
X2 &= 2 \\
M(-) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
M(+ ) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
M(-) \text{ lajur tengah} &= 1 - M(-) \text{ lajur kolom} \\
M(+ ) \text{ lajur tengah} &= 1 - M(+ ) \text{ lajur kolom} \\
2) \text{ Panil eksterior (tepi)} & \\
M_{0,ve,eksterior}^- &= 0.65 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(+ ) \text{ lajur} \\
&\text{kolom} \\
3) \text{ Panil interior (tengah)} & \\
M_{0,ve,eksterior}^- &= 0.35 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(-) \text{ lajur} \\
&\text{tengah}
\end{aligned}$$

e. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
ds &= Pb + \frac{1}{2} D \\
d &= h - ds \\
Mu (-) &= \text{Momen } ultimate \text{ tumpuan} \\
\emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
Mn (-) &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
b &= lx \times \frac{1}{2} \times 1000
\end{aligned}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc}$$

$$Rn = \frac{Mn (-)}{b \times d^2}$$

$$P \text{ perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right]$$

$$P \text{ min} = 0,002$$

$$As \text{ perlu} = (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d$$

$$As \text{ min} = (\rho_{\text{min}}) \times b \times h$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min.

$$As1 \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}}$$

$$S \text{ pakai} = S \text{ perlu} \approx \text{mm}$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$\text{Cek} = As \text{ pakai baru}$$

$$= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}}$$

Karena nilai As pakai baru > As pakai yaitu > As min, maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah sudah OK.

## 2) Penulangan daerah lapangan

$$ds = Pb + \frac{1}{2} D$$

$$d = h - ds$$

$$Mu (+) = \text{Momen ultimate positif}$$

$$\emptyset \text{ lentur} = 0,9$$

$$Mn (+) = \frac{Mu}{\emptyset}$$

$$b = lx \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 P \text{ perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 P \text{ min} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho \text{ perlu}) \times b \times d \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 A_s \text{ pakai} &
 \end{aligned}$$

Nilai terbesar dari  $A_s$  perlu dan  $A_s$  min. Sehingga digunakan  $A_s$  min.

$$\begin{aligned}
 A_{s1} \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 S \text{ perlu} &= \frac{A_{s1} \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 S \text{ pakai} &= S \text{ perlu} \approx \text{mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 \text{Cek} &= A_s \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{A_{s1} \times b}{S \text{ pakai}}
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai  $>$   $A_s$  min, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah sudah OK.

Sebagaimana dijelaskan pada Bab 3 terutama dalam Sub Bab 3.2.3 mengenai rumus perhitungan pelat lantai dan atap, metode perhitungan yang digunakan tetap mengacu pada prinsip dasar yang sama, namun dengan penambahan parameter khusus terkait penerapan sistem *Bubble Deck*. Penjelasan lebih rinci mengenai integrasi sistem *Bubble Deck* dalam perhitungan struktur serta implikasinya terhadap desain akan dibahas secara mendalam pada Bab 3.3 yang mengkhhususkan pada *Bubble Deck Slab*.

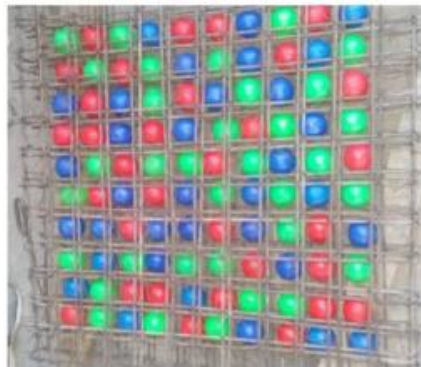
### 3.3 *Bubble Deck Slab*

*Bubble Deck* sendiri merupakan sebuah inovasi metode dengan menghilangkan bagian tengah pada beton konvensional yang tidak memberikan kinerja struktural karena bahan dari penyusun dari *Bubble Deck* itu berisi udara sehingga dapat mengurangi penggunaan beton. Penggunaan beton yang berkurang karena sudah tergantikan dengan *Bubble Deck* otomatis dapat mengurangi beban bangunan. Pelat lantai *Bubble Deck Slab* terdiri dari beton sebagai elemen struktural utama dan baja sebagai elemen struktural pendukung dengan tambahan bola berongga udara berbahan *polyethylene* dengan kepadatan tinggi yang berada ditengah tulangan atas dan bawah. Terdapat 2 jenis *hollow ball* yaitu *hollow spherical balls* dan *hollow elliptical balls*. Bola bola tersebut tidak bereaksi kimiawi dengan beton atau tulangan karena dibuat dengan bahan nonporous. Dalam perhitungannya metode tersebut sudah diatur di ACI 318 M14 serta DIN 1045 – 1 (2001) akan tetapi, dalam peraturan tersebut tidak dijelaskan secara jelas dan mendetail.

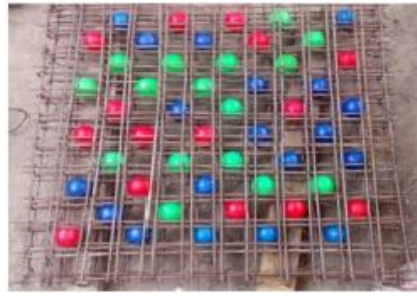
#### 3.3.1 Jenis *Bubble Deck Slab*

Adapun jenis tipe *Bubble Deck* dan kemampuan ketahanan terhadap beban pada benda uji yang dilakukan pada penelitian sebelumnya menurut Bhade dan Barelikar, (2016) sebagai berikut.

##### 1. Jenis Tipe *Bubble Deck*

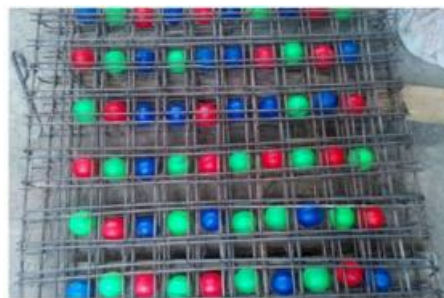


**Gambar 3. 5 *Bubble Deck (Continuous Arrangement of Bubble)***  
(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)



**Gambar 3. 6 *Alternative Bubble Deck Slab (type I)***

(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)



**Gambar 3. 7 *Alternative Bubble Deck Slab (type II)***

(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)

## 2. Prosedur Pengujian *Bubble Deck*

Hanya ada satu uji beban titik tunggal yang digunakan untuk pengujian. Pelat beton yang digunakan berumur 28 hari. Setelah memosisikan spesimen pelat pada alat uji, pengontrol, penyangga, titik beban, dan dial gauge diatur ke posisi yang tepat. Pengukuran dan pengamatan dilakukan untuk lendutan tengah dan perkembangan perambatan retak pada permukaan pelat pada akhir setiap kenaikan beban. Lendutan spesimen diukur pada bentang tengah di bawah bagian bawah lembar uji. Penambahan yang lebih kecil diterapkan hingga pelat mencapai tahap pembebanan lanjut, dimana indikator pembebanan berhenti merekam sekali lagi dan lendutan meningkat dengan cepat tanpa adanya peningkatan tegangan yang diberikan. Dalam pengujiannya terhadap kekuatan, defelksi, dan kemampuan ketahanan terhadap beban menggunakan 4 jenis benda uji yang dilakukan, yaitu

- *Connventional Slab*
- *Continous BubbleDeck*
- *Alternative BubbleDeck Type 1*

- *Alternative BubbleDeck Type 2*



**Gambar 3. 8 Conventional Slab**  
(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)

### 3. Hasil Pengujian *Bubble Deck*

Adapun hasil dari pengujian yang dilakukan oleh Bhagasyri G. Bhade (2016) dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Berat dari *Bubble Deck* lebih ringan 25% dibanding dengan pelat konvensional.
- Penggunaan *Bubble Deck* bisa mengurangi kebutuhan semen sehingga berakibat baik pada minimnya gas emisi CO<sub>2</sub>.
- *Bubble Deck* mengurangi kebutuhan penggunaan semen sebesar 25%, dibandingkan dengan pelat konvensional.
- Dengan berkurangnya penggunaan semen dan lebih ringan dari pelat konvensional, hal tersebut menyebabkan lebih ringannya dimensi pondasi.

Kesimpulan hasil pengujian oleh Bhagasyri G. Bhade (2016) ditunjukkan pada Tabel 3.5.

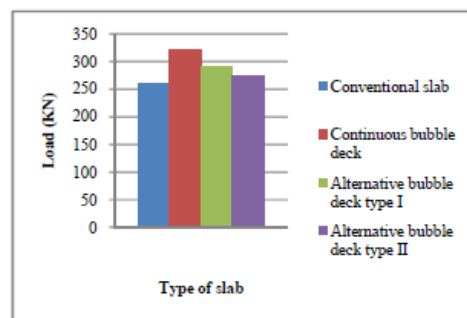
**Tabel 3. 5 Menunjukkan beban, defleksi, berat pelat**

Results on the slab

Table 1 shows the load, deflection, weight of the slab

Type of slab	Load (KN)	Deflection (mm)	Weight (kg)
Conventional Slab	260	8.70	321
Continuous Bubble deck	320	9.20	242
Alternative bubble deck type I	290	8.95	278
Alternative bubble deck type II	275	8.80	281

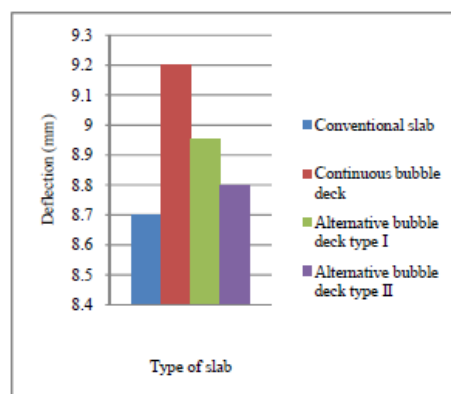
(Sumber: Bhade dan Barelikar, (2016))



Graph 1 shows the load carrying capacity on the slab

**Gambar 3. 9 Grafik Daya Dukung Beban Pada Pelat**

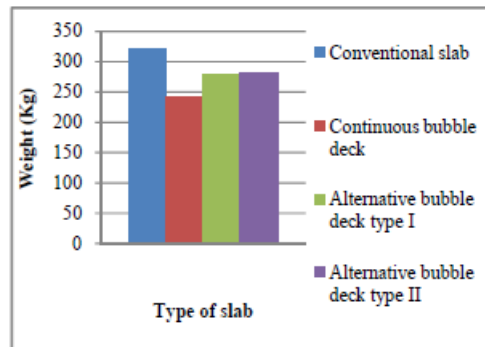
(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)



Graph 2 shows the Deflection behavior on the slab

**Gambar 3. 10 Grafik Perilaku Lendutan Pada Pelat**

(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)



Graph 3 shows the weight of the slab

**Gambar 3. 11 Grafik Berat Pelat**  
(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)

### 3.3.2 Perencanaan Dimensi Pelat *Bubble Deck*

Adapun peraturan permodelan dimensi pelat lantai yang dikombinasikan dengan bubble deck sama seperti pelat konvensional akan tetapi, pada bagian koefisien kekakuan disesuaikan dengan desain yang sudah ditetapkan, serta merujuk pada (*DIN 1045*). *DIN* adalah singkatan dari *Deutsches Institut für Normung* yang berarti *Institute for Standardization* atau Institusi Standarisasi Jerman. *DIN* adalah badan yang bertanggung jawab dalam menyusun dan menetapkan standar teknis di Jerman, termasuk dalam bidang konstruksi dan teknik sipil. Dalam hal ini, *DIN 1045* merujuk pada standar yang digunakan dalam desain dan konstruksi beton bertulang di Jerman, mencakup pedoman terkait bahan, perhitungan, serta ketentuan konstruksi beton bertulang. Walaupun tidak menyebutkan secara khusus metode yang digunakan, sehingga perhitungan dilakukan dengan metode konvensional sesuai dengan peraturan yang berlaku di suatu negara yaitu sebagai berikut.

**Tabel 3. 6 Spesifikasi Desain *BubbleDeck***

Version	Slab Thickness	Bubbles	Span (Multiple bays)	Cantilever Maximum Length	Span (Single bays)	Completed Slab Mass	Site Concrete Quantity
	mm	mm	metres	metres	metres	kN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
<b>BD230</b>	230	Ø 180	5 – 8.3	≤ 2.8	5 – 6.5	4.34	0.109
<b>BD280</b>	280	Ø 225	7 – 10.1	≤ 3.3	6 – 7.8	5.17	0.142
<b>BD340</b>	340	Ø 270	9 – 12.5	≤ 4.0	7 – 9.5	6.25	0.186
<b>BD390</b>	390	Ø 315	11 – 14.4	≤ 4.7	9 – 10.9	6.93	0.213
<b>BD450</b>	450	Ø 360	13 – 16.4	≤ 5.4	10 – 12.5	7.94	0.245
<b>BD510 *</b>	510	Ø 410	15 – 18.8	≤ 6.1	11 – 13.9	9.06	0.291
<b>BD600 *</b>	600	Ø 500	16 – 21.0	≤ 7.2	12 – 15.0	10.22	0.338

\* New 2006 BubbleDeck slab configurations: Agrément certification pending, outside scope of KOMO technical certificate.

(Sumber: Bhade dan Barelikar, 2016)

**Tabel 3. 7 Peraturan Desain *Bubble Deck***

Ball diameter	[cm]	18.00	22.50	27.00	31.50	36.00	40.50	45.00
Minimum axis spacing	[cm]	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00
Maximum number of balls	[1/m <sup>2</sup> ]	25.00	16.00	11.11	8.16	6.25	4.94	4.00
Recommended minimum slab thickness	[cm]	23.00	28.00	34.00	40.00	45.00	52.00	58.00
Load reduction per ball	[kN]	0.08	0.15	0.26	0.41	0.61	0.87	1.19
Maximum load reduction per sq. metre	[kN/m <sup>2</sup> ]	1.91	2.39	2.86	3.34	3.82	4.29	4.77
Rigidity factor	[-]	0.88	0.87	0.87	0.88	0.87	0.88	0.88
Shear factor	[-]	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

DIN 1045-1:	$\mu_{sds} = m_{sd} \cdot D_{BD} \cdot 1.96 / (d_B^3 \cdot f_{ck}) \leq 0.2$
where:	$\mu_{sds}$ = relative bending moment in the ball zone [-]
	$m_{sd}$ = max. bending moment [MNm/m]
	$D_{BD}$ = ball diameter [m]
	$d_B$ = static height of the BubbleDeck® [m]
	$f_{ck}$ = characteristic strength according to DIN 1045-1 [MN/m <sup>2</sup> ]
DIN 1045:	$m_s = m \cdot D_{BD} \cdot 1.17 / (d_B^3 \cdot \beta_R) \leq 0.2$
where:	$m_s$ = relative bending moment in the ball zone [-]
	$m$ = max. bending moment under occupancy load [MNm/m]
	$D_{BD}$ = ball diameter [m]
	$d_B$ = static height of the BubbleDeck® [m]
	$\beta_R$ = calculated strength according to DIN 1045 [MN/m <sup>2</sup> ]

**Gambar 3. 12 Peraturan DIN 1045 dan DIN 1045-1 tentang *Bubble Deck***

(Sumber: DIN 1045 dan DIN 1045 - 1 tentang *Bubble Deck*)

Berikut perencanaan dimensi *Bubble Deck* yang direkomendasikan pada DIN 1045 dan DIN 1045-1 yang disamakan dengan perencanaan pelat.

$$\text{Berat jenis beton bubble deck} = 1147,2 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat jenis beton bertulang bubble deck} = 1347,2 \text{ kg/m}^3$$

$$H_{\text{pelat}} = 230 \text{ mm}$$

$$\text{Ø diameter bola bubble deck} = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar bola berongga} = 250 \text{ mm}$$

<i>Version</i>	<i>Bubble Diameter (mm)</i>	<i>Minimum Slab Thickness (mm)</i>	<i>Minimum Center-to-Center Spacing (mm)</i>
<i>BD230</i>	180	230	200
<i>BD280</i>	225	280	250
<i>BD340</i>	270	340	300
<i>BD390</i>	315	390	350
<i>BD450</i>	360	450	400
<i>BD510</i>	405	510	450
<i>BD600</i>	450	600	500

**Gambar 3. 13 *Minimum Properties Versions of BubbleDeck (The Biaxial Hollow deck- The way to new solutions)***

(Sumber: *BubbleDeck-UK*)

perencanaan dimensi *bubble deck* yang direkomendasikan pada gambar di atas untuk tipe bubble deck *BD230* minimum *center to center spacing void bubble deck* yaitu 200 mm serta, mengacu pada Tabel 3.7 peraturan desain *bubble deck* untuk modifikasi (*rigidity factor*) *membrane f11, f22, f12 modifier* dan *bending m11,m22,m12 modifier* sebesar 0,88. Sedangkan modifikasi untuk (*shear factor*) *shear v13, v23 modifier* sebesar 0,6 yang nantinya akan diinput pada SAP 2000 bagian *stiffness modification factors*.

### **3.3.3 Kelebihan Pelat *Bubble Deck***

Tina (2010) adapun peraturan keuntungan dari penggunaan pelat *bubble deck* bahwa penghematan material dan waktu, pengurangan biaya serta penurunan berat bangunan. Selain itu hal tersebut menghemat di bagian hilir dalam desain dan konstruksi pada elemen struktur bangunan kolom dan balok, karena beban yang lebih ringan berdasarkan jurnal penelitiannya yang berjudul *Structural Behavior of BubbleDeck® Slabs And Their Application to Lightweight Bridge Decks*.

*bubble deck* menawarkan pengurangan berat hingga 25% dibandingkan pelat padat, mengurangi volume beton yang dibutuhkan sekitar 25%, serta menurunkan berat pelat secara signifikan dibandingkan pelat konvensional, sementara teknologi ini juga ramah lingkungan dan berkelanjutan karena mengurangi produksi semen dan emisi CO<sub>2</sub> global, serta memberikan penghematan biaya dan waktu dalam konstruksi Bhade dan Barelikar, (2016).

### **3.4 Pembebanan Struktur**

Struktur bangunan harus mampu menanggung berbagai macam beban yang bekerja. Oleh karena itu, dalam perancangan bangunan, perhitungan beban maksimum menjadi sangat penting. Ada beberapa jenis beban yang akan digunakan dalam tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut :

#### **3.4.1 Beban Mati**

Beban mati mencakup berat seluruh bahan konstruksi yang terpasang pada gedung, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, serta komponen arsitektural dan struktural lainnya, juga peralatan layanan terpasang seperti derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727-2020 pasal 3.1.1). Untuk perancangan, penghitungan beban mati harus menggunakan berat bahan dan struktur yang sebenarnya. Penghitungan beban mati juga perlu mempertimbangkan berat peralatan layanan dalam struktur bangunan, seperti sistem plumbing atau sanitasi, peralatan mekanikal elektrik, pemanas, ventilasi, dan sistem pengkondisian udara.

#### **3.4.2 Beban Hidup**

Beban hidup adalah beban yang dihasilkan oleh penggunaan dan penghuni bangunan atau struktur lain, yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban angin, hujan, gempa, banjir, atau beban mati SNI 1727-2020. Dalam perancangan bangunan dan struktur lainnya, beban hidup harus mencerminkan beban maksimum yang diharapkan dari penggunaan dan penghuni, namun tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020, yaitu beban hidup terdistribusi merata minimum (Lo) dan beban hidup terpusat minimum.

#### **3.4.3 Beban Gempa**

Gempa yang dianggap sebagai acuan adalah gempa dengan kemungkinan terjadi sebesar 2% dalam 50 tahun. SNI 1726-2019 mengelompokkan bangunan ke dalam beberapa kategori risiko gempa. Besarnya beban gempa yang harus ditanggung oleh suatu bangunan dipengaruhi oleh kategori risikonya, karena beban gempa setara dengan efek gempa pada bangunan. Berdasarkan tabel kategori risiko

bangunan gedung dan non gedung SNI 1726-2019 untuk jenis bangunan sekolah termasuk dalam kategori resiko IV. Dapat dilihat pada Tabel 3.8.

**Tabel 3. 8 Faktor Keutamaan Gempa**

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
I atau II	1,10
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2019)

### 3.5 Kontrol Struktur

Adapun beberapa kontrol struktur bangunan yang digunakan dalam perencanaan analisa adalah sebagai berikut.

#### 3.5.1 Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental  $T$  diperoleh dari hasil analisis struktur. Namun, dalam SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 telah ditetapkan bahwa periode fundamental yang digunakan dalam perhitungan tidak boleh melebihi batas atas yang diperoleh dari hasil perkalian antara koefisien periode batas atas ( $C_u$ ) dan pendekatan ( $T_a$ ). Untuk memudahkan pelaksanaan, pendekatan  $T_a$  dapat digunakan sebagai periode fundamental  $T$ . Periode pendekatan ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

Keterangan :

$T_a$  = periode fundamental pendekatan (detik)

$C_t$  &  $x$  = faktor periode pendekatan

$h_n$  = tinggi struktur bangunan (meter)

Nilai  $C_u$ ,  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 sebagai berikut.

**Tabel 3. 9 Koefisien Untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung**

Parameter Percepatan Respon Spektral Desain Pada 1 Detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : SNI 1726-2019)

**Tabel 3. 10 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$** 

Tipe struktur	$C_t$	$\alpha$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI 1726-2019)

### 3.5.2 Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726-2012, nilai partisipasi massa ragam yang berlaku harus mencapai minimal 90%. Namun, menurut SNI 1726-2019, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami struktur. Partisipasi massa ragam harus mencapai 100% dari massa struktur, tetapi masih diizinkan minimal 90%. Untuk memenuhi ketentuan ini, ragam satu badan kaku dengan periode 0,5 detik dapat mencakup semua ragam dengan periode di bawah 0,05 detik.

### 3.5.3 Ketidakberaturan

Dalam sistem struktur bangunan, bangunan tersebut harus diklasifikasikan ke dalam kategori ketidakberaturan. Ketidakberaturan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal.

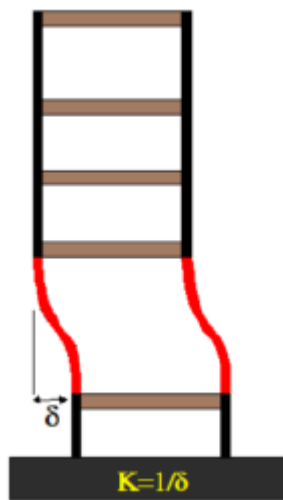
#### 1. Ketidakberaturan Vertikal

Jika suatu struktur memiliki satu atau lebih ketidakberaturan, maka struktur tersebut dinyatakan memiliki ketidakberaturan struktural. Jenis-jenis

ketidakberaturan vertikal adalah sebagai berikut.

a. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

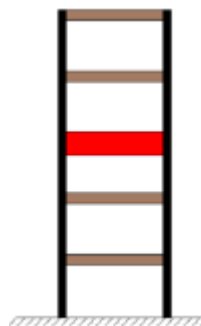
Ketidakteraturan kekakuan tingkat lunak dibagi menjadi dua, yaitu 1a dan 1b. Ketidakteraturan 1a terjadi jika ada tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya, atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Ketidakteraturan tingkat 1b adalah kekakuan tingkat lunak berlebih.



**Gambar 3. 14 Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a dan 1b)**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

b. Ketidakteraturan Berat

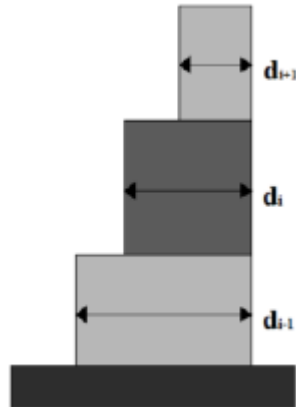
Ketidakteraturan berat terjadi dimana massa efektif pada sebuah tingkat sebelumnya melebihi 150 % massa efektif tingkat di dekatnya.



**Gambar 3. 15 Ketidakteraturan Berat**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

c. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal merupakan ketidakberaturan yang terjadi ketika dimensi horizontal pada sistem pemikul gaya seismik melebihi 130 % dari dimensi sistem penahan gempa pada tingkatan sebelumnya.

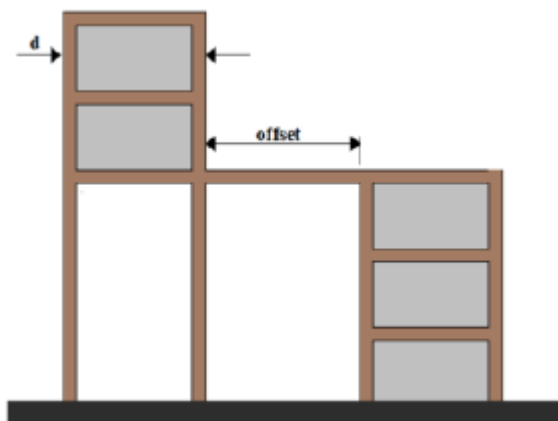


**Gambar 3. 16 Ketidakberaturan Geometri Vertikal**

(Sumber : SNI 1726-2019)

d. Diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan ini disebabkan oleh baik pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral yang lebih besar daripada panjang elemen tersebut, maupun penurunan kekakuan elemen penahan di bawahnya.



**Gambar 3. 17 Diskontinuitas Arah Bidang Dalam Ketidakberaturan Elemen Penahan Gaya Lateral**

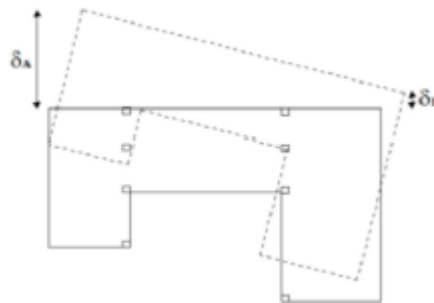
(Sumber : SNI 1726-2019)

## 2. Ketidakberaturan Horizontal

Suatu struktur disebut sebagai ketidakberaturan struktur jika memiliki satu atau lebih ketidakberaturan. Jenis ketidakberaturan horizontal adalah sebagai berikut.

### a. Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi terjadi jika simpangan antar lantai maksimum, termasuk torsi tak terduga, di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu melebihi 1,2 kali simpangan antar lantai rata-rata di kedua ujung struktur. Ketidakberaturan torsi berlebih terjadi jika simpangan maksimum tersebut lebih dari 1,4 kali simpangan rata-rata.



**Gambar 3. 18 Ketidakberaturan Torsi**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

### b. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi jika kedua proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam melebihi 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.

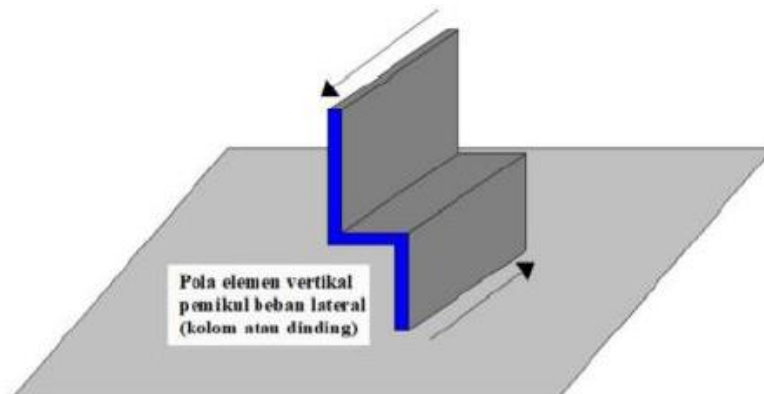
### c. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma terjadi jika suatu diafragma memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan yang mendadak, termasuk jika terdapat daerah terpotong atau terbuka yang melebihi 50% dari total area diafragma yang tertutup, atau jika terjadi perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari satu tingkat ke tingkat berikutnya.



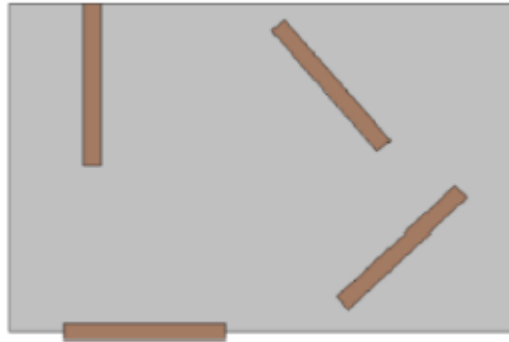
**Gambar 3. 19 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

- d. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang  
Mengacu Pada SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019, ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang terjadi apabila terdapat pergeseran tegak lurus pada bidang yang didefinisikan oleh adanya diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, berupa pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada minimal satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.



**Gambar 3. 20 Ketidakberaturan Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

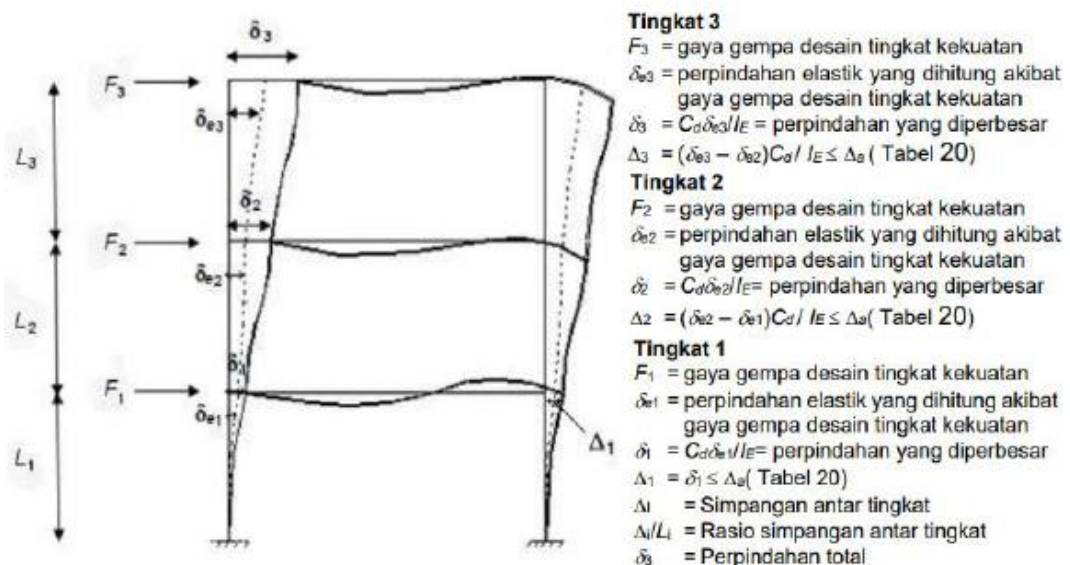
- e. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel  
Pada SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019, ketidakberaturan sistem non paralel terjadi jika terdapat elemen vertikal pemikul gaya lateral yang tidak paralel terhadap sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.



**Gambar 3. 21 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

### 3.5.4 Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) ditentukan dengan menghitung selisih simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Jika pusat massa tidak berada dalam garis yang sama secara vertikal, simpangan dapat dihitung pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika tegangan izin desain digunakan,  $\Delta$  harus dihitung dengan menggunakan gaya seismik desain yang telah ditetapkan tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.



**Gambar 3. 22 Simpangan Antar Tingkat**  
(Sumber : SNI 1726-2019)

Simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) harus diberi batasan agar tidak lebih dari simpangan antar lantai ijin  $\Delta_a$ , yang telah ditentukan berdasarkan Tabel 3.11 berikut.

**Tabel 3. 11 Simpangan Antar Tingkat Izin**

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726-2019)

### 3.5.5 Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta memengaruhi geser dan momen pada tingkat, serta gaya dan momen pada elemen struktur yang dihasilkan. Simpangan antar tingkat akibat pengaruh ini tidak perlu diperhitungkan jika koefisien stabilitas ( $\theta$ ) yang dihitung menggunakan persamaan berikut kurang dari 0,10 yang didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P_x \Delta l_e}{V_x h_{sx} C_d}$$

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh lebih dari  $\theta_{max}$  yang didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d}$$

Keterangan :

- $P_x$  = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x
- $\Delta$  = simpangan antar tingkat desain
- $l_e$  = faktor keutamaan gempa
- $V_x$  = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan x-1
- $h_{sx}$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x

### 3.6 Perhitungan Desain Tulangan Lentur Balok

Adapun beberapa kontrol struktur bangunan yang digunakan dalam perencanaan analisa adalah sebagai berikut.

#### 3.6.1 Perhitungan Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan

Diketahui data – data sebagai berikut.

$F_y$	= Tegangan leleh baja
$F'_c$	= Kuat tekan beton
$M_u +$	= Momen <i>ultimate</i> positif
$M_u -$	= Momen <i>ultimate</i> negatif
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
$\epsilon_c$	= Regangan beton pada kondisi <i>ultimate</i>
$\Phi$	= Faktor reduksi
$\emptyset$ Pokok	= Diameter tulangan utama
$\emptyset$ Sengkang	= Diameter tulangan sengkang
$S_b$	= Selimut beton

Karena yang akan dihitung adalah balok pada daerah tumpuan maka yang ditinjau adalah momen negatif.

##### 1. Pengecekan Dimensi Balok

Penentuan dimensi balok dilakukan dengan perhitungan – perhitungan di bawah ini.

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi}$$

$$\epsilon_y = \frac{F_y}{E_s}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F'_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$\beta_1 = 17 \leq F_c \leq 28$$

$$= 0,85$$

Merujuk pada SNI 2847 2019 untuk  $\beta_1$  faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral.

**Tabel 3. 12 Nilai  $\beta_1$  untuk Distribusi Tegangan Beton Persegi Ekuivalen**

$f'_c$ , MPa	$\beta_1$	
$17 \leq f'_c \leq 28$	0,85	a)
$28 < f'_c < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7}$	b)
$f'_c \geq 55$	0,65	c)

(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Maka untuk  $\beta_1$  faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral digunakan 0,85

$$\rho_b = \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y}$$

$$R_b = \rho_b \times F_y \times (1 - (0,5 \times \rho_b \times m))$$

$$R_m = 0,75 \times R_b$$

$$B_{\text{perlu}} = \sqrt[3]{\frac{M_n}{4 \times R_m}}$$

$$H_{\text{perlu}} = 2B$$

Adapun untuk syarat b dan h pakai adalah harus lebih besar dari B dan H perlu.

## 2. Komponen Tulangan Sebelah

Adapun komponen untuk mencari tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

### a. Cek syarat $M_u +$

$M_u -$  = Momen *ultimate* tumpuan

50%  $M_u -$  = 50% x Momen *ultimate* tumpuan

$M_u +$  = Momen *ultimate* lapangan

Jika  $M_u + \geq 50\% M_u -$  maka sudah memenuhi persyaratan SPRMK pada daerah tumpuan dan diambil nilai c sebesar 0,2.

### b. Kontrol Tegangan Baja

c pakai = 0,2

$R_1$  = c x  $R_b$

$M_1$  =  $R_1 \times B_{\text{pakai}} \times H_{\text{pakai}}^2$

$$ds \text{ asumsi} = Pb + \emptyset \text{Senggang} + \frac{\emptyset \text{Pokok}}{2}$$

$$d = H - ds$$

c. Mencari Rasio Tulangan ( $\rho$ ) Sebelah

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$\phi M_n = b \times d^2$$

$$\phi K_n = \frac{M_u - \text{tumpuan}}{\phi M_n}$$

$$\phi = \frac{\phi}{0,9}$$

$$K_n = \left[ 1 - \frac{p \times f_y}{1,7 \times f_c} \right] \times \rho \times f_y$$

Maka menggunakan rumus abc persamaan kuadrat untuk mendapatkan nilai a

Mencari nilai  $\rho$  dengan persamaan kuadrat

$$\rho 1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\rho 2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Mencari persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho \text{ min } 1 = \frac{(0,25 \times \sqrt{f_c})}{f_y}$$

$$\rho \text{ min } 2 = \frac{0,25}{f_c}$$

$$\rho \text{ max } (\epsilon_t = 0,004) = \left( 0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y} \right) \times \left( \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \right)$$

$$\rho (\epsilon_t = 0,005) = \left( 0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y} \right) \times \left( \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \right)$$

Pengecekan persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

(1)  $\rho 1$

Syarat 1

$$= \rho 1 > \rho \text{ min } 1$$

Syarat 2

$$= \rho 1 > \rho \text{ min } 2$$

Syarat 3

$$= \rho 1 > \rho \text{ max}$$

(2)  $\rho_2$

Syarat 1

$$= \rho_2 > \rho_{\min 1}$$

Syarat 2

$$= \rho_2 > \rho_{\max}$$

Syarat 3

$$= \rho_2 > \rho_{\max}$$

(3)  $\rho (\epsilon_t = 0,005)$

Syarat 1

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 1}$$

Syarat 2

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 2}$$

Syarat 3

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\max}$$

Jika  $\rho_1$  memenuhi ketiga syarat yaitu  $\rho_1 > \rho_{\min 1} > \rho_{\min 2} > \rho_{\max}$  maka digunakan sebagai rasio tulangan.

Mengacu pada SNI 2847 2018, Pasal 9.6.2.3 dan ACI 318-05

### 3. Kebutuhan Tulangan Sebelah

Adapun kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\text{Luas perlu total} = \rho \times b \times d$$

$$\text{Luas 1 tulangan} = 0,25 \times \pi \times d_{\text{pokok}}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}}$$

Maka untuk jumlah tulangan sebelah adalah n buah.

### 4. Merubah Parameter Kebutuhan dan Cek Kondisi Penampang

Adapun parameter kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$d_s = P_b + \emptyset \text{Sengkang} + \emptyset \text{Pokok} + (0,5 \times \text{Jarak Vertikal Tul.})$$

$$d = H - d_s$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas perlu total baru} &= \rho \times b \times d \\
\text{Jumlah tulangan Perlu} &= \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}} \\
&= n \text{ buah} \\
\text{Luas perlu total baru 1} &= \text{Jumlah tulangan Perlu} \times \text{Luas 1 tulangan} \\
\rho \text{ baru} &= \frac{\text{Luas perlu total baru 1}}{b \times d} \\
\text{Cek tulangan sebelah baru} &= \rho \text{ baru} < \rho \text{ max} \\
\epsilon_t \text{ baru} &= \rho \text{ baru} = \frac{0,85 f_c \beta_1}{f_y} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \\
\text{Cek kondisi penampang} &= \epsilon_t \text{ baru} > \rho (\epsilon_t = 0,005)
\end{aligned}$$

Dari cek kondisi penampang  $\epsilon_t \text{ baru} > \rho$  ( $\epsilon_t = 0,005$ ) berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, penampang dikatakan terkendali tarik (*tension-controlled section*) jika regangan tarik pada tulangan paling luar ( $\epsilon_t$ ) mencapai atau melebihi 0,005. Kondisi ini menjamin daktilitas penampang yang baik, sehingga struktur mampu mengalami deformasi yang cukup sebelum mencapai keruntuhan.

##### 5. Komponen Tulangan Kembar dan Tulangan Rangkap

Adapun komponen untuk mencari tulangan kembar dan tulangan rangkap dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

###### a. Mencari rasio tulangan kembar dan rangkap

$$\begin{aligned}
\phi &= 0,9 \\
K_n \text{ baru} &= \left( 1 - \left( \frac{\rho \text{ baru} \times f_y}{1,7 \times f_c} \right) \right) \times (\rho \text{ baru} \times f_y) \\
\phi K_n \text{ baru} &= K_n \text{ baru} \times \phi \\
\phi M_n \text{ baru} &= \phi K_n \text{ baru} \times b \times d^2 \\
M_n \text{ baru} &= \frac{\phi M_n \text{ baru}}{\phi} \\
&= \frac{289,464}{0,9}
\end{aligned}$$

###### b. Kondisi tulangan rangkap (tulangan desak/tekan)

$$\begin{aligned}
d_s' &= \text{Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan} \\
&\text{(mm)} \\
d &= \text{Jarak efektif balok (mm)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn' &= Mu \text{ tumpuan} - (\phi Mn \text{ baru}) \\ \phi Kn' &= \frac{\phi Mn'}{b \times d^2} \\ Kn' &= \frac{\phi Kn'}{\phi} \\ p' &= Kn' = \rho' \times fy \left(1 - \frac{ds'}{d}\right) \\ T &= C \\ Mn \text{ baru} &= (0,85 \times fc \times b \times (\beta 1c)) \times \left(d - \frac{(\beta 1c)}{2}\right) \\ c &= \text{Kedalaman garis netral pada penampang (mm)} \\ \epsilon s &= \frac{(d - c)}{c \times \epsilon c} \\ \epsilon s' &= \epsilon s \times \frac{(c - ds')}{d - ds'} \\ fs' &= Es \times \epsilon s' \end{aligned}$$

c. Mencari kebutuhan tulangan kembar ( $As'$ )

$$\begin{aligned} As' &= \frac{\phi Mn'}{fs' \times (d - ds')} \\ \text{Jumlah tulangan perlu} &= \frac{As'}{As,D(\text{pokok})} \\ As' \text{ baru} &= \text{Jumlah tulangan perlu} \times As,D(\text{pokok}) \\ d &= \text{Jarak efektif balok (mm)} \end{aligned}$$

## 6. Hasil prediksi tulangan tumpuan

Adapun hasil dari prediksi tulangan tumpuan dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \phi \text{ pakai} &= \text{Faktor reduksi} \\ \epsilon s \text{ pakai} &= \text{Modulus elastisitas baja (MPa)} \\ n \text{ (} As' \text{ prediksi) tulangan kembar} &= \text{Tulangan (buah)} \\ n \text{ (} As - As' \text{) tulangan sebelah} &= \text{Tulangan (buah)} \\ n \text{ (} As \text{ prediksi) tulangan kembar} &= n \text{ (} As' \text{ prediksi) + } n \text{ (} As - As' \text{)} \\ As \text{ prediksi} &= (As' \text{ baru}) + (As - As' \text{ baru}) \end{aligned}$$

## 7. Cek Momen Nominal Negatif

Untuk mengecek nilai momen negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

a. Konfigurasi tulangan yang dipakai

Atas (tarik) = Tulangan (buah)

Bawah (tekan) = Tulangan (buah)

b. Konfigurasi tulangan tarik pakai

Jumlah pada baris 1 = Tulangan (buah)

Jumlah pada baris 2 = Tulangan (buah)

Jarak antar baris = Jarak vertikal tulangan +  $\emptyset_{\text{Pokok}}$

x1 =  $P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}})$

x2 = x1 + jarak antar baris

As1 = Jumlah tulangan pada baris 1 x A1 tulangan

As2 = Jumlah tulangan pada baris 2 x A1 tulangan

As1. x1  
pertama (mm<sup>2</sup>) = Luas penampang tulangan pada baris

As2. x2  
(mm<sup>2</sup>) = Luas penampang tulangan pada baris kedua

ds tarik =  $\frac{As1 \cdot x1 + As2 \cdot x2}{As1 + As2}$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

S =  $\frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1}$

Jika jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sudah OK.

c. Konfigurasi tulangan tekan

Jumlah pada baris 1 = Tulangan (buah)

Jarak antar baris = Jarak vertikal tulangan +  $\emptyset_{\text{Pokok}}$

x1 =  $P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}})$

As1 = Jumlah tulangan pada baris 1 x A1 tulangan

As1. x1  
pertama (mm<sup>2</sup>) = Luas penampang tulangan pada baris

ds tekan =  $\frac{As1 \cdot x1}{As1}$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

S =  $\frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1}$

Jika jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm maka sudah OK.

d. Perhitungan untuk momen nominal negatif ( $M_n^-$ )

$d_s$  = Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan (mm)

$$d = h - d_s$$

$A_s$  tarik pakai = Jumlah tulangan tarik x  $A_s, D$  (pokok)

$A_s'$  tekan pakai = Jumlah tulangan tekan x  $A_s, D$  (pokok)

Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$T_s = c c + c s$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times c \times \frac{c-d_s}{c} \times E_s)$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$  sebesar 71,668 mm.

$c$  = Kedalaman garis netral pada penampang (mm)

$$a = c \times \beta_1$$

$$\epsilon_s = \frac{d_{\text{tekan}} - c}{c} \times \epsilon_c$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \frac{c - d_{\text{tekan}}}{d_{\text{tekan}} - d_{\text{tekan}}}$$

$$f_s' = E_s \times \epsilon_s'$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\epsilon_y = 0,00210$$

didapat nilai  $\epsilon_s > \epsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\epsilon_t > 0,005$

$$\epsilon_t = \frac{(H - P_b - \phi_{\text{Sengkang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \epsilon_c}{c} - \epsilon_c$$

$$\epsilon_t = \epsilon_t > \epsilon_y, \text{ maka reduksi atau } \phi \text{ adalah } 0,9$$

$$K_n = (1 - \frac{\rho' \times f_y}{1,7 \times f_c}) \rho' \times f_y$$

$$M_1 = K_n \times (b \times (d_{\text{tarik}})^2)$$

Karena M2 tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$K_n' = \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right)$$

$$M_2 = (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan}))$$

$$M_n - \text{tumpuan} = M_1 + M_2$$

$$\phi M_n - \text{tumpuan} = \phi \times M_n - \text{tumpuan}$$

$$\phi M_n > M_u -$$

#### 8. Cek Momen Kapasitas Negatif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$d_s$  = Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan  
(mm)

$d_s'$  = Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan  
(mm)

$d$  tarik pakai = Jarak efektif balok (mm)

$A_s$  pakai = Jumlah tulangan tarik x  $A_1$  tulangan

$A_s'$  pakai = Jumlah tulangan tekan x  $A_1$  tulangan

$\rho$  tarik pakai =  $\frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d}$

$K_{pr}$  tarik pakai =  $1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right)$

$M_{pr}$  tarik pakai =  $K_{pr}$  tarik pakai x  $b \times d^2$

$M_{pr}$  desak pakai =  $1,25 \times M_2$

$M_{pr} - \text{tumpuan} = M_{pr}$  tarik +  $M_{pr}$  desak

$\phi M_{pr} - \text{tumpuan} = M_{pr} - \text{tumpuan} \times \phi$

#### 9. Cek Momen Nominal Positif

Untuk mengecek nilai momen positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

a. Konfigurasi tulangan yang dipakai

Bawah (tarik) = Tulangan (buah)

Atas (tekan) = Tulangan (buah)

b. Konfigurasi tulangan tekan pakai

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah pada baris 1} &= \text{Tulangan pada baris 1 (buah)} \\
\text{Jumlah pada baris 2} &= \text{Tulangan pada baris 2 (buah)} \\
\text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
x1 &= P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
x2 &= x1 + \text{jarak antar baris} \\
A_{s1} &= \text{Jumlah tulangan pada baris 1} \times A1 \text{ tulangan} \\
A_{s2} &= \text{Jumlah tulangan pada baris 2} \times A1 \text{ tulangan} \\
A_{s1} \cdot x1 &= \text{Luas penampang tulangan pada baris} \\
\text{pertama (mm}^2\text{)} & \\
A_{s2} \cdot x2 &= \text{Luas penampang tulangan pada baris} \\
\text{pertama (mm}^2\text{)} & \\
d_s \text{ tekan} &= \frac{A_{s1} \cdot x1 + A_{s2} \cdot x2}{A_{s1} + A_{s2}}
\end{aligned}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$S = \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1}$$

Jika jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm maka sudah OK.

c. Konfigurasi tulangan tarik

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah pada baris 1} &= \text{Tulangan pada baris 1 (buah)} \\
\text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
x1 &= P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
A_{s1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A1 \text{ tulangan} \\
A_{s1} \cdot x1 &= \text{Luas penampang tulangan pada baris} \\
\text{pertama (mm}^2\text{)} & \\
d_s \text{ tekan} &= \frac{A_{s1} \cdot x1}{A_{s1}}
\end{aligned}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$S = \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1}$$

Jika jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm maka sudah OK.

d. Perhitungan untuk momen nominal positif ( $M_n^+$ )

$$d_s = \text{Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan (mm)}$$

$$d = h - d_s$$

$$A_s \text{ tekan}_{\text{pakai}} = \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_s, D \text{ (pokok)}$$

$$A_s' \text{ tarik}_{\text{pakai}} = \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_s, D \text{ (pokok)}$$

Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$T_s = c c + c s$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times c \times$$

$$\frac{c-d_s}{c} \times E_s)$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$

$$c = \text{Kedalaman garis netral pada penampang (mm)}$$

$$a = c \times \beta_1$$

$$\epsilon_s = \frac{d \text{ tekan} - c}{c} \times \epsilon_c$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \frac{c - d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan}}$$

$$f_s' = E_s \times \epsilon_s'$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\epsilon_y = \text{Regangan baja pada tegangan leleh}$$

didapat nilai  $\epsilon_s > \epsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\epsilon_t > 0,005$

$$\epsilon_t = \frac{(H - P_b - \phi_{\text{Sengkang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \epsilon_c}{c} - \epsilon_c$$

$$\epsilon_t = \text{maka reduksi atau } \phi \text{ adalah } 0,9$$

$$K_n = \left(1 - \frac{\rho \times f_y}{1,7 \times f_c}\right) \rho \times f_y$$

$$M_1 = K_n \times (b \times (d \text{ tarik}^2))$$

Karena  $M_2$  tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$K_n' = \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right)$$

$$M_2 = (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan}))$$

$$\begin{aligned} M_n + tumpuan &= M_1 + M_2 \\ \phi M_n + tumpuan &= \phi \times M_n + tumpuan \\ \phi M_n &> M_u+ \end{aligned}$$

#### 10. Cek Momen Kapasitas Positif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$d_s \quad \text{(mm)} = \text{Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan}$$

$$d_s' \quad \text{(mm)} = \text{Jarak dari permukaan beton ke pusat tulangan}$$

$$d \text{ tarik pakai} = h - d_s$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ tulangan}$$

$$A_{s' \text{ pakai}} = \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ tulangan}$$

$$\rho \text{ tarik pakai} = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d}$$

$$K_{pr} \text{ tarik pakai} = 1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right)$$

$$M_{pr} \text{ tarik pakai} = K_{pr} \text{ tarik pakai} \times b \times d^2$$

$$M_{pr} \text{ desak pakai} = 1,25 \times M_2$$

$$M_{pr} + tumpuan = M_{pr} \text{ tarik} + M_{pr} \text{ desak}$$

$$\phi M_{pr} + tumpuan = M_{pr} + tumpuan \times \phi$$

#### 11. Cek Rasio Tulangan

Untuk mengecek apakah jumlah tulangan yang digunakan berlebih atau tidak maka dapat dilakukan perhitungan cek rasio tulangan. Adapun perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

##### a. Cek rasio tulangan Atas

$$\rho_{\max} = 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y}$$

$$\rho_{\text{pakai}} = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho_{\min 1} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min 2} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y}$$

$\rho_{min}$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{min1}$  dan  $\rho_{min2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$

b. Cek rasio tulangan bawah

$$\rho_{max} = 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y}$$

$$\rho_{pakai} = \frac{A_s}{b \times d}$$

$$\rho_{min1} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min2} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y}$$

$\rho_{min}$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{min1}$  dan  $\rho_{min2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{min} < \rho_{pakai} < \rho_{max}$

## 12. Tulangan Pakai

Pada point ini merupakan hasil penulangan daerah atas atau momen negatif dan daerah bawah atau momen positif.

### 3.6.2 Perhitungan Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan

Perhitungan desain tulangan lentur pada daerah lapangan menggunakan prinsip perhitungan yang sama sebagaimana dijelaskan pada Sub Bab 3.6.1 untuk daerah tumpuan. Perbedaan utama terletak pada penerapan nilai momen hasil redistribusi dan perubahan distribusi momen positif-negatif sesuai dengan karakteristik pembebanan di daerah lapangan. Selain itu, konfigurasi tulangan disesuaikan dengan kebutuhan struktural pada area ini, di mana distribusi tulangan bawah dan atas mengikuti pola yang berbeda untuk mengoptimalkan kinerja penampang.

### 3.6.3 Desain Tulangan Lentur Balok Anak

Desain tulangan lentur untuk balok anak dilakukan dengan metode yang konsisten seperti pada balok induk (Sub Bab 3.6.1), namun dengan penyesuaian terkait distribusi beban dan kebutuhan tulangan. Perbedaan utama terletak pada simplifikasi konfigurasi tulangan akibat sifat pembebanan yang lebih terpusat pada balok induk, sehingga desain tulangan pada balok anak mengikuti pendekatan yang lebih efisien.

### 3.7 *Bill of Quantity*

*Bill of Quantity (BOQ)* merupakan komponen kritis dalam perencanaan konstruksi untuk memastikan efisiensi penggunaan material dan akurasi anggaran biaya. Pada struktur beton bertulang, penyusunan *BOQ* tulangan balok memerlukan analisis detail terhadap kebutuhan tulangan berdasarkan desain struktural, termasuk jumlah batang, panjang, dan berat per meter. Studi oleh Setiawan dan Pratama, (2022) menunjukkan bahwa metode perhitungan *BOQ* tulangan berbasis volume, seperti mengalikan jumlah batang, panjang, dan berat per meter, dapat mengurangi kesalahan estimasi material hingga 15%.

Berdasarkan SNI 2052 - 2017 tentang baja tulangan beton, berat nominal per meter tulangan baja ulir dengan diameter 16 mm (D16) ditetapkan sebesar 1,578 kg/m. Nilai ini menjadi acuan dasar dalam perhitungan kebutuhan material tulangan pada struktur beton bertulang, sebagaimana dijelaskan dalam Pasal 6.3.1 diameter, berat dan ukuran sirip/ulir, Tabel 3 SNI 2052 - 2017 yang mengatur spesifikasi teknis tulangan beton. Penetapan berat nominal ini memastikan konsistensi dalam perencanaan struktur, terutama dalam penyusunan *Bill of Quantity (BQ)*.

**Tabel 3. 13 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip**

No	Pena- maan	Dia- meter nominal (d)	Luas penam- pang nominal (A)	Tinggi sirip (H)		Jarak sirip melintang (P) Maks	Lebar sirip membujur (T) Maks	Berat nominal per meter
				min	maks			
		mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm	kg/m
1	S 6	6	28	0,3	0,6	4,2	4,7	0,222
2	S 8	8	50	0,4	0,8	5,6	6,3	0,395
3	S 10	10	79	0,5	1,0	7,0	7,9	0,617
4	S 13	13	133	0,7	1,3	9,1	10,2	1,042
5	S 16	16	201	0,8	1,6	11,2	12,6	1,578
6	S 19	19	284	1,0	1,9	13,3	14,9	2,226
7	S 22	22	380	1,1	2,2	15,4	17,3	2,984
8	S 25	25	491	1,3	2,5	17,5	19,7	3,853
9	S 29	29	661	1,5	2,9	20,3	22,8	5,185
10	S 32	32	804	1,6	3,2	22,4	25,1	6,313
11	S 36	36	1018	1,8	3,6	25,2	28,3	7,990
12	S 40	40	1257	2,0	4,0	28,0	31,4	9,865
13	S 50	50	1964	2,5	5,0	35,0	39,3	15,413
14	S 54	54	2290	2,7	5,4	37,8	42,3	17,978
15	S 57	57	2552	2,9	5,7	39,9	44,6	20,031

(Sumber: SNI 2052 - 2017)

### 3.7.1 Perhitungan *Bill of Quantity* Tulangan Balok

Adapun untuk mencari *Bill of Quantity (BOQ)* pada balok akan dijelaskan sebagai berikut.

*Bill of Quantity* Tulangan Balok

Diketahui data – data sebagai berikut.

Ø Pokok = Diameter tulangan pokok (mm)

Berat tulangan D = Berat tulangan pokok (kg/m)

Jumlah tulangan balok = Jumlah tulangan pokok (buah)

Panjang balok = Panjang balok tinjauan (mm)

Jumlah balok BI 1 = batang

a. Total Panjang Tulangan Balok

Total Panjang Balok = (Jumlah Tulangan) x (Jumlah Balok) x  
(Panjang Balok)

= m

b. Berat Tulangan Balok

Berat Balok BI 1 = (Total Panjang) x (Berat Tulangan)

= kg

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Bab sebelumnya membahas landasan teori yang digunakan untuk penelitian ini. Bab IV membahas metode yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Untuk memulai penelitian ini, kami melihat penelitian sebelumnya dan jurnal yang relevan. Selanjutnya, data atau informasi tentang subjek penelitian dikumpulkan, baik data primer maupun sekunder. Selanjutnya, data diproses dengan pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan SAP 2000. Setelah pemodelan selesai, perhitungan dilakukan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, seperti SNI 1726-2019, SNI 2847-2020, dan lain-lain.

#### **4.2 Data Objek Penelitian**

Dalam penelitian, mendapatkan data tentang objek yang diteliti sangat penting karena proses penelitian menjadi lebih lancar jika data lebih lengkap atau detail. Jenis data yang dapat digunakan mencakup berbagai hal, seperti lokasi objek, denah atau gambar kerja (*shop drawing*), data teknis bangunan, dan sebagainya. Jenis data yang tersedia dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

##### **1. Data Umum**

- Nama gedung : Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul
- Lokasi : Kanggotan, Pleret, Bantul, Yogyakarta 55971
- Fungsi : Gedung Kelas
- Jumlah lantai : 3
- Tinggi bangunan : ± 10,5 m
- Total luas area : ± 340 m<sup>2</sup>
- Struktur utama : Struktur beton bertulang
- Atap : Struktur rangka baja

- Tinggi tiap lantai

Lantai 1 s/d 3 : 3,5 m

2. Data material

- Kekuatan tekan beton ( $f_c'$ ) : 25 Mpa
- Tegangan leleh baja ulir ( $f_y$ ) : 420 Mpa
- Tegangan leleh baja polos : 240 Mpa

3. Data gambar

- Gambar stuktur : (Lampiran)
- Gambar arsitektur : (Lampiran)

Adapun lokasi bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4. 1 Peta Lokasi Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul**

(Sumber : *Google Maps*)

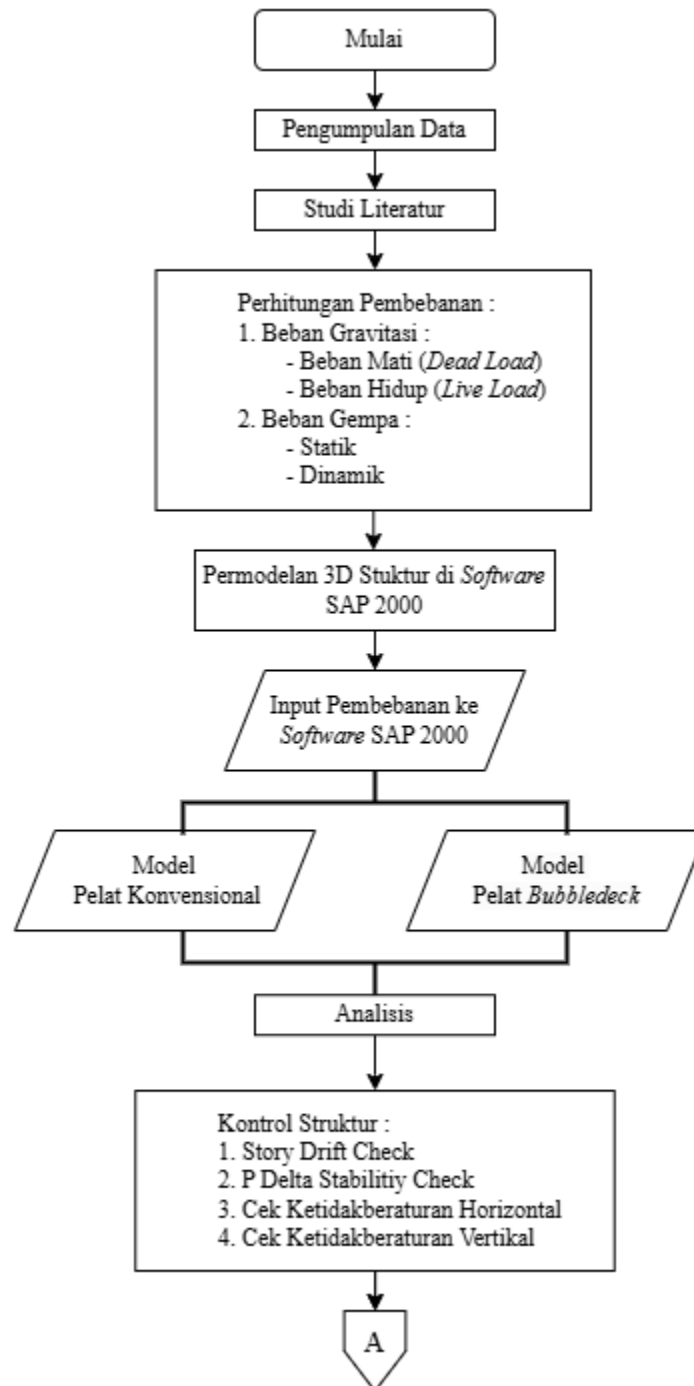
### 4.3 Tahapan Penelitian

Adapun beberapa tahap yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

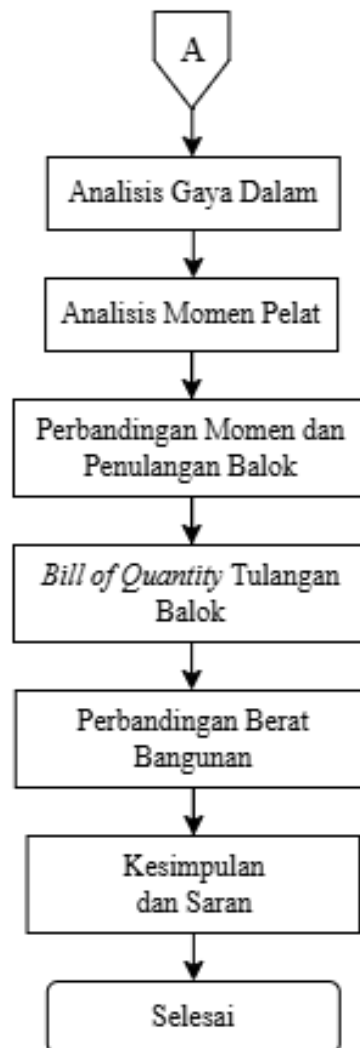
1. Mengumpulkan data-data yang digunakan dalam penelitian ini.
2. Studi literatur

3. Tahap desain awal (*preliminary design*) meliputi penentuan model struktur, dimensi struktur terutama pelat, penulangan dan variasi struktur.
4. Mendesain ketebalan pelat beserta material penyusun pelat.
5. Melakukan permodelan 3D menggunakan aplikasi SAP 2000 dan analisis menggunakan Microsoft Excel.
6. Melakukan analisis pembebanan pada pelat konvensional dan *Bubble Deck* pada aplikasi SAP 2000.
7. Membandingkan hasil kontrol struktur bangunan yang sudah ditetapkan pada setiap permodelan.
8. Membandingkan hasil momen dan penulangan pelat *Bubble Deck* dan konvensional.
9. Membandingkan hasil momen dan penulangan balok *Bubble Deck* dan konvensional.
10. Membuat pembahasan tentang perbandingan *bill of quantity* penulangan balok pada bangunan *Bubble Deck* dan konvensional.
11. Membuat pembahasan tentang perbandingan berat bangunan struktur bangunan yang sudah ditetapkan pada setiap permodelan.
12. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Langkah-langkah penyelesaian tugas akhir ini tercantum dalam *flow charts* yang dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4. 2 Flow Charts Penelitian**



**Gambar 4. 3 Lanjutan *Flow Charts* Penelitian**

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Pendahuluan**

Bab ini menjabarkan secara rinci proses analisis dan hasil yang didapatkan. Yaitu, dari data struktur yang dijadikan objek penelitian meliputi berat bangunan, pembahasan struktur, kontrol struktur, analisis gempa, output yang dihasilkan dari *software* SAP 2000.

Analisis akan dilakukan dengan membuat model menggunakan aplikasi SAP 2000, di mana data gedung serta parameter-parameter gempa yang sesuai dengan lokasi gedung akan dimasukkan. Dari hasil pemodelan ini, struktur akan diperiksa untuk melihat ketidakberaturan, simpangan antar lantai, dan efek p-delta gedung serta berat bangunan yang didapatkan dari penggunaan pelat *Bubble Deck* dan konvensional.

Setelah pemodelan memenuhi persyaratan yang ditetapkan, analisis struktur gedung dilakukan, termasuk analisis balok, kolom dan pelat, dengan menggunakan hasil output dari pemodelan yang telah dilakukan sebelumnya serta data struktur gedung eksisting yang diperoleh dari lapangan. Sehingga mendapatkan penurunan berat bangunan yang mempengaruhi momen dari kombinasi pelat *Bubble Deck* dan konvensional, hal tersebut memberikan konfigurasi baru pada penulangan balok, kolom bangunan.

Hasil analisis dari pemodelan aplikasi dan perhitungan data eksisting kemudian dibandingkan, dari penggunaan jumlah tulangan yang dipengaruhi momen berat bangunan tersebut.

#### **5.2 Data Bangunan**

Struktur gedung yang menjadi objek penelitian ini adalah Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul, yang memiliki 3 lantai dengan dimensi panjang 34 meter, lebar 12 meter, dan tinggi total bangunan  $\pm 10,5$  meter.

Informasi lebih rinci mengenai gedung ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.3

**Tabel 5. 1 Data Bangunan**

No	Data Bangunan		Satuan
1	Fungsi Bangunan	Sekolah	
2	Lokasi Bangunan	Bantul	
3	Jenis Tanah	Keras (Asumsi)	
4	Jumlah Lantai	3	
5	Tinggi Total Bangunan	10,5	m
6	Mutu Beton	25	Mpa
7	Tulangan Baja Ulir	420	Mpa
8	Tulangan Baja Polos	280	Mpa
9	Tulangan Sengkang	280	Mpa

**Tabel 5. 2 Dimensi Balok**

No	Kode Balok	Dimensi (mm)
1	BI 1	350 × 600
2	BI 2	250 × 400
3	BI 3	250 × 400
4	BI 4	350 × 600
5	BA 1	250 × 400
6	BA 2	250 × 400
7	BA 3	250 × 400

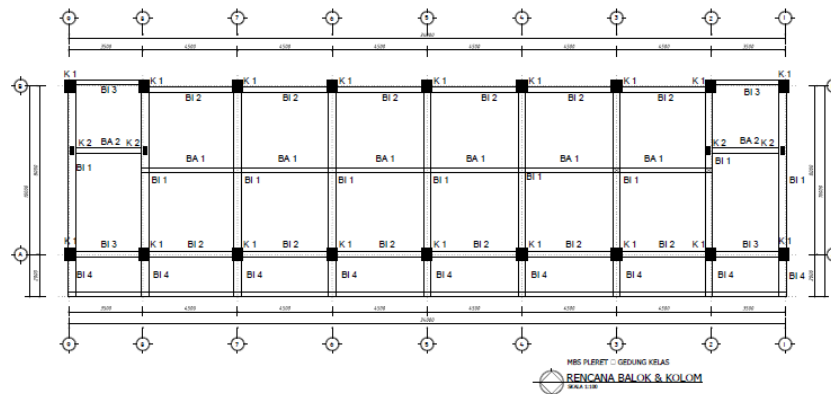
**Tabel 5. 3 Dimensi Kolom**

No	Kode Kolom	Dimensi (mm)
1	K1	600 × 600

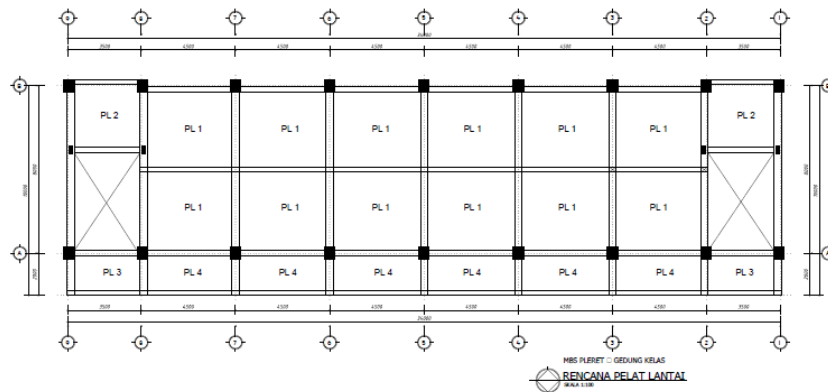
**Tabel 5. 4 Dimensi Pelat**

NO	Kode Pelat	Dimensi			Tipe Pelat	
		Ly (mm)	Lx (mm)	Tebal (mm)	Ly/Lx	Keterangan
1	PL1	4500	4000	230	1.13	Dua Arah
2	PL2	3500	3250	230	1.08	Dua Arah
3	PL3	3500	2000	230	1.75	Dua Arah
4	PL4	4500	2000	230	2.25	Satu Arah
5	PA1	4500	4000	230	1.13	Dua Arah
6	PA2	4000	3500	230	1.14	Dua Arah
7	PA3	3500	2000	230	1.75	Dua Arah
8	PA4	4500	2000	230	2.25	Satu Arah

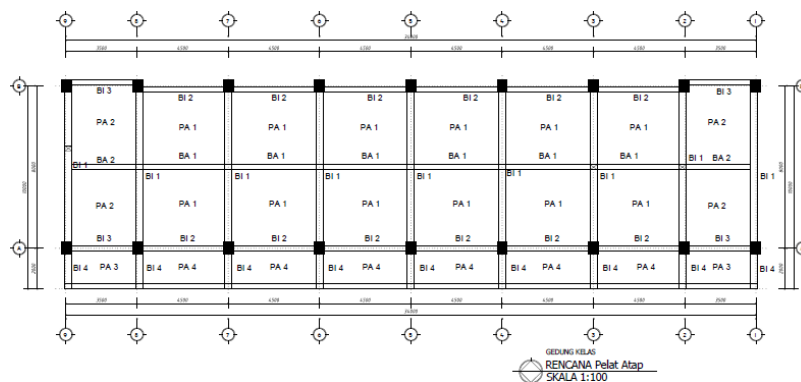
Adapun untuk denah struktur bangunan balok, kolom, pelat dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.5 berikut ini.



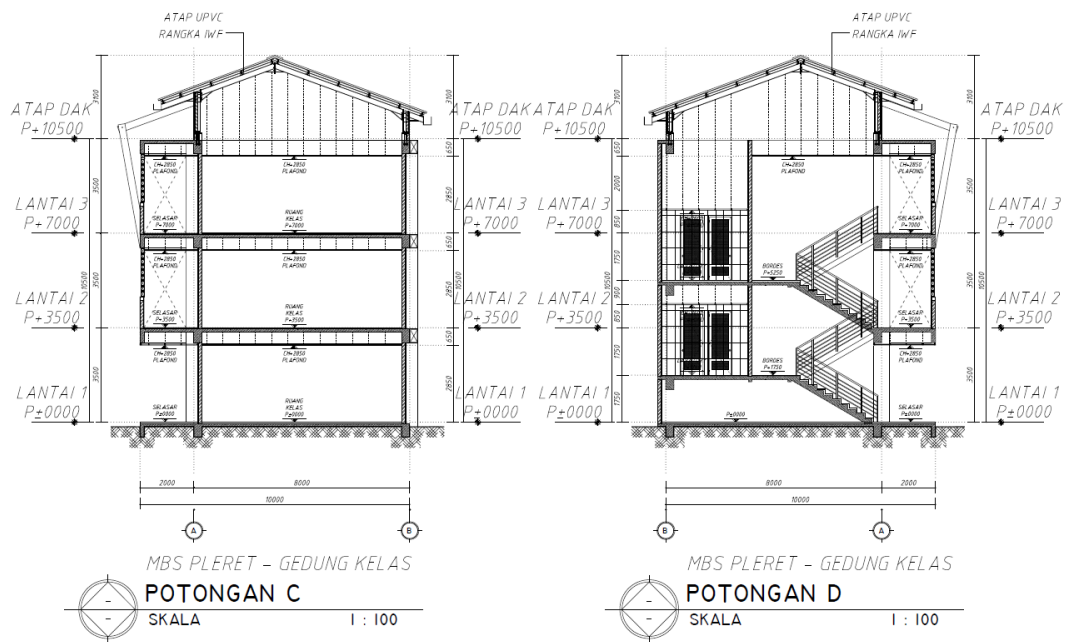
**Gambar 5. 1 Denah Struktur Kolom Balok**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)



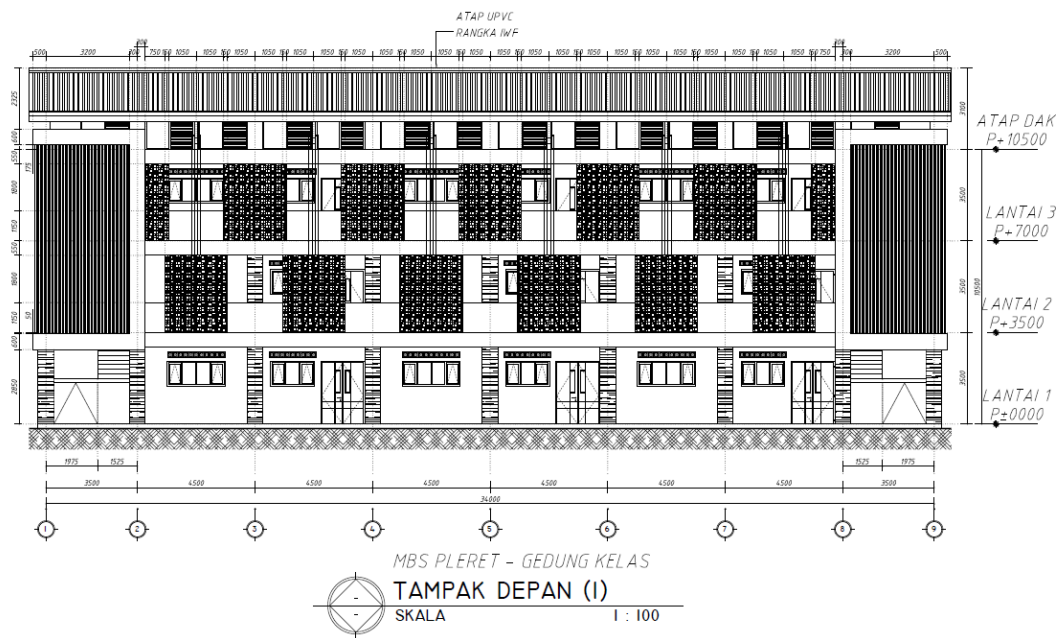
**Gambar 5. 2 Denah Pelat Lantai**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)



**Gambar 5. 3 Denah Pelat Atas**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)



**Gambar 5. 4 Potongan Tampak Samping**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)



**Gambar 5. 5 Potongan Tampak Depan**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)

### 5.3 Beban Gravitasi

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam, menganalisis serta perencanaan bangunan, yaitu beban mati dan beban hidup yang ada di bangunan. Serta harus dipastikan beban beban tersebut sesuai dan terdistribusi merata pada struktur bangunan.

#### 5.3.1 Beban Mati

Beban mati merupakan beban yang didapatkan dari berat struktur itu sendiri, yang meliputi berat balok, kolom, pelat dan beban tambahan (*Addition Dead Load*) yang bersifat menetap seperti beban tambahan spesi, batu bata, plafon dan lain lain. Merujuk pada SNI 1727 – 2020 dan PBI 1971 untuk, satuan berat mati sebagai berikut ini

##### 1. Pelat

Terdapat beberapa beban mati tambahan pelat pada struktur bangunan ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5. 5 Pembebanan Pelat Lantai**

Pembebanan Plat Lantai					
No	Material	Berat Volume		Tebal (m)	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Pasir	1800	kg/m <sup>3</sup>	0.04	0.706
2	Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	0.03	0.006
3	Keramik/Tegel	17.5	kg/m <sup>2</sup>		0.172
4	Plafon	24	kg/m <sup>2</sup>		0.235
5	Penggantung Plafon	7	kg/m <sup>2</sup>		0.069
7	ME	15	kg/m <sup>2</sup>		0.147
Jumlah Beban Mati Tambahan (ADL)					1.335

**Tabel 5. 6 Pembebanan Pelat Atap**

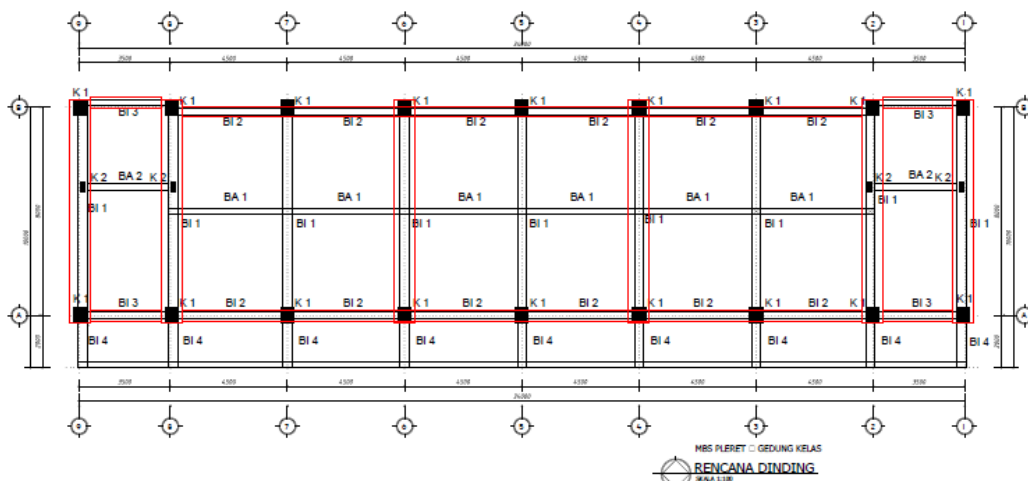
Pembebanan Plat Atap					
No	Material	Berat Volume		Tebal (m)	Q (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Pasir	1800	kg/m <sup>3</sup>	0.04	0.706
2	Spesi	21	kg/m <sup>2</sup>	0.03	0.006
3	Keramik/Tegel	17.5	kg/m <sup>2</sup>		0.172
4	Plafon	24	kg/m <sup>2</sup>		0.235
5	Penggantung Plafon	7	kg/m <sup>2</sup>		0.069
6	ME	15	kg/m <sup>2</sup>		0.147
7	Waterprofing	26.504	kg/m <sup>2</sup>	0.025	0.007
Jumlah Beban Mati Tambahan (ADL)					1.342

## 2. Balok

Terdapat beberapa beban mati tambahan balok pada struktur bangunan ini yang dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5. 7 Pembebanan Balok**

Kode Balok	H Tingkat	H Balok	H Dinding	Berat Volum Dinding	Beban Dinding
	(m)	(m)	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m)
BI 1	3.5	0.6	2.9	2.4525	5.690
BI 2	3.5	0.4	3.1	2.4525	6.0822
BI 3	3.5	0.4	3.1	2.4525	6.0822
BA 2	3.5	0.4	3.1	2.4525	6.0822
Berat Batu Bata Pasangan 1/2		250		(Kg/m <sup>2</sup> )	



**Gambar 5. 6 Denah Dinding**  
(Sumber: Data Proyek MBS Pleret, 2022)

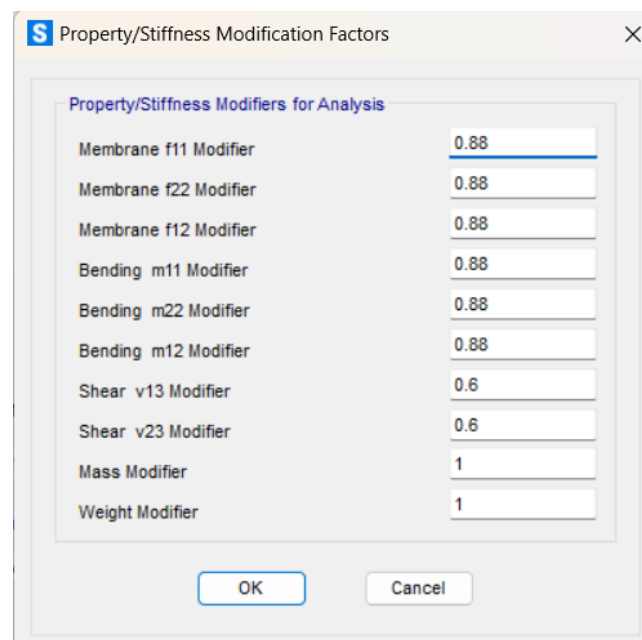
### 5.3.2 Beban Hidup

Mengacu pada SNI 1727 – 2020 fungsi bangunan sekolah terutama ruang kelas diasumsikan sama yaitu  $3,83 \text{ kN/m}^2$  untuk pelat, kemudian untuk pelat atap sebesar  $0,96 \text{ kN/m}^2$  yang bekerja pada struktur bangunan tersebut.

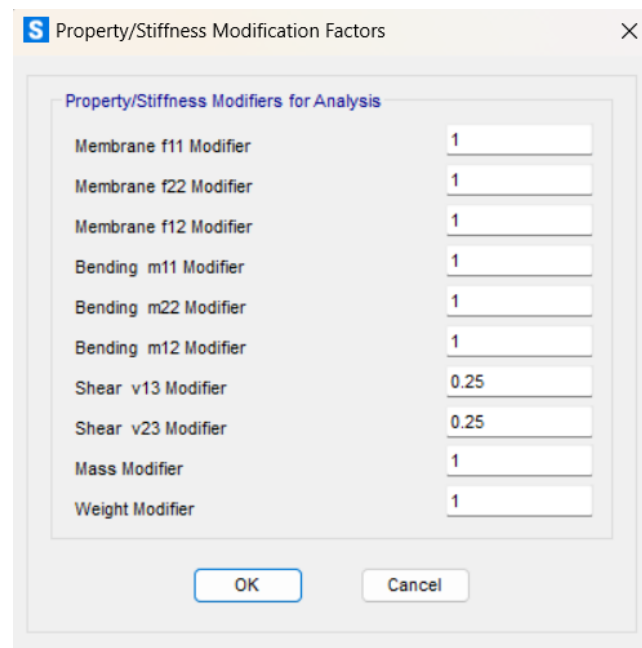
### 5.4 Permodelan

*Software* aplikasi yang digunakan untuk analisis dan desain struktur adalah SAP 2000. Penggunaan aplikasi ini untuk mempermudah tahapan analisis dan desain serta beberapa *output* yang dibutuhkan. Permodelan dari element struktur sama yang sudah dijelaskan pada bab 5.2 data bangunan. Kemudian hal yang

membedakan dari permodelan bangunan dengan pelat *bubble deck* dan konvensional pada lampiran 3 dan 4 input mutu beton pelat bubble deck pada SAP 2000 yaitu, input *weight per unit volume* 13.2115 kNm. Sedangkan untuk pelat konvensional 23.536 kNm. Modifikasi untuk *stiffness modification factors* bisa dilihat pada gambar di bawah ini. Dengan bantuan SAP 2000, peneliti dapat dengan lebih mudah dan cepat mengamati bagaimana suatu perilaku struktur.



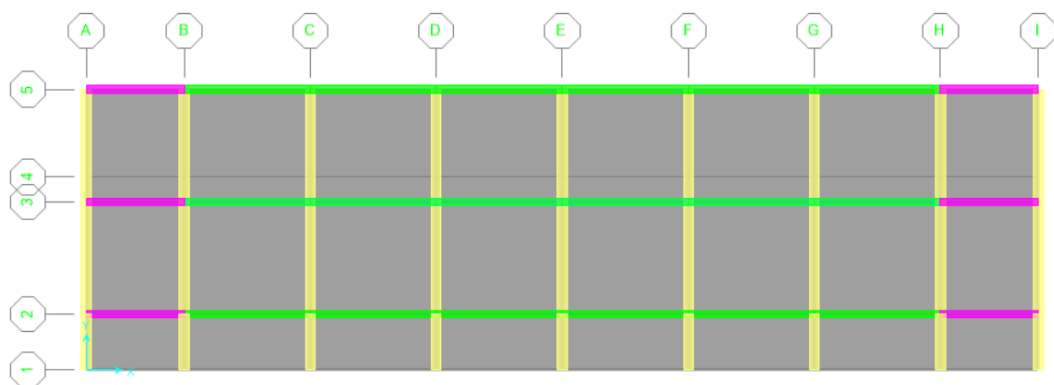
**Gambar 5. 7 Input Stiffness Modification Factors Bangunan dengan Pelat Bubble Deck**



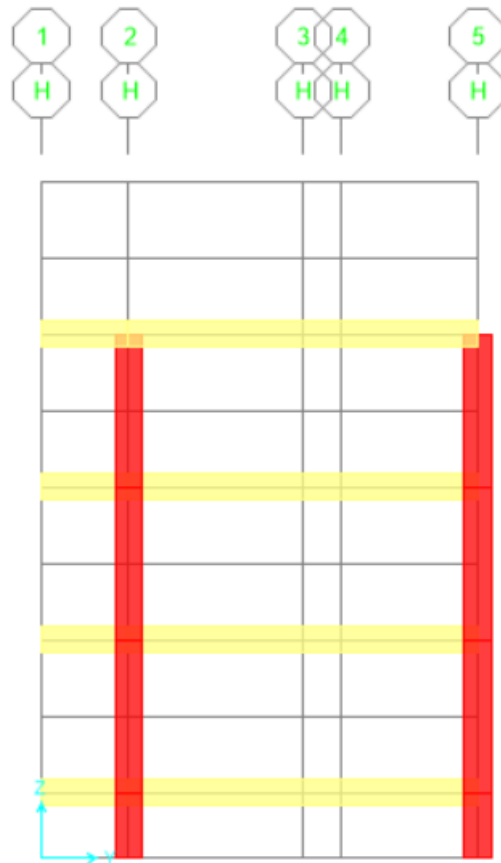
**Gambar 5. 8 Input Stiffness Modification Factors Bangunan dengan Pelat Konvensional**

#### 5.4.1 Model 3D Bangunan

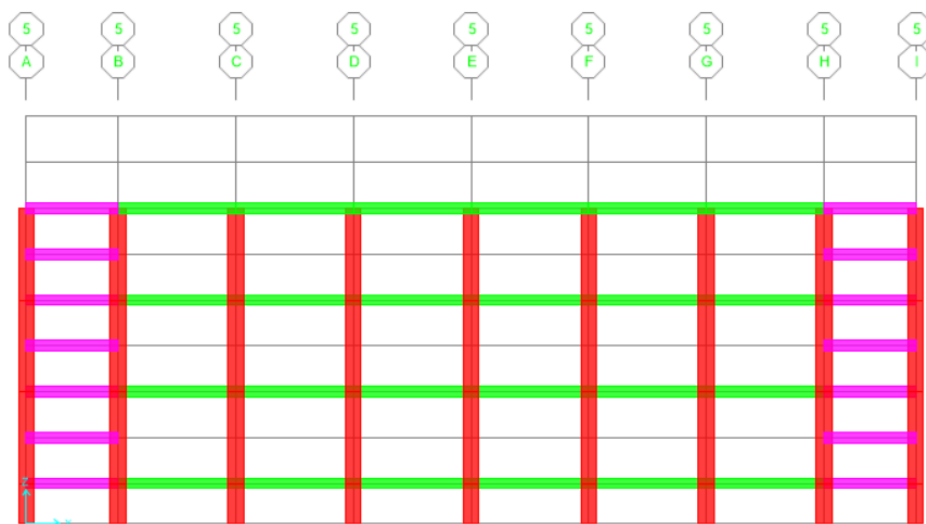
Permodelan software SAP 2000 pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.10.



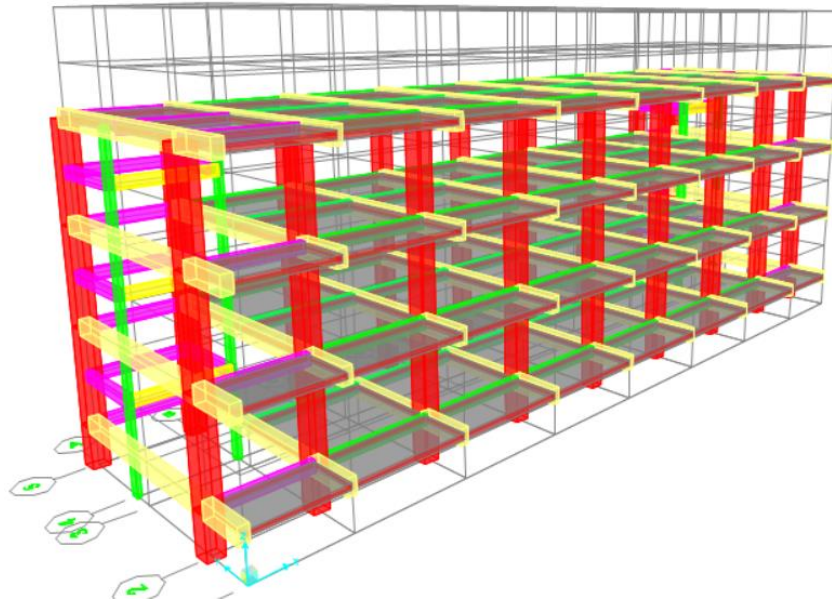
**Gambar 5. 9 Permodelan SAP 2000 Tampak Atas**



**Gambar 5. 10 Permodelan SAP 2000 Tampak Samping**



**Gambar 5. 11 Permodelan SAP 2000 Tampak Depan**



**Gambar 5. 12 Permodelan 3D SAP 2000**

## **5.5 Pembebanan Gempa**

Adapun beberapa parameter seismik yang mengacu pada SNI 1726 – 2019 dan RSA CIPTAKARYA, dalam menentukan identifikasi beban gempa pada struktur bangunan dapat dilihat di bawah ini.

### **5.5.1 Parameter Seismik Pelat *Bubble Deck***

#### **1. Parameter seismik SNI 1726 – 2019 dan RSA CIPTAKARYA.**

##### **a. Parameter Percepatan Gempa**

Pada bangunan sekolah dengan lintang  $-7.888779$ , bujur  $110.403497$  di Pleret, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jenis tanah tempat pembangunan diasumsikan tanah keras (SC) dikarenakan lokasi bangunan berdiri diatas perbukitan batuan gamping. Bangunan direncanakan dengan tingkat daktilitas penuh. Nilai ( $S_s$ ) dapat didapatkan sebesar  $1,4716$  dengan, parameter percepatan  $0,2$  detik. Sedangkan nilai parameter percepatan periode  $1$  detik ( $S_1$ ) sebesar  $0,5945$  g.

Kelas	T0(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
SC - Tanah Keras, Batuan Lunak	0.09	0.47	1.18	0.56
Rentang T(s) Value: 6				
PGA MCEr 0.5921 (g) bedrock				
SS MCEr 1.4716 (g) bedrock				
S1 MCEr 0.5945 (g) bedrock				
TL 6 Detik				

**Gambar 5. 13 Parameter Percepatan Gempa**  
(Sumber: RSA CIPTAKARYA)

- b. Koefisien Situs Dan Parameter Percepatan Respon Spektral Percepatan Gempa (MCEr) Terpetakan.

Setelah nilai Ss dan S1 ditentukan, langkah berikutnya adalah mencari faktor amplifikasi getaran untuk periode pendek (Fa) dan periode 1 detik (Fv) untuk kelas situs SC. Nilai-nilai ini diperoleh berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 dari SNI 1726 – 2019. Setelah dilakukan interpolasi linier, didapatkan nilai Fa sebesar 1,2 dan Fv sebesar 1,5.

- c. Menentukan SMs dan SM1

Dalam menentukan Nilai SMs dan SM1 dapat dilihat pada SNI 1726 – 2019 dalam pasal 6.2. dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

Percepatan periode pendek (SMs)

$$\begin{aligned} \text{SMs} &= F_a \times S_s \\ &= 1,2 \times 1,4716 \\ &= 1,766 \end{aligned}$$

Menentukan nilai SM1

$$\begin{aligned} \text{SM1} &= F_v \times S_1 \\ &= 1,5 \times 0,5945 \\ &= 0,892 \end{aligned}$$

- d. Menentukan SDs dan SD1

Dalam menentukan Nilai SDs dan SD1 dengan mengalikan SMs dan SM1 dapat dilihat pada SNI 1726 – 2019. Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{SDs} = \frac{2}{3} \times \text{SMs}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{3} \times 1,766 \\
 &= 1,177 \\
 \text{SD1} &= \frac{2}{3} \times \text{SM1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,892 \\
 &= 0,595
 \end{aligned}$$

e. Menentukan  $T_o$ ,  $T_s$  dan  $T_L$

Dalam menentukan Nilai  $T_o$ ,  $T_s$  dan  $T_L$ . Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_o &= 0,2 \times \frac{SD1}{SDs} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,505}{1,177} \\
 &= 0,101 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SD1}{SDs} \\
 &= \frac{0,505}{1,177} \\
 &= 0,505 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$T_L$  didapatkan dari RSA CIPTA KARYA yaitu sebesar 6 detik

f. Menentukan  $T_a$ ,  $T_c$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{pakai}$

Dalam menentukan Nilai  $T_a$ ,  $T_c$  (periode komputer SAP 2000),  $T_{max}$ ,  $T_{pakai}$ . Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 T_a &= C_t \times H_n^x \\
 &= 0,0466 \times 10,5^{0,9} \\
 &= 0,440 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$T_c = 0,589 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned}
 T_{max} &= C_u \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,440 \\
 &= 0,617 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{pakai} &= T_a \leq T_c \leq T_{max} \\
 &= 0,587 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan gaya gempa

Setelah mendapatkan data-data di atas, maka dapat menghitung beban gempa dari portal-portal dalam suatu bangunan melalui perhitungan-perhitungan berikut.

### a. Menentukan nilai R dan Ie

Berdasarkan SNI 1726 – 2019 pada tabel 12 untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus didapatkan koefisien modifikasi respons  $R^a$  yaitu 8. Kemudian untuk Ie mengacu pada SNI 1726 – 2019 pada tabel 4 untuk kategori resiko IV didapatkan faktor keutamaan gempa,  $I_e$  sebesar 1,50 karena jenis pemanfaatan bangunan untuk gedung sekolah.

### b. Menghitung $C_{s1}$ , $C_{Smax}$ , $C_{Smin}$ dan $C_{Spakai}$

Menurut SNI 1726 – 2019, nilai  $C_s$  yang digunakan harus berada dalam batas-batas yang ditentukan, yaitu tidak boleh melebihi  $C_{smax}$  dan tidak boleh kurang dari  $C_{smin}$ . Nilai  $C_s$  ini diperoleh melalui penggunaan persamaan yang telah ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_{s1} &= \frac{SD_s}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{1,177}{\frac{8}{1,5}} \\ &= 0,22074 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smax} &= \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,595}{0,587 \times \frac{8}{1,5}} \\ &= 0,190 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smin} &= 0,044SD_s \times I_e \\ &= 0,044 \times 1,177 \times 1,5 \\ &= 0,078 \end{aligned}$$

$$C_{Spakai} = 0,190$$

## 5.5.2 Parameter Seismik Pelat Konvensional

### 1. Parameter seismik SNI 1726 – 2019 dan RSA CIPTAKARYA.

#### a. Parameter Percepatan Gempa

Pada bangunan sekolah dengan lintang  $-7.888779$ , bujur  $110.403497$  di Pleret, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Jenis tanah tempat pembangunan diasumsikan tanah keras (SC). Bangunan direncanakan dengan tingkat daktilitas penuh. Nilai (Ss) dapat didapatkan sebesar 1,4716 dengan, parameter percepatan 0,2 detik. Sedangkan nilai parameter percepatan periode 1 detik (S1) sebesar 0,5945 g.

Kelas	SC - Tanah Keras, Batuan Lunai	T0(detik)	Ts(detik)	Sd5(g)	Sd1(g)
Rentang T(s)	Value: 6	0.09	0.47	1.18	0.56
PGA MCEG	0.5921 (g) bedrock				
SS MCEr	1.4716 (g) bedrock				
S1 MCEr	0.5945 (g) bedrock				
TL	6 Detik				

**Gambar 5. 14 Parameter Percepatan Gempa**  
(Sumber: RSA CIPTAKARYA)

- b. Koefisien Situs Dan Parameter Percepatan Respon Spektral Percepatan Gempa (MCEr) Terpetakan.

Setelah nilai Ss dan S1 ditentukan, langkah berikutnya adalah mencari faktor amplifikasi getaran untuk periode pendek (Fa) dan periode 1 detik (Fv) untuk kelas situs SC. Nilai-nilai ini diperoleh berdasarkan Tabel 6 dan Tabel 7 dari SNI 1726 – 2019. Setelah dilakukan interpolasi linier, didapatkan nilai Fa sebesar 1,2 dan Fv sebesar 1,5.

- c. Menentukan SMs dan SM1

Dalam menentukan Nilai SMs dan SM1 dapat dilihat pada SNI 1726 – 2019 dalam pasal 6.2. dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 SMs &= Fa \times Ss \\
 &= 1,2 \times 1,4716 \\
 &= 1,766 \\
 SM1 &= Fv \times S1 \\
 &= 1,5 \times 0,5945 \\
 &= 0,892
 \end{aligned}$$

d. Menentukan SDs dan SD1

Dalam menentukan Nilai SDs dan SD1 dengan mengalikan SMs dan SM1 dapat dilihat pada SNI 1726 – 2019. Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{SDs} &= \frac{2}{3} \times \text{SMs} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,766 \\ &= 1,177 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SD1} &= \frac{2}{3} \times \text{SM1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,892 \\ &= 0,595 \end{aligned}$$

e. Menentukan To, Ts dan TL

Dalam menentukan Nilai To, Ts dan TL. Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{To} &= 0,2 \times \frac{\text{SD1}}{\text{SDs}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,505}{1,177} \\ &= 0,101 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ts} &= \frac{\text{SD1}}{\text{SDs}} \\ &= \frac{0,505}{1,177} \\ &= 0,505 \text{ detik} \end{aligned}$$

TL didapatkan dari RSA CIPTA KARYA yaitu sebesar 6 detik

f. Menentukan Ta, Tc, Tmax, Tpakai

Dalam menentukan Nilai Ta, Tc (periode komputer SAP 2000), Tmax, Tpakai. Dengan perhitungan yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Ta} &= \text{Ct} \times \text{Hn}^x \\ &= 0,0466 \times 10,5^{0,9} \\ &= 0,440 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Tc} = 0,6401 \text{ detik}$$

$$\text{Tmax} = \text{Cu} \times \text{Ta}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,4 \times 0,440 \\
 &= 0,617 \text{ detik} \\
 T_{\text{pakai}} &= T_c > T_{\text{max}}, T_{\text{pakai}} = T_{\text{max}} \\
 &= 0,617 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan gaya gempa

Setelah mendapatkan data-data di atas, maka dapat menghitung beban gempa dari portal-portal dalam suatu bangunan melalui perhitungan-perhitungan berikut.

### a. Menentukan nilai R dan I<sub>e</sub>

Berdasarkan SNI 1726 – 2019 pada tabel 12 untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus didapatkan koefesien modifikasi respons  $R^a$  yaitu 8. Kemudian untuk I<sub>e</sub> mengacu pada SNI 1726 – 2019 pada tabel 4 untuk kategori resiko IV didapatkan faktor keutamaan gempa, I<sub>e</sub> sebesar 1,50 karena jenis pemanfaatan bangunan untuk gedung sekolah.

### b. Menghitung C<sub>s1</sub>, C<sub>smax</sub>, C<sub>smin</sub> dan C<sub>s pakai</sub>

Menurut SNI 1726 – 2019, nilai C<sub>s</sub> yang digunakan harus berada dalam batas-batas yang ditentukan, yaitu tidak boleh melebihi C<sub>smax</sub> dan tidak boleh kurang dari C<sub>smin</sub>. Nilai C<sub>s</sub> ini diperoleh melalui penggunaan persamaan yang telah ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_{s1} &= \frac{SD_s}{I_e} \\
 &= \frac{1,177}{1,5} \\
 &= 0,22074
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{s\text{max}} &= \frac{SD1}{T \times \frac{R}{I_e}} \\
 &= \frac{0,595}{0,617 \times \frac{8}{1,5}} \\
 &= 0,181
 \end{aligned}$$

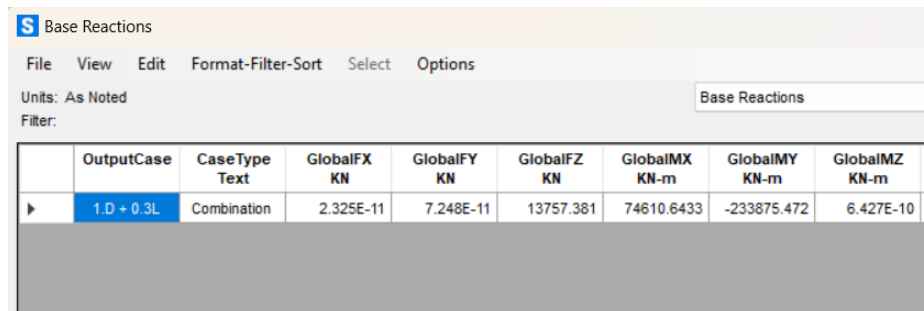
$$\begin{aligned}
 C_{s\text{min}} &= 0,044SD_s \times I_e \\
 &= 0,044 \times 1,177 \times 1,5 \\
 &= 0,078
 \end{aligned}$$

$$C_{\text{Spakai}} = 0,181$$

### 3. Perhitungan Berat Bangunan Total

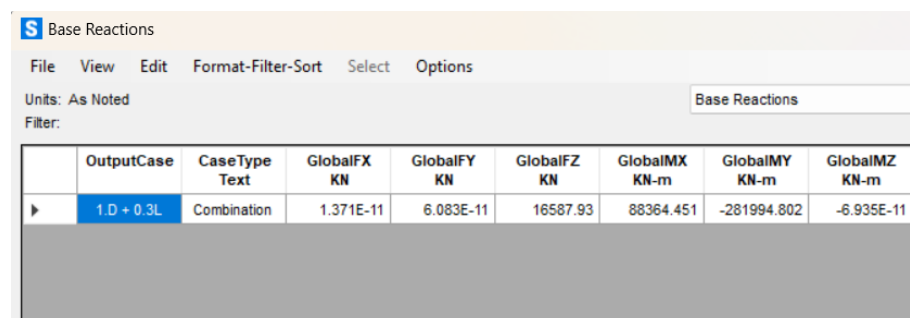
Berat bangunan adalah total dari berat struktur, termasuk berat pelat lantai, balok, kolom, serta beban tambahan yang bekerja pada struktur tersebut. Dalam penelitian ini, berat bangunan yang diperoleh dari output aplikasi SAP 2000 sebesar 13757,381 kN, untuk bangunan yang menggunakan pelat beton bertulang dengan *Bubble Deck*. Sedangkan untuk bangunan dengan pelat beton konvensional sebesar 16587,93 kN. Untuk dimensi elemen struktur yang sudah dijelaskan pada bab 5.2 serta dipengaruhi masa jenis beton bertulang pelat *bubble deck* 1347,2 kg/m<sup>3</sup> dan masa jenis beton bertulang pelat konvensional 2400 kg/m<sup>3</sup>, dengan rincian berat tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.13.

#### a. Berat total bangunan



	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	1.D + 0.3L	Combination	2.325E-11	7.248E-11	13757.381	74610.6433	-233875.472	6.427E-10

**Gambar 5. 15 Berat Bangunan Pelat Beton Bertulang *Bubble Deck* dengan SAP 2000**



	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	1.D + 0.3L	Combination	1.371E-11	6.083E-11	16587.93	88364.451	-281994.802	-6.935E-11

**Gambar 5. 16 Berat Bangunan Pelat Beton Bertulang Konvensional dengan SAP 2000**

Berat Bangunan Total dengan Pelat Beton Bertulang *Bubble Deck*

$$W = 13757,381 \text{ kN}$$

$$V (\text{Ex}) = C_{\text{Spakai}} \times \text{Berat bangunan total}$$

$$= 0,190 \times 13757,381$$

$$= 2612,066 \text{ kN}$$

Berat Bangunan Total dengan Pelat Beton Bertulang Konvensional

$$W = 16587,93 \text{ kN}$$

$$V = C_{s\text{pakai}} \times \text{Berat bangunan total}$$

$$= 0,181 \times 16587,93$$

$$= 2999,160 \text{ kN}$$

b. Berat setiap lantai bangunan pelat *Bubble Deck*

SectionCut Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GI
LT 1	1.D + 0.3L	Combination	2.32E-11	7.063E-11	13757.381	-10122.3152	1.905E-10	-4.443E-10	17	6.15909	
LT 1 NEW	1.D + 0.3L	Combination	2.32E-11	7.063E-11	13757.381	-10122.3152	1.905E-10	-4.443E-10	17	6.15909	
LT 2	1.D + 0.3L	Combination	2.273E-11	6.624E-11	10596.575	-7304.3431	1.708E-10	-4.382E-10	17	6.15909	
LT 2 NEW	1.D + 0.3L	Combination	2.273E-11	6.624E-11	10596.575	-7304.3431	1.708E-10	-4.382E-10	17	6.15909	
LT 3	1.D + 0.3L	Combination	1.912E-11	5.646E-11	6847.275	-8784.3522	9.306E-11	-3.242E-10	17	6.75	
LT 3 NEW	1.D + 0.3L	Combination	1.912E-11	5.646E-11	6847.275	-4738.2354	9.686E-11	-3.355E-10	17	6.15909	
LT 4	1.D + 0.3L	Combination	1.091E-11	6.468	2701.876	-2030.3709	9.021E-12	-5.129E-11	17	6	
LT 4 NEW	1.D + 0.3L	Combination	1.122E-11	3.631E-11	3097.974	-2172.1277	2.979E-11	-9.984E-11	17	6.15909	
LT 5 NEW	1.D + 0.3L	Combination	0	0	0	0	0	0	17	6	

**Gambar 5. 17 Berat Setiap Lantai Pelat Beton Bertulang *Bubble Deck* dengan SAP 2000**

Berat bangunan setiap lantai dengan pelat beton bertulang *bubble deck*

$$\begin{aligned} W \text{ tingkat lantai 1} &= F3 \text{ lantai1} - F3 \text{ lantai2} \\ &= 13757,381 \text{ kN} - 10596,575 \text{ kN} \\ &= 3160,806 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tingkat lantai 2} &= F3 \text{ lantai2} - F3 \text{ lantai3} \\ &= 10596,575 \text{ kN} - 6847,275 \text{ kN} \\ &= 3749,300 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tingkat lantai 3} &= F3 \text{ lantai3} - F3 \text{ lantai atap} \\ &= 6847,275 \text{ kN} - 3097,974 \text{ kN} \\ &= 3749,301 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \text{ tingkat lantai atap} &= F3 \text{ lantai atap} \\ &= 3097,974 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Berat setiap lantai bangunan pelat konvensional

Section/Cut Text	Output/Case	Case/Type Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	GlobalX m	GlobalY m	GR
LT 1	1.D + 0.3L	Combination	1.371E-11	6.083E-11	16587.93	-13802.115	1.424E-10	-1.02E-09	17	6.15909	
LT 1 NEW	1.D + 0.3L	Combination	1.371E-11	6.083E-11	16587.93	-13802.115	1.424E-10	-1.02E-09	17	6.15909	
LT 2	1.D + 0.3L	Combination	1.344E-11	8.013E-11	12752.731	-10969.4819	1.221E-10	-1.02E-09	17	6.15909	
LT 2 NEW	1.D + 0.3L	Combination	1.344E-11	8.013E-11	12752.731	-10969.4819	1.221E-10	-1.02E-09	17	6.15909	
LT 3	1.D + 0.3L	Combination	1.138E-11	5.437E-11	8329.038	-11519.4177	5.854E-11	-9.538E-10	17	6.75	
LT 3 NEW	1.D + 0.3L	Combination	1.138E-11	5.437E-11	8329.038	-11519.4177	5.854E-11	-9.538E-10	17	6.15909	
LT 4	1.D + 0.3L	Combination	6.705E-12	4.367	3438.997	-2897.3497	-6.54E-11	-6.113E-10	17	6	
LT 4 NEW	1.D + 0.3L	Combination	6.934E-12	3.988E-11	3905.346	-3107.9444	4.188E-11	-6.094E-10	17	6.15909	
LT 5 NEW	1.D + 0.3L	Combination	0	0	0	0	0	0	17	6	

**Gambar 5. 18 Berat Setiap Lantai Pelat Beton Bertulang Konvensional dengan SAP 2000**

Berat bangunan setiap lantai dengan pelat beton bertulang konvensional

$$\begin{aligned}
 W \text{ tingkat lantai 1} &= F3 \text{ lantai1} - F3 \text{ lantai2} \\
 &= 16587,930 \text{ kN} - 12752,731 \text{ kN} \\
 &= 3835,199 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ tingkat lantai 2} &= F3 \text{ lantai2} - F3 \text{ lantai3} \\
 &= 12752,731 \text{ kN} - 8329,038 \text{ kN} \\
 &= 4423,693 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ tingkat lantai 3} &= F3 \text{ lantai3} - F3 \text{ lantai atap} \\
 &= 8329,038 \text{ kN} - 3905,346 \text{ kN} \\
 &= 4423,692 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ tingkat lantai atap} &= F3 \text{ lantai atap} \\
 &= 3905,346 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

#### 4. Pengecekan Gaya Gempa V Dinamik Ekuivalen

Dalam menghitung nilai Gaya Gempa Statik dan Dinamik, digunakan persamaan-persamaan dan koefisien yang telah ditentukan sebelumnya. Namun, diperlukan persamaan tambahan yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$V_{\text{dinamik}} > V_{\text{statik}}$$

Keterangan :

$V_{\text{dinamik}}$  = gaya geser hasil analisa SAP 2000

$V_{\text{statik}}$  = hasil kali antara berat bangunan dengan koefisien gempa

a. Berdasarkan SNI 1726 – 2019 dengan Pelat Beton Bertulang *Bubble Deck*

1) Menentukan Nilai V Statik Ekuivalen

$$\begin{aligned}
 V \text{ (Ex)} &= C_{\text{Spakai}} \times \text{Berat bangunan total} \\
 &= 0,190 \times 13757,381 \\
 &= 2612,066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V (Ey) &= C_{Spakai} \times \text{Berat bangunan total} \\
 &= 0,190 \times 13757,381 \\
 &= 2612,066 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) Menentukan Nilai V Dinamik Ekivalen

Nilai V Dinamik didapatkan dari SAP 2000 untuk arah V (Ex) sebesar 1886,052 kN dan untuk arah V (Ey) 1879,21 kN.

3) Pengecekan Syarat

Berdasarkan hasil analisis Vdinamik dan Vstatik pada bagian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa Vdinamik masih lebih kecil dibandingkan Vstatik, sehingga belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian ulang pada skala respon spektrum.

4) Skala Respon Spektrum

$$\text{Skala respon spektrum} = \frac{I_e}{R} \times 9,81$$

Dengan nilai  $I_e$  sebesar 1,5 dan R sebesar 8

$$\begin{aligned}
 \text{Skala respon spektrum} &= \frac{I_e}{R} \times 9,81 \\
 &= \frac{1,5}{8} \times 9,81 \\
 &= 1,839
 \end{aligned}$$

5) Skala Respon Spektrum Baru

$$\begin{aligned}
 Ex &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \times \text{skala respon spektrum} \\
 &= \frac{2612,68}{1886,052} \times 1,839 \\
 &= 2,5474
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ey &= \frac{V_{statik}}{V_{dinamik}} \times \text{skala respon spektrum} \\
 &= \frac{2612,066}{1879,21} \times 1,839 \\
 &= 2,5567
 \end{aligned}$$

6) Pengecekan Ulang Syarat

Setelah memperoleh skala respon spektrum yang baru, nilai tersebut dimasukkan ke dalam SAP2000. Kemudian, dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan bahwa syarat  $V_{dinamik} > V_{statik}$  telah terpenuhi.

Setelah analisis struktur ulang dilakukan dengan menggunakan software SAP2000, hasil  $V_{\text{dinamik}}$  didapatkan untuk arah V (Ex) sebesar 2612,68 kN dan untuk arah V (Ey) 2612,705 kN. Dapat dilihat gambar *output* SAP 2000 dibawah ini.

Units: As Noted Filter:				Base Reactions					
	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	EQx	LinRespSpec	Max	2612.68	7.604E-08	1.504E-08	9.809E-08	22439.3031	14073.7052
	EQy	LinRespSpec	Max	7.755E-08	2612.705	79.916	22435.267	1358.5686	44415.9819

**Gambar 5. 19 Output V Dinamik SAP 2000 Bangunan Dengan Pelat Bubble Deck**

Maka dengan  $V_{\text{statik}}$  sebesar 2612,705 kN, dapat disimpulkan bahwa  $V_{\text{dinamik}}$  telah memenuhi persyaratan barik gempa arah x maupun arah y.

b. Berdasarkan SNI 1726 – 2019 dengan Pelat Beton Bertulang Konvensional

1) Menentukan Nilai V Statik Ekuivalen

$$\begin{aligned} V(\text{Ex}) &= C_{\text{Spakai}} \times \text{Berat bangunan total} \\ &= 0,181 \times 16587,93 \\ &= 2999,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V(\text{Ey}) &= C_{\text{Spakai}} \times \text{Berat bangunan total} \\ &= 0,181 \times 16587,93 \\ &= 2999,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Menentukan Nilai V Dinamik Ekuivalen

Nilai V Dinamik didapatkan dari SAP 2000 untuk arah V (Ex) sebesar 2104,481 kN dan untuk arah V (Ey) 2093,453 kN.

3) Pengecekan Syarat

Berdasarkan hasil analisis  $V_{\text{dinamik}}$  dan  $V_{\text{statik}}$  pada bagian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa  $V_{\text{dinamik}}$  masih lebih kecil dibandingkan  $V_{\text{statik}}$ , sehingga belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian ulang pada skala respon spektrum.

## 4) Skala Respon Spektrum

$$\text{Skala respon spektrum} = \frac{I_e}{R} \times 9,81$$

Dengan nilai  $I_e$  sebesar 1,5 dan  $R$  sebesar 8

$$\begin{aligned} \text{Skala respon spektrum} &= \frac{I_e}{R} \times 9,81 \\ &= \frac{1,5}{8} \times 9,81 \\ &= 1,839 \end{aligned}$$

## 5) Skala Respon Spektrum Baru

$$\begin{aligned} E_x &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \times \text{skala respon spektrum} \\ &= \frac{2999,160}{2104,481} \times 1,839 \\ &= 2,6213 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_y &= \frac{V_{\text{statik}}}{V_{\text{dinamik}}} \times \text{skala respon spektrum} \\ &= \frac{2999,160}{2093,453} \times 1,839 \\ &= 2,6352 \end{aligned}$$

## 6) Pengecekan Ulang Syarat

Setelah memperoleh skala respon spektrum yang baru, nilai tersebut dimasukkan ke dalam SAP2000. Kemudian, dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan bahwa syarat  $V_{\text{dinamik}} > V_{\text{statik}}$  telah terpenuhi. Setelah analisis struktur ulang dilakukan dengan menggunakan software SAP2000, hasil  $V_{\text{dinamik}}$  didapatkan untuk arah  $V$  ( $E_x$ ) sebesar 2999,218 kN dan untuk arah  $V$  ( $E_y$ ) 2999,321 kN. Dapat dilihat gambar *output* SAP 2000 dibawah ini.

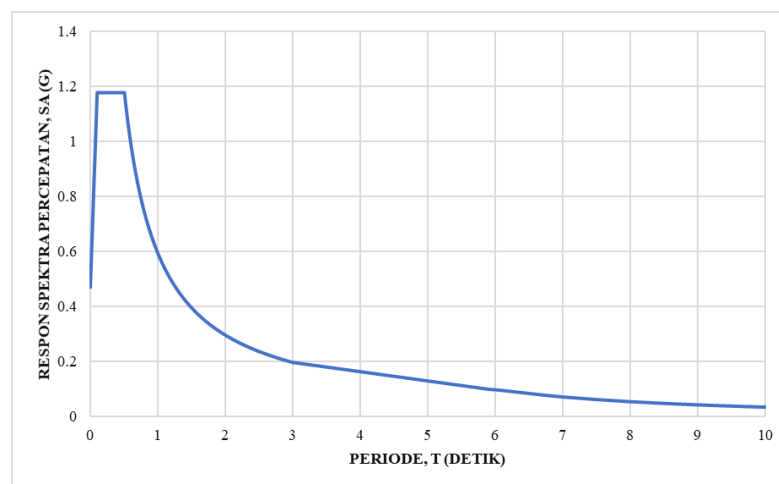
Units: As Noted				Base Reactions					
Filter:				GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ
	OutputCase	CaseType	StepType	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
▶	EQx	LinRespSpec	Max	2999.218	1.267E-08	3.763E-09	2.091E-08	25932.1993	15495.4099
	EQy	LinRespSpec	Max	1.301E-08	2999.321	103.125	25955.0923	1753.1192	50988.4512

**Gambar 5. 20 Output V Dinamik SAP 2000 Bangunan Dengan Pelat Konvensional**

Maka dengan  $V_{\text{statik}}$  sebesar 2999,321 kN, dapat disimpulkan bahwa  $V_{\text{dinamik}}$  telah memenuhi persyaratan tarik gempa arah x maupun arah y.

### c. Respon Spektrum

Setelah memperoleh nilai parameter-parameter seismik dari perhitungan sebelumnya, untuk menentukan dan membuat grafik respon spektrum diperlukan nilai  $T_0$ ,  $T_s$ , dan  $S_a$ , yang sudah didapatkan dari perhitungan sebelumnya. Berikut grafik respon spektrum pelat *Bubble Deck* dan konvensional yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5. 21 Grafik Respon Spektrum**

## 5.6 Kontrol Struktur

Adapun beberapa kontrol struktur bangunan agar memenuhi syarat yang mengacu, pada SNI 1726 – 2019, yang dimana ada beberapa pengaruh perbedaan parameter yang dihasilkan dari aplikasi SAP 2000 mengacu pada sub bab 5.5.1 parameter seismik pelat bubble deck dan sub bab 5.5.2. Parameter seismik pelat bubble deck  $T_{pakai}$  sebesar 0,587 detik,  $C_{spakai} = 0,190$  parameter seismik  $T_{pakai}$  sebesar 0,617 detik,  $C_{spakai} = 0,181$  serta masa jenis beton bertulang dari dari bangunan dengan pelat bubble deck sebesar  $1347,2 \text{ kg/m}^3$ . Bangunan dengan pelat konvensional sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Berikut untuk beberapa pengecekan kontrol struktur.

### 5.6.1 Pengecekan Simpangan Antar lantai bangunan dengan pelat *Bubble Deck*

Simpangan antar lantai adalah perbedaan defleksi in-elastis antara satu tingkat struktur dengan tingkat di bawahnya. Penggunaan defleksi in-elastis dalam pengecekan simpangan ini penting karena pada struktur bangunan yang tahan gempa dengan pendekatan "*Capacity Design*," struktur dirancang untuk mampu menyerap beban gempa. Dalam hal terjadi gempa besar, struktur diizinkan mengalami kerusakan hingga defleksi in-elastis, tetapi tetap stabil dan tidak roboh. Untuk menghitung simpangan antar lantai, dapat digunakan rumus-rumus berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d \times U_x}{I_e}$$

$$\Delta = \delta_{x(n)} - \delta_{x(n-1)}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{0,020 \times h_{sx}}{p}$$

Keterangan :

$\delta_x$  = Defleksi in-elastis struktur (mm)

$C_d$  = Faktor amplifikasi defleksi (5,5)

$U_x$  = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan Gempa

$\Delta$  = Simpangan anatar lantai (mm)

$\delta_{x(n)}$  = Defleksi in-elastis struktur pada lantai yang ditinjau (mm)

$\delta_{x(n-1)}$  = Defleksi in-elastis struktur pada lantai di bawah yang ditinjau (mm)

$\Delta_{\max}$  = Simpangan antar lantai ijin (mm)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah bidang yang ditinjau (mm)

$p$  = Faktor redudansi (1,3)

Selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengecek simpangan antar lantai. Pengecekan simpangan antar lantai dilakukan pada gempa arah x dan gempa arah y.

#### 1. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah x Pada Pelat *Bubble Deck*

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah x dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada Tabel 5.8.

**Tabel 5. 8 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat Bubble Deck**

Lantai	Cd	Ie	hsx	U1
			(mm)	(mm)
Pondasi				0
1	5.5	1.5	3500	1.583
2	5.5	1.5	3500	12.287
3	5.5	1.5	3500	23.043
Atap	5.5	1.5	3500	29.548

Berikut contoh perhitungan cek simpangan antar lantai arah x pada lantai 1 sebagai berikut.

Menghitung  $\delta_x$

$$Cd = 5,5$$

$$U1 = 1,583 \text{ mm}$$

$$Ie = 1,5$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{Cd \times Ux}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 1,583}{1,5} \\ &= 5,804 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta$

$$\delta_{x(0)} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{x(1)} = 5,804 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \delta_{x(0)} - \delta_{x(1)} \\ &= 5,804 - 0 \\ &= 5,804 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta_{\max}$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$p = 1,3$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= \frac{0,020 \times h_{sx}}{p} \\ &= \frac{0,020 \times 3500}{1,3} \\ &= 53,846 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek  $\Delta < \Delta_{\max}$

$$\Delta < \Delta_{\max}$$

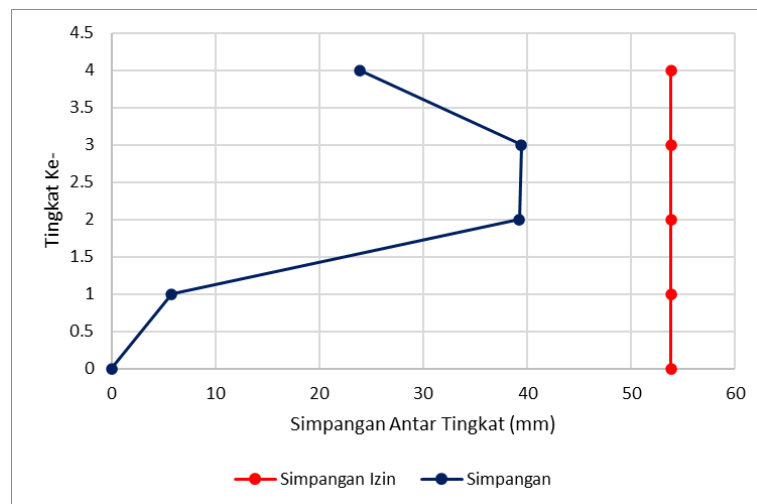
$$5,804 \text{ mm} < 53,846 \text{ mm (OK)}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengecekan simpang antar lantai arah x bangunan dengan pelat *Bubble Deck* pada Tabel 5.9.

**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	Cd	Ie	hsx	U1	$\delta x$	$\Delta x$	$\Delta_{\max}$	$\Delta < \Delta_{\max}$
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Pondasi				0	0	0	53.846	OK
1	5.5	1.5	3500	1.583	5.804	5.804	53.846	OK
2	5.5	1.5	3500	12.287	45.052	39.248	53.846	OK
3	5.5	1.5	3500	23.043	84.491	39.439	53.846	OK
Atap	5.5	1.5	3500	29.548	108.343	23.852	53.846	OK

Berikut merupakan grafik simpangan antar lantai arah x pada bangunan pelat *Bubble Deck*.



**Gambar 5. 22 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Dari hasil perhitungan pengecekan simpangan antar lantai di atas pada bangunan dengan pelat *bubble deck*, dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada struktur untuk arah x tidak melebihi batas simpangan antar lantai maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur dianggap aman terhadap gempa pada

arah x, karena deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat ditoleransi tanpa mengorbankan stabilitas bangunan.

2. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah y pada Pelat *Bubble Deck*

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah y dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5. 10 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	Cd	Ie	hsx	U2
			(mm)	(mm)
Pondasi				0
1	5.5	1.5	3500	1.621
2	5.5	1.5	3500	12.152
3	5.5	1.5	3500	22.823
Atap	5.5	1.5	3500	29.632

Berikut contoh perhitungan cek simpangan antar lantai arah y pada lantai 1 sebagai berikut.

Menghitung  $\delta_y$

$$Cd = 5,5$$

$$U2 = 1,621 \text{ mm}$$

$$Ie = 1,5$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{Cd \times Uy}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 1,621}{1,5} \\ &= 5,944 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta$

$$\delta_{y(0)} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{x(1)} = 5,944 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \delta_{x(0)} - \delta_{x(1)} \\ &= 5,944 - 0 \\ &= 5,944 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta_{\max}$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 p &= 1,3 \\
 \Delta_{\max} &= \frac{0,020 \times h_{sx}}{p} \\
 &= \frac{0,020 \times 3500}{1,3} \\
 &= 53,846 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek  $\Delta < \Delta_{\max}$

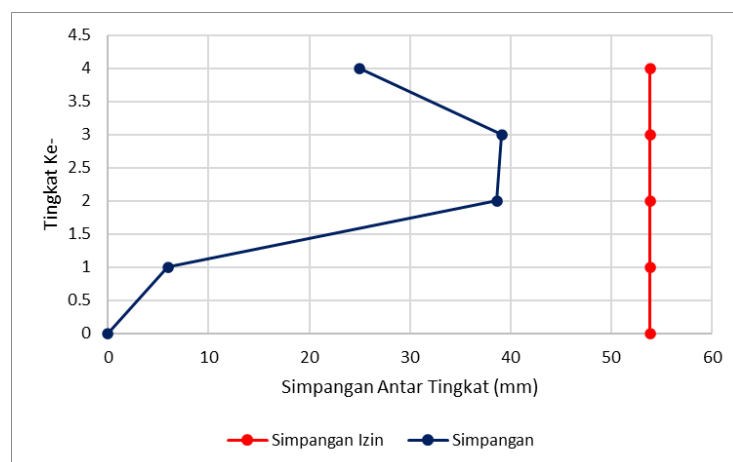
$$\begin{aligned}
 \Delta &< \Delta_{\max} \\
 5,944 \text{ mm} &< 53,846 \text{ mm (OK)}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengecekan simpang antar lantai arah x bangunan dengan pelat konvensional pada Tabel 5.11.

**Tabel 5. 11 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	Cd	Ie	hsx	U2	$\delta y$	$\Delta x$	$\Delta_{\max}$	$\Delta < \Delta_{\max}$
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Pondasi				0	0	0	53.846	OK
1	5.5	1.5	3500	1.621	5.944	5.944	53.846	OK
2	5.5	1.5	3500	12.152	44.557	38.614	53.846	OK
3	5.5	1.5	3500	22.823	83.684	39.127	53.846	OK
Atap	5.5	1.5	3500	29.632	108.651	24.966	53.846	OK

Berikut merupakan grafik simpangan antar lantai arah y pada bangunan pelat konvensional.



**Gambar 5. 23 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Dari hasil perhitungan pengecekan simpangan antar lantai di atas pada bangunan dengan pelat konvensional, dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada struktur untuk arah y tidak melebihi batas simpangan antar lantai maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur dianggap aman terhadap gempa pada arah y, karena deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat ditoleransi tanpa mengorbankan stabilitas bangunan.

### 5.6.2 Pengecekan Simpangan Antar lantai bangunan dengan Pelat Konvensional

Simpangan antar lantai adalah perbedaan defleksi in-elastis antara satu tingkat struktur dengan tingkat di bawahnya. Penggunaan defleksi in-elastis dalam pengecekan simpangan ini penting karena pada struktur bangunan yang tahan gempa dengan pendekatan "*Capacity Design*," struktur dirancang untuk mampu menyerap beban gempa. Dalam hal terjadi gempa besar, struktur diizinkan mengalami kerusakan hingga defleksi in-elastis, tetapi tetap stabil dan tidak roboh. Untuk menghitung simpangan antar lantai, dapat digunakan rumus-rumus berikut ini.

$$\delta_x = \frac{C_d \times U_x}{I_e}$$

$$\Delta = \delta_{x(n)} - \delta_{x(n-1)}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{0,020 \times h_{sx}}{p}$$

Keterangan :

$\delta_x$  = Defleksi in-elastis struktur (mm)

$C_d$  = Faktor amplifikasi defleksi (5,5)

$U_x$  = Defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis (mm)

$I_e$  = Faktor keutamaan Gempa

$\Delta$  = Simpangan anatar lantai (mm)

$\delta_{x(n)}$  = Defleksi in-elastis struktur pada lantai yang ditinjau (mm)

$\delta_{x(n-1)}$  = Defleksi in-elastis struktur pada lantai di bawah yang ditinjau (mm)

$\Delta_{\max}$  = Simpangan antar lantai ijin (mm)

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah bidang yang ditinjau (mm)

$p$  = Faktor redudansi (1,3)

Selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengecek simpangan antar lantai. Pengecekan simpangan antar lantai dilakukan pada gempa arah x dan gempa arah y.

1. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah x Pada Pelat *Bubble Deck*

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah x dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5. 12 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	Cd	Ie	hsx	U1
			(mm)	(mm)
Pondasi	0	0	0	0
1	5.5	1.5	3500	1.755
2	5.5	1.5	3500	13.662
3	5.5	1.5	3500	25.63
Atap	5.5	1.5	3500	32.94

Berikut contoh perhitungan cek simpangan antar lantai arah x pada lantai 1 sebagai berikut.

Menghitung  $\delta_x$

$$Cd = 5,5$$

$$U1 = 1,726 \text{ mm}$$

$$Ie = 1,5$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{Cd \times Ux}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 1,755}{1,5} \\ &= 6,435 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta$

$$\delta_{x(0)} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{x(1)} = 6,435 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \delta_{x(0)} - \delta_{x(1)} \\ &= 6,435 - 0 \\ &= 6,435 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta_{\max}$

$$\begin{aligned} h_{sx} &= 3500 \text{ mm} \\ p &= 1,3 \\ \Delta_{\max} &= \frac{0,020 \times h_{sx}}{p} \\ &= \frac{0,020 \times 3500}{1,3} \\ &= 53,846 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek  $\Delta < \Delta_{\max}$

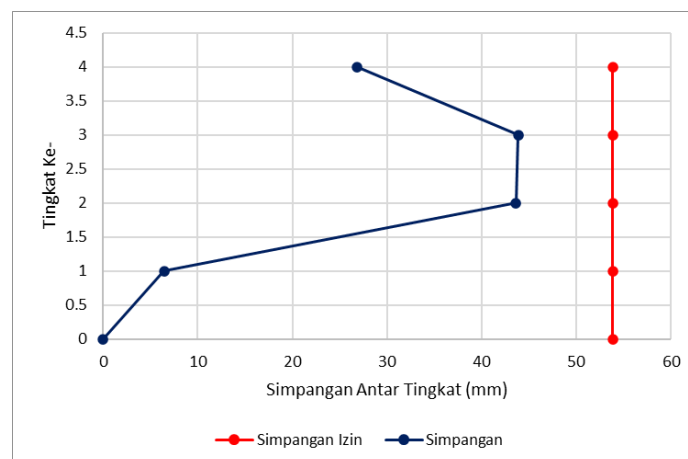
$$\begin{aligned} \Delta &< \Delta_{\max} \\ 6,435 \text{ mm} &< 53,846 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengecekan simpang antar lantai arah x bangunan dengan pelat *Bubble Deck* pada Tabel 5.13.

**Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	Cd	Ie	hsx	U1	$\delta x$	$\Delta x$	$\Delta_{\max}$	$\Delta < \Delta_{\max}$
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Pondasi	0	0	0	0	0	0	53.846	OK
1	5.5	1.5	3500	1.755	6.435	6.435	53.846	OK
2	5.5	1.5	3500	13.662	50.094	43.659	53.846	OK
3	5.5	1.5	3500	25.63	93.977	43.883	53.846	OK
Atap	5.5	1.5	3500	32.94	120.780	26.803	53.846	OK

Berikut merupakan grafik simpangan antar lantai arah x pada bangunan pelat *Bubble Deck*.



**Gambar 5. 24 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Dari hasil perhitungan pengecekan simpangan antar lantai di atas pada bangunan dengan pelat *bubble deck*, dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada struktur untuk arah x tidak melebihi batas simpangan antar lantai maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur dianggap aman terhadap gempa pada arah x, karena deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat ditoleransi tanpa mengorbankan stabilitas bangunan.

## 2. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah y Pada Pelat Konvensional

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah y dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5. 14 Pengecekan Simpang Antar Lantai pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	Cd	Ie	hsy	U2
			(mm)	(mm)
Pondasi				0
1	5.5	1.5	3500	1.726
2	5.5	1.5	3500	13.366
3	5.5	1.5	3500	25.257
Atap	5.5	1.5	3500	32.932

Berikut contoh perhitungan cek simpangan antar lantai arah x pada lantai 1 sebagai berikut.

Menghitung  $\delta_y$

$$Cd = 5,5$$

$$U2 = 1,726 \text{ mm}$$

$$Ie = 1,5$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= \frac{Cd \times Ux}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 1,726}{1,5} \\ &= 6,329 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta$

$$\delta_{x(0)} = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_{x(1)} = 6,329 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= \delta x(0) - \delta x(1) \\ &= 6,329 - 0 \\ &= 6,329 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta_{\max}$

$$\begin{aligned}hsx &= 3500 \text{ mm} \\ p &= 1,3 \\ \Delta_{\max} &= \frac{0,020 \times hsx}{p} \\ &= \frac{0,020 \times 3500}{1,3} \\ &= 53,846 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek  $\Delta < \Delta_{\max}$

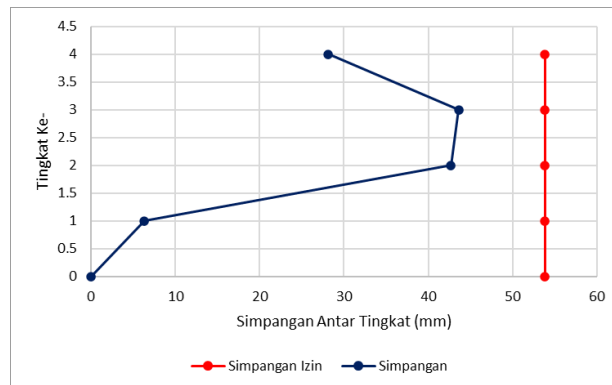
$$\begin{aligned}\Delta &< \Delta_{\max} \\ 6,329 \text{ mm} &< 53,846 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil rekapitulasi pengecekan simpang antar lantai arah x bangunan dengan pelat konvensional pada Tabel 5.15.

**Tabel 5. 15 Rekapitulasi Pengecekan Simpang Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	Cd	Ie	hsy	U2	$\delta y$	$\Delta x$	$\Delta_{\max}$	$\Delta < \Delta_{\max}$
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Pondasi				0	0	0	53.846	OK
1	5.5	1.5	3500	1.726	6.329	6.329	53.846	OK
2	5.5	1.5	3500	13.366	49.009	42.680	53.846	OK
3	5.5	1.5	3500	25.257	92.609	43.600	53.846	OK
Atap	5.5	1.5	3500	32.932	120.751	28.142	53.846	OK

Berikut merupakan grafik simpangan antar lantai arah y pada bangunan pelat konvensional.



**Gambar 5. 25 Grafik Simpangan Antar Lantai Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional**

Dari hasil perhitungan pengecekan simpangan antar lantai di atas pada bangunan dengan pelat konvensional, dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada struktur untuk arah y tidak melebihi batas simpangan antar lantai maksimum yang diizinkan. Dengan demikian, struktur dianggap aman terhadap gempa pada arah y, karena deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat ditoleransi tanpa mengorbankan stabilitas bangunan.

### 5.6.3 Pengaruh P-Delta pada Bangunan Pelat *Bubble Deck*

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7, disebutkan bahwa koefisien stabilitas ( $\Theta$ ) harus lebih kecil atau sama dengan  $\Theta_{maks}$  untuk menghindari potensi ketidakstabilan pada bangunan. Berikut ini adalah contoh perhitungan terkait pengaruh P-Delta pada bangunan pelat *Bubble Deck* pada lantai 1.

#### 1. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah x Pada Pelat *Bubble Deck*

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah x dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

$$P_x = 13757,381 \text{ kN}$$

$$\Delta_x = 5,804 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$V_x = 2612,578 \text{ kN}$$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Theta = \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{13757,381 \times 5,804 \times 1,5}{2612,578 \times 3500 \times 5,5} \\
 &= 0,0024 \\
 \Theta_{\text{maks}} &= \frac{0,5}{1 \times Cd} \\
 &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \\
 &= 0,0909 > 0,0024
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pengaruh P-Delta pada model lantai 1 menunjukkan bahwa nilai  $\Theta < \Theta_{\text{maks}}$  yaitu  $0,0024 < 0,0909$ , sehingga lantai 2 bangunan dinyatakan stabil. Rekapitulasi hasil perhitungan P-Delta untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5. 16 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

P Delta Stability Check									
Lantai	Px	Vx	Cd	Ie	hsx	Δx	θ	θ <sub>max</sub>	θ < θ <sub>max</sub>
	F3	F1			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	-	-		-	-	-	-	-	-
1	13757.381	2612.578	5.5	1.5	3500	5.80433	0.002	0.091	OK
2	10596.575	2503.331	5.5	1.5	3500	39.248	0.013	0.091	OK
3	6847.275	1974.104	5.5	1.5	3500	39.4387	0.011	0.091	OK
Atap	3097.974	1045.199	5.5	1.5	3500	23.8517	0.006	0.091	OK

## 2. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah y Pada Pelat *Bubble Deck*

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah y dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

$$P_y = 13757,381 \text{ kN}$$

$$\Delta_y = 5,944 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$V_x = 2612,584 \text{ kN}$$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$Cd = 5,5$$

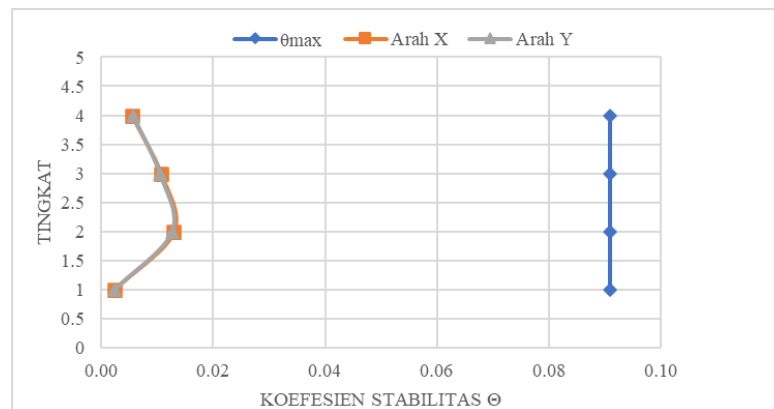
$$\begin{aligned}
 \Theta &= \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot Cd} \\
 &= \frac{13757,381 \times 5,944 \times 1,5}{2612,584 \times 3500 \times 5,5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0024 \\
 \Theta_{\text{maks}} &= \frac{0,5}{1 \times C_d} \\
 &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \\
 &= 0,0909 > 0,0024
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pengaruh P-Delta pada model lantai 1 menunjukkan bahwa nilai  $\Theta < \Theta_{\text{maks}}$  yaitu  $0,0024 < 0,0909$ , sehingga lantai 2 bangunan dinyatakan stabil. Rekapitulasi hasil perhitungan P-Delta untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 5.17.

**Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah Y pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	Px	Vx	Cd	Ie	hsx	Δx	θ	θmax	θ<θmax
	F3	F1			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	-	-		-	-	-	-	-	-
1	13757.381	2612.578	5.5	1.5	3500	5.804	0.002	0.091	OK
2	10596.575	2503.331	5.5	1.5	3500	39.248	0.013	0.091	OK
3	6847.275	1974.104	5.5	1.5	3500	39.439	0.011	0.091	OK
Atap	3097.974	1045.199	5.5	1.5	3500	23.852	0.006	0.091	OK



**Gambar 5. 26 Grafik Pengaruh P-Delta Arah X dan Y pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

#### 5.6.4 Pengaruh P-Delta pada Bangunan Pelat Konvensional

Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7, disebutkan bahwa koefisien stabilitas ( $\Theta$ ) harus lebih kecil atau sama dengan  $\Theta_{\text{maks}}$  untuk menghindari potensi ketidakstabilan pada bangunan. Berikut ini adalah contoh perhitungan terkait pengaruh P-Delta pada bangunan pelat konvensional pada lantai 1.

### 1. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah x Pada Pelat Konvensional

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah x dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

$$P_x = 16587,93 \text{ kN}$$

$$\Delta_x = 6,435 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$V_x = 2999,218 \text{ kN}$$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$C_d = 5,5$$

$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{P_x \cdot \Delta_x \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{16587,93 \times 6,435 \times 1,5}{2999,218 \times 3500 \times 5,5} \\ &= 0,0028 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta_{maks} &= \frac{0,5}{1 \times C_d} \\ &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \\ &= 0,0909 > 0,0028 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pengaruh P-Delta pada model lantai 1 menunjukkan bahwa nilai  $\Theta < \Theta_{maks}$  yaitu  $0,0028 < 0,0909$  , sehingga lantai 2 bangunan dinyatakan stabil. Rekapitulasi hasil perhitungan P-Delta untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 5.18.

**Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah X pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	Px	Vx	Cd	Ie	hsx	Δx	θ	θmax	θ<θmax
	F3	F1			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	-	-		-	-	-	-	-	-
1	16587.93	2999.218	5.5	1.5	3500	6.435	0.0028	0.0909	OK
2	12752.731	2862.443	5.5	1.5	3500	43.659	0.0152	0.0909	OK
3	8329.038	2273.953	5.5	1.5	3500	43.8827	0.0125	0.0909	OK
Atap	3905.346	1262.748	5.5	1.5	3500	26.8033	0.0065	0.0909	OK

## 2. Pengecekan Simpangan Antar Lantai Arah y Pada Pelat Konvensional

Pada pengecekan simpangan antar lantai arah y dilakukan perhitungan dengan langkah – langkah serta data – data yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

$$P_y = 16587,93 \text{ kN}$$

$$\Delta_y = 6,329 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

$$V_x = 2999,321 \text{ kN}$$

$$h_{sx} = 3500 \text{ mm}$$

$$C_d = 5,5$$

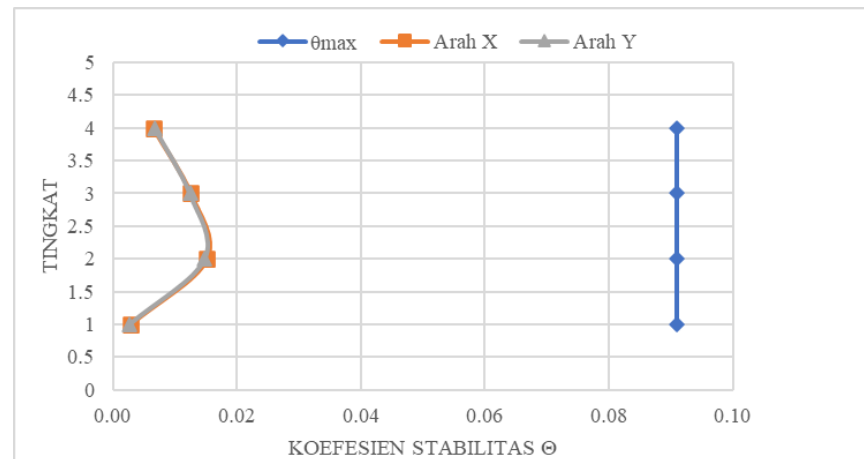
$$\begin{aligned} \Theta &= \frac{P_y \cdot \Delta_y \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{16587,93 \times 6,329 \times 1,5}{2999,321 \times 3500 \times 5,5} \\ &= 0,0027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta_{maks} &= \frac{0,5}{1 \times C_d} \\ &= \frac{0,5}{1 \times 5,5} \\ &= 0,0909 > 0,0027 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, pengaruh P-Delta pada model lantai 1 menunjukkan bahwa nilai  $\Theta < \Theta_{maks}$  yaitu  $0,0027 < 0,0909$  , sehingga lantai 2 bangunan dinyatakan stabil. Rekapitulasi hasil perhitungan P-Delta untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 5.19.

**Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengaruh P-Delta Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional**

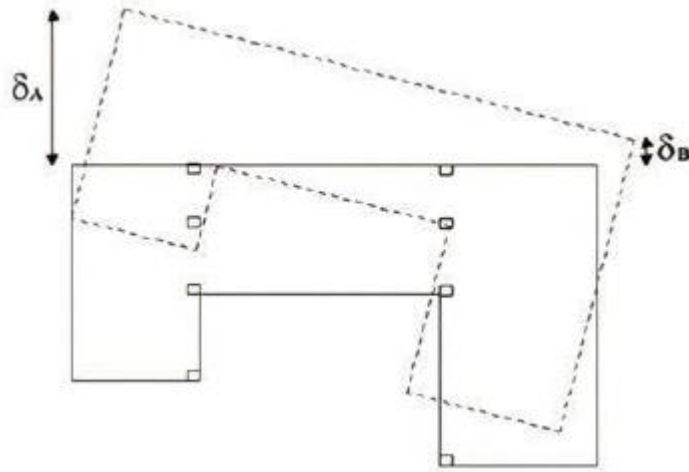
Lantai	$P_y$	$V_y$	$C_d$	$I_e$	$h_{sx}$	$\Delta_y$	$\theta$	$\theta_{max}$	$\theta < \theta_{max}$
	F3	F2			mm	mm			
	kN	kN							
Pondasi	-	-		-	-	-	-	-	-
1	16587.93	2999.321	5.5	1.5	3500	6.329	0.0027	0.0909	OK
2	12752.731	2866.556	5.5	1.5	3500	42.680	0.0148	0.0909	OK
3	8329.038	2280.022	5.5	1.5	3500	43.600	0.0124	0.0909	OK
Atap	3905.346	1270.1	5.5	1.5	3500	28.142	0.0067	0.0909	OK



**Gambar 5.27** Grafik Pengaruh P-Delta Arah X dan Y pada Bangunan Pelat Konvensional

### 5.6.5 Cek Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Pelat *Bubble Deck*

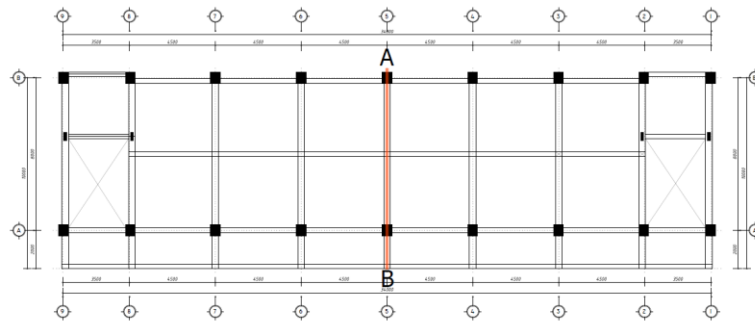
Ketidakberaturan torsi horizontal pada struktur dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu tipe 1a dan 1b, berdasarkan SNI 03-1726-2012. Ketidakberaturan torsi tipe 1a terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum, termasuk torsi tak terduga, di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu utama, melebihi 1,2 kali rata-rata simpangan antar lantai tingkat di kedua ujung struktur. Sementara itu, ketidakberaturan tipe 1b terjadi jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, dengan torsi tak terduga diperhitungkan, di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu utama, melebihi 1,4 kali rata-rata simpangan antar lantai tingkat di kedua ujung struktur. Langkah-langkah untuk memeriksa ketidakberaturan struktur tersebut adalah sebagai berikut.



**Gambar 5. 28 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)**  
(Sumber: SNI 1726 – 2019)

1. Menghitung Irregularitas Horizontal

Adapun penghitungan irregularitas horizontal adalah sebagai berikut pada lantai 1 sebagai contoh perhitungan.



**Gambar 5. 29 Penempatan Titik-Titik Pada Denah Struktur Arah X**

a. Perhitungan Simpangan Arah X

Diketahui :

$$U_{1A} = 0,010041 \text{ (joint atas)}$$

$$U_{1B} = 0,01049 \text{ (joint bawah)}$$

$$\Delta_{\max} = \text{nilai terbesar dari } U_1 \\ = 0,01049 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{avg}} = \frac{U_{xA} + U_{xB}}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,010041 + 0,01049}{2} \\
 &= 0,01027 \text{ m} \\
 1,2\Delta_{\text{avg}} &= 1,2 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,2 \times 0,01027 \\
 &= 0,01232 \\
 1,4\Delta_{\text{avg}} &= 1,4 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,4 \times 0,01027 \\
 &= 0,01437
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada lantai 1 dapat disimpulkan bahwa nilai  $\Delta_{\text{max}} < 1,2\Delta_{\text{avg}} < 1,4\Delta_{\text{avg}}$  tidak terjadi torsi.

b. Perhitungan Simpangan Arah Y

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 U_2 &= 0,01004 \text{ (joint atas)} \\
 U_2 &= 0,01004 \text{ (joint bawah)} \\
 \Delta_{\text{max}} &= \text{nilai terbesar dari } U_2 \\
 &= 0,01004\text{m} \\
 \Delta_{\text{avg}} &= \frac{U_{xA} + U_{xB}}{2} \\
 &= \frac{0,01004 + 0,01004}{2} \\
 &= 0,01004 \text{ m} \\
 1,2\Delta_{\text{avg}} &= 1,2 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,2 \times 0,01004 \\
 &= 0,01204 \\
 1,4\Delta_{\text{avg}} &= 1,4 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,4 \times 0,01004 \\
 &= 0,01405
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada lantai 1 dapat disimpulkan bahwa nilai  $\Delta_{\text{max}} < 1,2\Delta_{\text{avg}} < 1,4\Delta_{\text{avg}}$  tidak terjadi torsi.

Untuk lantai-lantai lainnya, baik pada arah x maupun arah y, perhitungan dapat dilakukan dengan metode yang sama. Hasil dari perhitungan ditunjukkan pada Tabel 5.20 dan Tabel 5.21.

**Tabel 5. 20 Hasil Ketidakberaturan Horizontal Gempa Arah X pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	$1.2\Delta_{avg}$	$1.4\Delta_{avg}$	Keterangan
0	0.00137	0.001346	0.001615	0.0018837	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
1	0.01049	0.010266	0.012319	0.0143717	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
2	0.0192	0.018804	0.022565	0.0263256	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
3	0.0242	0.023707	0.028448	0.0331891	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>

**Tabel 5. 21 Hasil Ketidakberaturan Horizontal Gempa Arah Y pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Lantai	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	$1.2\Delta_{avg}$	$1.4\Delta_{avg}$	Keterangan
0	0.00133	0.001327	0.001592	0.0018578	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
1	0.01004	0.010035	0.012042	0.014049	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
2	0.01827	0.018273	0.021928	0.0255822	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
3	0.02315	0.023145	0.027774	0.032403	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>

## 2. Menghitung Irregularitas Vertikal

Adapun penghitungan irregularitas vertikal adalah sebagai berikut pada lantai 1 sebagai contoh perhitungan.

### a. Perhitungan Simpangan Arah X

Diketahui :

$$B_1 = 600 \text{ mm}$$

$$H_1 = 600 \text{ mm}$$

$$L_1 = 3500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{(12 \times 1 \times \left(\frac{1}{12}\right) \times B \times H^3}{L^3} \\ &= \frac{(12 \times 1 \times \left(\frac{1}{12}\right) \times 600 \times 600^3}{3500^3} \\ &= 3,0227 \end{aligned}$$

### b. Perhitungan Kekakuan Total ( $\Sigma K_i$ )

$$\begin{aligned}
 n &= \text{jumlah kolom dalam 1 lantai} \\
 &= 18 \\
 \Sigma K_i &= K_1 \times n_1 \\
 &= 3,0227 \times 18 \\
 &= 54,4093
 \end{aligned}$$

Menggunakan metode perhitungan yang sama, rekapitulasi kekakuan kolom pada setiap lantai ditunjukkan pada Tabel 5.22.

**Tabel 5. 22 Rekapitulasi Perhitungan Kekakuan Total Kolom pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Tingkat	B (mm)	H (mm)	L (mm)	K <sub>i</sub>	n	ΣK <sub>i</sub>
1	600	600	3500	3.022741	18	54.4093
2	600	600	3500	3.022741	18	54.4093
3	600	600	3500	3.022741	18	54.4093

c. Cek Ketidak Beraturan Vertikal

1) Cek Ketidakberaturan Vertikal 1A

Adapun syarat perhitungannya sebagai berikut.

a) Syarat 1

$$K_{lt\ 1} < 70\% \times K_{lt\ 2}$$

$$54,4093 < 70\% \times 54,4093$$

$$54,4093 < 38,0865 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

b) Syarat 2

$$K_{lt\ 1} < 80\% \times K_{lt\ 2}$$

$$54,4093 < 80\% \times \frac{54,4093 + 54,4093}{2}$$

$$54,4093 < 43,5275 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

2) Cek Ketidakberaturan Vertikal 1B

Adapun syarat perhitungannya sebagai berikut.

a) Syarat 1

$$K_{lt\ 1} < 60\% \times K_{lt\ 2}$$

$$54,4093 < 60\% \times 54,4093$$

$$54,4093 < 32,6456 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

b) Syarat 2

$$K_{lt\ 1} < 70\% \times K_{lt\ 2}$$

$$54,4093 < 70\% \times \frac{54,4093 + 54,4093}{2}$$

$$54,4093 < 38,0865 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

Menggunakan metode perhitungan yang sama, rekapitulasi cek ketidakberaturan vertikal lantai lainnya diperoleh seperti yang tercantum pada Tabel 5.23.

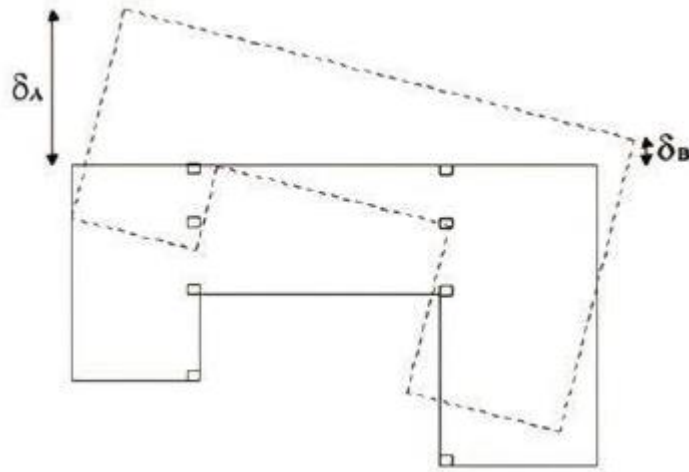
**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1 B pada Bangunan Pelat *Bubble Deck***

Tingkat	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A		Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B	
	Syarat 1	Syarat 2	Syarat 1	Syarat 2
1	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI
2	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI
3	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengecekan, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat irregularitas baik tipe 1A maupun 1B pada struktur bangunan menggunakan pelat *bubble deck*. Oleh karena itu, proses dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

#### **5.6.6 Cek Ketidakberaturan Struktur pada Bangunan Pelat Konvensional**

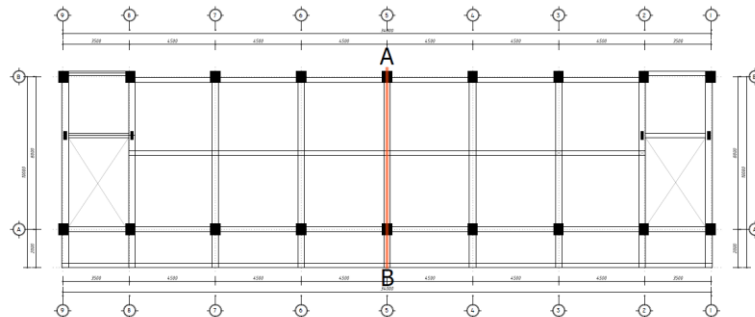
Ketidakberaturan torsi horizontal pada struktur dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu tipe 1a dan 1b, berdasarkan SNI 03-1726-2012. Ketidakberaturan torsi tipe 1a terjadi apabila simpangan antar lantai tingkat maksimum, termasuk torsi tak terduga, di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu utama, melebihi 1,2 kali rata-rata simpangan antar lantai tingkat di kedua ujung struktur. Sementara itu, ketidakberaturan tipe 1b terjadi jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, dengan torsi tak terduga diperhitungkan, di salah satu ujung struktur melintang terhadap sumbu utama, melebihi 1,4 kali rata-rata simpangan antar lantai tingkat di kedua ujung struktur. Langkah-langkah untuk memeriksa ketidakberaturan struktur tersebut adalah sebagai berikut.



**Gambar 5. 30 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)**  
(Sumber: Hasil)

1. Menghitung Irregularitas Horizontal

Adapun penghitungan irregularitas horizontal adalah sebagai berikut pada lantai 1 sebagai contoh perhitungan.



**Gambar 5. 31 Penempatan Titik-Titik Pada Denah Struktur Arah X**

a. Perhitungan Simpangan Arah X

Diketahui :

$$U_{1A} = 0,01178 \text{ (joint atas)}$$

$$U_{1B} = 0,01238 \text{ (joint bawah)}$$

$$\Delta_{\max} = \text{nilai terbesar dari } U_1 \\ = 0,01238 \text{ m}$$

$$\Delta_{\text{avg}} = \frac{U_{xA} + U_{xB}}{2} \\ = \frac{0,01178 + 0,01238}{2} \\ = 0,01208 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 1,2\Delta_{\text{avg}} &= 1,2 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,2 \times 0,01208 \\
 &= 0,01450
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1,4\Delta_{\text{avg}} &= 1,4 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,4 \times 0,01208 \\
 &= 0,01691
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada lantai 1 dapat disimpulkan bahwa nilai  $\Delta_{\text{max}} < 1,2\Delta_{\text{avg}} < 1,4\Delta_{\text{avg}}$  tidak terjadi torsi.

b. Perhitungan Simpangan Arah Y

Diketahui :

$$U_2 = 0,01200 \text{ (joint atas)}$$

$$U_2 = 0,01200 \text{ (joint bawah)}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{max}} &= \text{nilai terbesar dari } U_2 \\
 &= 0,01200 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{\text{avg}} &= \frac{U_{xA} + U_{xB}}{2} \\
 &= \frac{0,01200 + 0,01200}{2} \\
 &= 0,01200 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1,2\Delta_{\text{avg}} &= 1,2 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,2 \times 0,01200 \\
 &= 0,01440
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1,4\Delta_{\text{avg}} &= 1,4 \times \Delta_{\text{avg}} \\
 &= 1,4 \times 0,01200 \\
 &= 0,01681
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas pada lantai 1 dapat disimpulkan bahwa nilai  $\Delta_{\text{max}} < 1,2\Delta_{\text{avg}} < 1,4\Delta_{\text{avg}}$  tidak terjadi torsi.

Untuk lantai lainnya, baik pada arah x maupun arah y, perhitungan dapat dilakukan dengan metode yang sama. Hasil disajikan dalam Tabel 5.24 dan Tabel 5. 24.

**Tabel 5. 24 Perbandingan Nilai Simpangan Maksimum Dengan 1,2 dan 1,4 Nilai Simpangan Rata-Rata Gempa Arah X pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	$1.2\Delta_{avg}$	$1.4\Delta_{avg}$	Keterangan
0	0.00162	0.00158	0.00190	0.00221	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
1	0.01238	0.01208	0.01450	0.01691	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
2	0.02271	0.02217	0.02661	0.03104	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
3	0.02875	0.02808	0.03369	0.03931	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>

**Tabel 5. 25 Perbandingan Nilai Simpangan Maksimum Dengan 1,2 dan 1,4 Nilai Simpangan Rata-Rata Gempa Arah Y pada Bangunan Pelat Konvensional**

Lantai	$\Delta_{max}$	$\Delta_{avg}$	$1.2\Delta_{avg}$	$1.4\Delta_{avg}$	Keterangan
0	0.001584	0.001584	0.0019008	0.002218	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
1	0.012004	0.012004	0.0144048	0.016806	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
2	0.021929	0.021929	0.0263148	0.030701	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>
3	0.027923	0.027923	0.0335076	0.039092	<b>TIDAK TERJADI TORSI</b>

## 2. Menghitung Irregularitas Vertikal

Adapun penghitungan irregularitas vertikal adalah sebagai berikut pada lantai 1 sebagai contoh perhitungan.

### a. Perhitungan Simpangan Arah X

Diketahui :

$$B_1 = 600 \text{ mm}$$

$$H_1 = 600 \text{ mm}$$

$$L_1 = 3500 \text{ mm}$$

$$K_1 = \frac{(12 \times 1 \times \left(\frac{1}{12}\right) \times B \times H^3}{L^3}$$

$$= \frac{(12 \times 1 \times \left(\frac{1}{12}\right) \times 600 \times 600^3}{3500^3}$$

$$= 3,0227$$

### b. Perhitungan Kekakuan Total ( $\Sigma K_i$ )

$$n = \text{jumlah kolom dalam 1 lantai}$$

$$= 18$$

$$\Sigma K_i = K_1 \times n_1$$

$$= 3,0227 \times 18$$

$$= 54,4093$$

Menggunakan metode perhitungan yang sama, rekapitulasi kekakuan kolom pada setiap lantai diperoleh seperti pada Tabel 5. 26.

**Tabel 5. 26 Rekapitulasi Perhitungan Kekakuan Total Kolom pada Bangunan Pelat Konvensional**

Tingkat	B (mm)	H (mm)	L (mm)	Ki	n	$\Sigma Ki$
1	600	600	3500	3.0227	18	54.4093
2	600	600	3500	3.0227	18	54.4093
3	600	600	3500	3.0227	18	54.4093

c. Cek Ketidak Beraturan Vertikal

1) Cek Ketidakberaturan Vertikal 1A

Adapun syarat perhitungannya sebagai berikut.

a) Syarat 1

$$K_{lt 1} < 70\% \times K_{lt 2}$$

$$54,4093 < 70\% \times 54,4093$$

$$54,4093 < 38,0865 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

b) Syarat 2

$$K_{lt 1} < 80\% \times K_{lt 2}$$

$$54,4093 < 80\% \times \frac{54,4093 + 54,4093}{2}$$

$$54,4093 < 43,5275 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

2) Cek Ketidakberaturan Vertikal 1B

Adapun syarat perhitungannya sebagai berikut.

a) Syarat 1

$$K_{lt 1} < 60\% \times K_{lt 2}$$

$$54,4093 < 60\% \times 54,4093$$

$$54,4093 < 32,6456 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

b) Syarat 2

$$K_{lt 1} < 70\% \times K_{lt 2}$$

$$54,4093 < 70\% \times \frac{54,4093 + 54,4093}{2}$$

$$54,4093 < 38,0865 \text{ (tidak terjadi ketidakberaturan vertikal)}$$

Menggunakan metode perhitungan yang sama, rekapitulasi cek ketidakberaturan vertikal lantai lainnya diperoleh seperti yang tercantum berikut ini.

**Tabel 5. 27 Rekapitulasi Cek Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A dan 1 B pada Bangunan Pelat Konvensional**

Tingkat	Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A		Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B	
	Syarat 1	Syarat 2	Syarat 1	Syarat 2
1	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI
2	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI
3	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI	TIDAK TERJADI

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengecekan, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat irregularitas baik tipe 1A maupun 1B pada struktur bangunan menggunakan pelat Konvensional. Oleh karena itu, proses dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

## 5.7 Analisis Momen Pelat

Adapun beberapa perhitungan momen pelat lantai dan cek kontrol agar memenuhi syarat yang mengacu, pada SNI 2847 – 2019 sebagai berikut.

### 5.7.1 Perhitungan Momen Pelat Lantai *Bubble Deck*

Desain tulangan pada pelat dilakukan berdasarkan gaya-gaya yang bekerja, sehingga mampu menopang beban mati dan beban hidup. Dalam perhitungan tulangan pelat, baik untuk pelat atap maupun pelat lantai, diasumsikan bahwa setiap pelat dibatasi oleh balok di sekelilingnya. Pada pelat lantai, terdapat dua metode perhitungan tulangan, yaitu untuk pelat satu arah dan pelat dua arah. Aturan permodelan dimensi pelat lantai yang dikombinasikan dengan *bubble deck* mengikuti prinsip yang sama seperti pelat beton konvensional. Namun, koefisien kekakuan perlu disesuaikan sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Meskipun DIN 1045 tidak secara spesifik menjelaskan metode yang digunakan, perhitungan tetap dilakukan menggunakan metode konvensional yang sesuai dengan peraturan

yang berlaku di masing-masing negara. Mengacu pada *Design Guide Bubble Deck* seperti yang dijelaskan berikut ini.

#### 1. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Satu Arah (PL4)

Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
Ø <i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 2000 mm
Jenis arah pelat	= $\frac{L_y}{L_x}$
	= $\frac{4500}{2000}$
	= 2250 mm
	= 2,25 m

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  lebih dari dua (2) sehingga pelat lantai PL4 tersebut termasuk jenis pelat lantai satu arah.

##### a. Perhitungan Momen Desain

Qu pelat lantai	= 11,378 kN/m <sup>2</sup>
Mu tumpuan	= $\frac{1}{12} \times Qu \times L_x^2$
	= $\frac{1}{12} \times 11,378 \times 2^2$
	= 3,7927 kNm
Mu lapangan	= $\frac{1}{14} \times Qu \times L_x^2$
	= $\frac{1}{14} \times 11,378 \times 2^2$
	= 3,2509 kNm
$D_{pokok}$	= 10D
$D_{bagi}$	= 8P
Pb	= 20 mm
$H_{pelat}$	= 230 mm
ds	= $Pb + \frac{D_{pokok}}{2}$

$$\begin{aligned}
 &= 20 + \frac{10}{2} \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL4)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 Mu (-) &= 3,7927 \text{ kNm} \\
 &= 3792715,73 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 Mn (-) &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
 &= \frac{3792715,73}{0,9} \\
 &= 4,2141 \text{ kNm} \\
 &= 4214128,59 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0,85 fc} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,7647
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{bd^2} \\
 &= \frac{4214128,59}{1000 \times 205^2} \\
 &= 0,1003 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,1003)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00024
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\text{min pakai}}$

Nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\text{min}}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  adalah 0,002.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,00024 \times 1000 \times 205 \\ &= 49,0606 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,00024 \times 1000 \times 205 \\ &= 460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  $460 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,5398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,5398 \times 1000}{460} \\ &= 170,7387 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\ &= 125 < 3 \times 230 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\ &= 125 < 450 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{As_1 \times b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{78,5398 \times 1000}{125} \\
 &= 628,3185 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As$  pakai baru  $>$   $As$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai satu arah (PL4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Penulangan Daerah Lapangan

$$\begin{aligned}
 Mu (+) &= 3,251 \text{ kNm} \\
 &= 3250899,20 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 Mn (+) &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
 &= \frac{3250899,20}{0,9} \\
 &= 3,612 \text{ kNm} \\
 &= 3612110,22 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{fy}{0,85 fc} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn}{bd^2} \\
 &= \frac{3612110,22}{1000 \times 205^2} \\
 &= 0,0860 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,0860)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00021
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$$\rho_{\min \text{ pakai}}$$

Nilai  $\rho_{\min}$  pakai merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\min}$  pakai adalah 0,002.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,00021 \times 1000 \times 205 \\ &= 42,0377 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,00024 \times 1000 \times 205 \\ &= 460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 460 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,5398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,5398 \times 1000}{460} \\ &= 170,7387 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\ &= 125 < 3 \times 230 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\ &= 125 < 450 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\ &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \end{aligned}$$

$$= \frac{78,5398 \times 1000}{125}$$

$$= 628,3185 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai satu arah (PL4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Dua Arah (PL1)

### a. Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
<i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
$b_{B1}$	= 350 mm
$h_{B1}$	= 600 mm
$b_{B2}$	= 250 mm
$h_{BA1}$	= 400 mm
$h_{kolom} = b_{kolom}$	= 600 mm
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 4000 mm
Bentang bersih $L_y$	$= L_y - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right)$ $= 4500 - \left(\frac{1}{2} \times 350\right) - \left(\frac{1}{2} \times 350\right)$ $= 4150 \text{ mm}$
Bentang bersih $L_x$	$= L_x - \left(\frac{1}{2} \times b_{B2}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{BA1}\right)$ $= 4000 - \left(\frac{1}{2} \times 250\right) - \left(\frac{1}{2} \times 250\right)$ $= 3750 \text{ mm}$
Jenis arah pelat	$= \frac{L_y}{L_x}$ $= \frac{4,5}{4}$ $= 1,13$

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  kurang dari dua (2) sehingga pelat lantai PL1 tersebut termasuk jenis pelat lantai dua arah.

b. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Panjang

1) Analisis Pada Lajur Kolom

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\ &= \frac{11,378 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\ &= 110,228 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\ &= \frac{11,378 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\ &= 80,003 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah.  $L_2$  bentang panjang = 4,5 m.  $L_1$  bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 28 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 29 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$X = \frac{Lx}{Ly} = \frac{4}{4,5} = 0,888$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} = 0,9 - 0,1166 = 0,783$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} = 0,9 - 0,1166 = 0,783$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom} = 1 - 0,783 = 0,217$$

$$M (+) \text{ lajur tengah} = 1 - M (+) \text{ lajur kolom} = 1 - 0,783 = 0,217$$

2) Panil eksterior (tepi)

$$M_{0,ve,eksterior}^- \text{ kolom} = 0,65 \times M_0 \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} = 0,65 \times 80.003 \times 0,783 = 40,735 \text{ kNm}$$

## 3) Panil interior (tengah)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} \text{ kolom} &= 0.35 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} \\
 &= 0.35 \times 80.003 \times 0,783 \\
 &= 21,934 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL1)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

## 1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_s &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 40,735 \text{ kNm} \\
 &= 40734655,87 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{40734655,87}{0,9} \\
 &= 45260728,74 \text{ Nmm} \\
 b &= l_y \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{45260728,74}{2250 \times 203,5^2} \\
 &= 0,486 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,486)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00117 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,00117 \times 2250 \times 203,5 \\
 &= 535,746 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 A_s1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ perlu} &= \frac{A_s1 \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{1035} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = A_s \text{ pakai baru}$$

$$= \frac{A_{s1} \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{132,732 \times 2250}{125}$$

$$= 2389,181 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $> A_s$  pakai yaitu  $2389,181 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

## 2) Penulangan daerah lapangan

$$D_s = P_b + \frac{1}{2} D$$

$$= 20 + \frac{1}{2} \times 13$$

$$= 26.5 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 230 - 26.5$$

$$= 203.5 \text{ mm}$$

$$M_u (+) = 21,934 \text{ kNm}$$

$$= 21934045,47 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset \text{ lentur} = 0,9$$

$$M_n (+) = \frac{M_u}{\emptyset}$$

$$= \frac{21934045,47}{0,9}$$

$$= 24371161,63 \text{ Nmm}$$

$$b = l_y \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$= 2250 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{24371161,63}{2250 \times 203,5^2} \\
 &= 0,262 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,262)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000627 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000627 \times 2250 \times 203,5 \\
 &= 286,920 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 A_s1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_s1 \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{1035} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\text{Cek} = S_{\text{pakai}} < 3h$$

$$\begin{aligned}
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \\
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \\
 \text{Cek} &= A_s \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{A_{s1} \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{125} \\
 &= 2389,181 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $2389,181 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

d. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Pendek

1) Analisis Pada Lajur Kolom

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\
 &= \frac{11,378 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\
 &= 110,228 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\
 &= \frac{11,378 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\
 &= 80,003 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefisien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah.  $L_2$  bentang panjang = 4,5 m.  $L_1$  bentang pendek = 4 m,

maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 30 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 31 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$X = \frac{Lx}{Ly}$$

$$= \frac{4}{4,5}$$

$$= 0,888$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 2) \text{ Panil eksterior (tepi)} \\
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.65 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(+)\text{ lajur} \\
 &\text{kolom} \\
 &= 0.65 \times 110,228 \times 0,783 \\
 &= 56,124 \text{ kNm} \\
 3) \text{ Panil interior (tengah)} \\
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.35 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(-)\text{ lajur} \\
 &\text{tengah} \\
 &= 0.35 \times 110,228 \times 0,217 \\
 &= 15,524 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL1)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_s &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 15,524 \text{ kNm} \\
 &= 56124208,85 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{56124208,85}{0,9} \\
&= 62360232,06 \text{ Nmm} \\
b &= l \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 2000 \text{ mm} \\
m &= \frac{fy}{0,85 \times fc} \\
&= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
&= 19,765 \\
Rn &= \frac{Mn (-)}{b \times d^2} \\
&= \frac{62360232,06}{2000 \times 203,5^2} \\
&= 0,753 \text{ Mpa} \\
P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right] \\
&= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,753)}{420}\right)\right] \\
&= 0,00183 \\
P_{\text{min}} &= 0,002 \\
As_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
&= 0,00183 \times 2000 \times 203,5 \\
&= 743,020 \text{ mm}^2 \\
As_{\text{min}} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
&= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
&= 920 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 920 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
As1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
&= 132,732 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{920} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{125} \\
 &= 2123,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $2123,717 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

2) Penulangan daerah lapangan

$$\begin{aligned}
 ds &= Pb + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu (+) &= 30,221 \text{ kNm} \\
 &= 30220727,84 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
Mn (+) &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
&= \frac{30220727,84}{0,9} \\
&= 33578586,49 \text{ Nmm} \\
b &= lx \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 2000 \text{ mm} \\
m &= \frac{fy}{0,85 \times fc} \\
&= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
&= 19,765 \\
Rn &= \frac{Mn (+)}{b \times d^2} \\
&= \frac{33578586,49}{2000 \times 203,5^2} \\
&= 0,405 \text{ Mpa} \\
P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right] \\
&= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,405)}{420}\right)\right] \\
&= 0,000975 \\
P_{\text{min}} &= 0,002 \\
As_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
&= 0,000975 \times 2000 \times 203,5 \\
&= 396,691 \text{ mm}^2 \\
As_{\text{min}} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
&= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
&= 920 \text{ mm}^2 \\
As_{\text{pakai}} & \\
&\text{Nilai terbesar dari } As_{\text{perlu}} \text{ dan } As_{\text{min}}. \text{ Sehingga digunakan } As \\
&\text{min } 920 \text{ mm}^2 \\
As1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2 \\
 \text{S perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{920} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{125} \\
 &= 2123,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $2123,717 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

### 5.7.2 Perhitungan Momen Pelat Atap *Bubble Deck*

Desain tulangan pada pelat dilakukan berdasarkan gaya-gaya yang bekerja, sehingga mampu menopang beban mati dan beban hidup. Dalam perhitungan tulangan pelat atap, diasumsikan bahwa setiap pelat dibatasi oleh balok di sekelilingnya. Pada pelat atap, terdapat dua metode perhitungan tulangan, yaitu untuk pelat satu arah dan pelat dua arah. seperti yang dijelaskan berikut ini.

#### 1. Perhitungan Tulangan Pelat Atap Satu Arah (PA4)

a. Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
Ø <i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 25 MPa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 MPa
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 2000 mm
Jenis arah pelat	= $\frac{L_y}{L_x}$
	= $\frac{4500}{2000}$
	= 2250 mm
	= 2,25 m

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  lebih dari dua (2) sehingga pelat atap PA4 tersebut termasuk jenis pelat atap satu arah.

## b. Perhitungan Momen Desain

$Q_u$ pelat atap	= 6,794 kN/m <sup>2</sup>
$M_u$ tumpuan	= $\frac{1}{12} \times Q_u \times L_x^2$
	= $\frac{1}{12} \times 6,794 \times 2^2$
	= 2,265 kNm
$M_u$ lapangan	= $\frac{1}{14} \times Q_u \times L_x^2$
	= $\frac{1}{14} \times 6,794 \times 2^2$
	= 1,941 kNm
$D_{pokok}$	= 10D
$D_{bagi}$	= 8P
Pb	= 20 mm
$H_{pelat}$	= 230 mm
ds	= $Pb + \frac{D_{pokok}}{2}$
	= $20 + \frac{10}{2}$
	= 25 mm
d	= h – ds

$$= 230 - 25$$

$$= 205 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA4)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Mu (-)} &= 2,265 \text{ kNm} \\ &= 2264649,07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned} \text{Mn (-)} &= \frac{\text{Mu}}{\emptyset} \\ &= \frac{2264649,07}{0,9} \\ &= 2,265 \text{ Knm} \\ &= 2516276,74 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rn} &= \frac{\text{Mn}}{bd^2} \\ &= \frac{2516276,74}{1000 \times 205^2} \\ &= 0,060 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times \text{Rn})}{f_y}\right)\right] \\ &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,060)}{420}\right)\right] \\ &= 0,000143 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\min}$  pakai

Nilai  $\rho_{\min}$  pakai merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\min}$  pakai adalah 0,000143

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,000143 \times 1000 \times 205 \\
 &= 29,266 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 205 \\
 &= 460 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
460 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,5398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{78,5398 \times 1000}{460} \\
 &= 170,7387 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI  
2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\
 &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \\
 &= \frac{78,5398 \times 1000}{125} \\
 &= 628,3185 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat atap satu arah (PA4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Penulangan Daerah Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_u (+) &= 1,941 \text{ kNm} \\
 &= 1941127,77 \text{ Nmm} \\
 \emptyset &= 0,9 \\
 M_n (+) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{1941127,77}{0,9} \\
 &= 2,157 \text{ kNm} \\
 &= 2156808,64 \text{ Nmm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,7647 \\
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{2156808,64}{1000 \times 205^2} \\
 &= 0,051 \text{ MPa} \\
 P \text{ Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,051)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000122 \\
 \rho_{\min} &= 0,002 \\
 \rho_{\min \text{ pakai}} & \\
 \text{Nilai } \rho_{\min \text{ pakai}} &\text{ merupakan nilai terbesar dari } \rho_{\min} \text{ dan } \rho_{\text{perlu}}. \\
 \text{Sehingga nilai } \rho_{\min \text{ pakai}} &\text{ adalah } 0,000122. \\
 A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,000122 \times 1000 \times 205 \\
 &= 25,080 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 205 \\
 &= 460 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
460 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 1000}{460} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI  
2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\
 &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \\
 &= \frac{78,5398 \times 1000}{125} \\
 &= 628,3185 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai As pakai baru > As pakai yaitu 628,3185 mm<sup>2</sup> > 460  
mm<sup>2</sup>, maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap

satu arah (PA4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

2. Perhitungan Tulangan Pelat Atap Dua Arah (PA1)

a. Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
Ø <i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
$b_{B1}$	= 350 mm
$h_{B1}$	= 600 mm
$b_{B2}$	= 250 mm
$h_{BA1}$	= 400 mm
$h_{kolom} = b_{kolom}$	= 600 mm
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 4000 mm
Bentang bersih $L_y$	$= L_y - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right)$ $= 4500 - \left(\frac{1}{2} \times 350\right) - \left(\frac{1}{2} \times 350\right)$ $= 4150 \text{ mm}$
Bentang bersih $L_x$	$= L_x - \left(\frac{1}{2} \times b_{B2}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{BA1}\right)$ $= 4000 - \left(\frac{1}{2} \times 250\right) - \left(\frac{1}{2} \times 250\right)$ $= 3750 \text{ mm}$
Jenis arah pelat	$= \frac{L_y}{L_x}$ $= \frac{4,5}{4}$ $= 1,13$

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  kurang dari dua (2) sehingga pelat atap PA1 tersebut termasuk jenis pelat atap dua arah.

b. Direct Design Method (DDM) PA1 pada Bentang Panjang

1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\
 &= \frac{6,794 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\
 &= 53,741 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang (Ly)

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\
 &= \frac{6,794 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\
 &= 58,504 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. L2 bentang panjang = 4,5 m. L1 bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier ditunjukkan pada Tabel 5.32.

**Tabel 5. 32 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 33 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{Lx}{Ly} \\
 &= \frac{4}{4,5} \\
 &= 0,888 \\
 X1 &= 0,5 \\
 X2 &= 2 \\
 M (-) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (+) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (-) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (-) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 \end{aligned}$$

2) Panil eksterior (tepi)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} \text{ lajur kolom} &= 0,65 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \\
 &= 0,65 \times 58,504 \times 0,783 \\
 &= 29,788 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3) Panil interior (tengah)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} \text{ lajur kolom} &= 0,35 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \\
 &= 0,35 \times 58,504 \times 0,783 \\
 &= 16,040 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA1)

Perhitungan penulangan pada pelat atap dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 ds &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 29,788 \text{ kNm} \\
 &= 29788479,05 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{29788479,05}{0,9} \\
 &= 33,098 \text{ kNm} \\
 &= 33098310,06 \text{ Nmm} \\
 b &= l_y \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{33098310,06}{2250 \times 205^2} \\
 &= 0,350 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right]
 \end{aligned}$$

$$= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,350)}{420}\right)\right]$$

$$= 0,000840$$

$$P_{\min} = 0,002$$

$$\text{As perlu} = (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d$$

$$= 0,000840 \times 2250 \times 205$$

$$= 387,636 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = (\rho_{\min}) \times b \times h$$

$$= 0,002 \times 2250 \times 230$$

$$= 1035 \text{ mm}^2$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  $1035 \text{ mm}^2$

$$\text{As1 tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$= 132,732 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}}$$

$$= \frac{78,540 \times 2250}{1035}$$

$$= 170,739 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\text{Cek} = S_{\text{pakai}} < 3h$$

$$= 125 < 3 \times 230$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = S_{\text{pakai}} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$= \frac{\text{As1} \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= \frac{170,739 \times 2250}{125}$$

$$= 1413,717 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $1413,717 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

2) Penulangan daerah lapangan

$$d_s = P_b + \frac{1}{2} D$$

$$= 20 + \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 230 - 25$$

$$= 205 \text{ mm}$$

$$M_u (+) = 16,040 \text{ kNm}$$

$$= 16039950,257 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset \text{ lentur} = 0,9$$

$$M_n (+) = \frac{M_u}{\emptyset}$$

$$= \frac{16039950,257}{0,9}$$

$$= 17,822 \text{ Knm}$$

$$= 17822166,953 \text{ Nmm}$$

$$b = l_y \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000$$

$$= 2250 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$R_n = \frac{M_n (+)}{b \times d^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{17822166,953}{2250 \times 205^2} \\
 &= 0,188 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,188)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000451 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 \text{As perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000451 \times 2250 \times 205 \\
 &= 207,920 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  $1035 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2250}{1035} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \\
 \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\
 &= \frac{As_1 \times b}{s_{pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2250}{125} \\
 &= 1413,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai As pakai baru  $>$  As pakai yaitu  $1413,717 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

d. Direct Design Method (DDM) PA1 pada Bentang Pendek

1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek (Lx)

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\
 &= \frac{6,794 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\
 &= 53,741 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang (Ly)

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\
 &= \frac{6,794 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\
 &= 58,504 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. L2 bentang panjang = 4,5 m. L1 bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 34 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 35 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$X = \frac{L_x}{L_y}$$

$$= \frac{4}{4,5}$$

$$= 0,888$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom}$$

$$= 1 - 0,783$$

$$= 0,217$$

$$M (+) \text{ lajur tengah} = 1 - M (+) \text{ lajur kolom}$$

$$= 1 - 0,783$$

$$= 0,217$$

2) Panil eksterior (tepi)

$$M_{0,ve,eksterior} = 0.65 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(+)$$
 lajur kolom

$$= 0.65 \times 53,741 \times 0,783$$

$$= 27,363 \text{ kNm}$$

3) Panil interior (tengah)

$$M_{0,ve,eksterior} = 0.35 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(-)$$
 lajur kolom

$$= 0.35 \times 53,741 \times 0,783$$

$$= 14,734 \text{ kNm}$$

e. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA1)

Perhitungan penulangan pada pelat atap dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned} ds &= P_b + \frac{1}{2} D \\ &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= h - ds \\ &= 230 - 25 \\ &= 205 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u (-) &= 27,363 \text{ kNm} \\ &= 27363219,478 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi \text{ lentur} = 0,9$$

$$\begin{aligned} M_n (-) &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{27363219,478}{0,9} \\ &= 30,404 \text{ Knm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 30403577,20 \text{ Nmm} \\
 b &= l \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{30403577,20}{2000 \times 205^2} \\
 &= 0,362 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,362)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000869 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000882 \times 2000 \times 205 \\
 &= 356,177 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
 &= 920 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ pakai} & \\
 \text{Nilai terbesar dari } A_s \text{ perlu dan } A_s \text{ min. Sehingga digunakan } A_s & \\
 \text{min } 920 \text{ mm}^2 & \\
 A_s1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 S \text{ perlu} &= \frac{A_s1 \times b}{A_s \text{ pakai}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{78,540 \times 2000}{920}$$

$$= 170,739 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$= 125 < 3 \times 230$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = A_s \text{ pakai baru}$$

$$= \frac{A_{s1} \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{78,540 \times 2000}{125}$$

$$= 1256,637 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $1256,637 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

2) Penulangan daerah lapangan

$$d_s = P_b + \frac{1}{2} D$$

$$= 20 + \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 230 - 25$$

$$= 205 \text{ mm}$$

$$M_u (+) = 14,734 \text{ kNm}$$

$$= 14734041,258 \text{ Nmm}$$

$$\phi \text{ lentur} = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 M_n (+) &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{14734041,258}{0,9} \\
 &= 16,371 \text{ Knm} \\
 &= 16371156,953 \text{ Nmm} \\
 b &= l_x \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{16371156,953}{2000 \times 205^2} \\
 &= 0,195 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,195)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000466 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000466 \times 2000 \times 205 \\
 &= 191,021 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
 &= 920 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 920 mm<sup>2</sup>

$$A_{s1} \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \\
 \text{S perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2000}{920} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2000}{125} \\
 &= 1256,637
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $1256,637 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

### 5.7.3 Perhitungan Momen Pelat Lantai Konvensional

Desain tulangan pada pelat dilakukan berdasarkan gaya-gaya yang bekerja, sehingga mampu menopang beban mati dan beban hidup. Dalam perhitungan tulangan pelat, baik untuk pelat atap maupun pelat lantai, diasumsikan bahwa setiap pelat dibatasi oleh balok di sekelilingnya. Pada pelat lantai, terdapat dua metode perhitungan tulangan, yaitu untuk pelat satu arah dan pelat dua arah. Seperti yang dijelaskan berikut ini.

1. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Satu Arah (PL4)

a. Data Pelat Konvensional

$$\begin{aligned}
 H_{\text{pelat}} &= 230 \text{ mm} \\
 \text{Kuat tekan beton (f'c)} &= 25 \text{ Mpa} \\
 \text{Kuat tarik baja (fy)} &= 420 \text{ Mpa} \\
 \text{Bentang panjang pelat (Ly)} &= 4500 \text{ mm} \\
 \text{Bentang pendek pelat (Lx)} &= 2000 \text{ mm} \\
 \text{Jenis arah pelat} &= \frac{Ly}{Lx} \\
 &= \frac{4500}{2000} \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 &= 2,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Nilai perbandingan Ly dengan Lx lebih dari dua (2) sehingga pelat lantai PL4 tersebut termasuk jenis pelat lantai satu arah.

b. Perhitungan Momen Desain

$$\begin{aligned}
 \text{Qu pelat lantai} &= 14,229 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Mu tumpuan} &= \frac{1}{12} \times \text{Qu} \times \text{Lx}^2 \\
 &= \frac{1}{12} \times 14,229 \times 2^2 \\
 &= 4,743 \text{ kNm} \\
 \text{Mu lapangan} &= \frac{1}{14} \times \text{Qu} \times \text{Lx}^2 \\
 &= \frac{1}{14} \times 14,229 \times 2^2 \\
 &= 4,065 \text{ kNm} \\
 D_{\text{pokok}} &= 10D \\
 D_{\text{bagi}} &= 8P \\
 P_b &= 20 \text{ mm} \\
 H_{\text{pelat}} &= 230 \text{ mm} \\
 d_s &= P_b + \frac{D_{\text{pokok}}}{2} \\
 &= 20 + \frac{10}{2} \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL4)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u (-) &= 4,743 \text{ kNm} \\
 &= 4742888,79 \text{ Nmm} \\
 \emptyset &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{4742888,79}{0,9} \\
 &= 5,270 \text{ kNm} \\
 &= 45269876,43 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{45269876,43}{1000 \times 205^2} \\
 &= 0,125 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,125)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000299
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\min}$  pakai

Nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\text{min}}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  adalah 0,002.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,000299 \times 1000 \times 205 \\ &= 61,388 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 205 \\ &= 460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 460 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,5398 \times 1000}{460} \\ &= 170,7387 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\ &= 125 < 3 \times 230 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\ &= 125 < 450 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\ &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \end{aligned}$$

$$= \frac{78,540 \times 1000}{125}$$

$$= 628,3185 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 >$   $460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai satu arah (PL4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Penulangan Daerah Lapangan

$$\text{Mu (+)} = 4,065 \text{ kNm}$$

$$= 4065333,25 \text{ Nmm}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\text{Mn (+)} = \frac{\text{Mu}}{\emptyset}$$

$$= \frac{4065333,25}{0,9}$$

$$= 4,517 \text{ kNm}$$

$$= 4517036,94 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$R_n = \frac{\text{Mn}}{b d^2}$$

$$= \frac{4517036,94}{1000 \times 205^2}$$

$$= 0,107 \text{ Mpa}$$

$$P \text{ Perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right]$$

$$= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,107)}{420}\right)\right]$$

$$= 0,000257$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\min}$  pakai

Nilai  $\rho_{\min}$  pakai merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\min}$  pakai adalah 0,002.

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,000257 \times 1000 \times 205$$

$$= 52,596 \text{ mm}^2$$

As min

$$= 0,002 \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 205$$

$$= 460 \text{ mm}^2$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
460 mm<sup>2</sup>

$$\text{As1 tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$= 78,5398 \text{ mm}^2$$

S perlu

$$= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}}$$

$$= \frac{78,5398 \times 1000}{460}$$

$$= 170,7387 \text{ mm}^2$$

S pakai

$$= 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI  
2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

Cek

$$= S \text{ pakai} < 3h$$

$$= 125 < 3 \times 230$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

Cek

$$= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

Cek

$$= \text{As pakai baru}$$

$$= \frac{\text{As1} \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{78,5398 \times 1000}{125}$$

$$= 628,3185 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai satu arah (PL4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai Dua Arah (PL1)

### a. Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
<i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'_c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
$b_{B1}$	= 350 mm
$h_{B1}$	= 600 mm
$b_{B2}$	= 250 mm
$h_{BA1}$	= 400 mm
$h_{kolom} = b_{kolom}$	= 600 mm
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 4000 mm
Bentang bersih $L_y$	$= L_y - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right)$ $= 4500 - \left(\frac{1}{2} \times 350\right) - \left(\frac{1}{2} \times 350\right)$ $= 4150 \text{ mm}$
Bentang bersih $L_x$	$= L_x - \left(\frac{1}{2} \times b_{B2}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{BA1}\right)$ $= 4000 - \left(\frac{1}{2} \times 250\right) - \left(\frac{1}{2} \times 250\right)$ $= 3750 \text{ mm}$
Jenis arah pelat	$= \frac{L_y}{L_x}$ $= \frac{4,5}{4}$ $= 1,13$

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  kurang dari dua (2) sehingga pelat lantai PL1 tersebut termasuk jenis pelat lantai dua arah.

### b. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Panjang

## 1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\
 &= \frac{14,229 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\
 &= 137,842 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\
 &= \frac{14,229 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\
 &= 100,045 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah.  $L_2$  bentang panjang = 4,5 m.  $L_1$  bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 36 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 37 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$\begin{aligned}
 Y1 &= 0,9 \\
 Y2 &= 0,45 \\
 X &= \frac{Lx}{Ly} \\
 &= \frac{4}{4,5} \\
 &= 0,888 \\
 X1 &= 0,5 \\
 X2 &= 2 \\
 M (-) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (+) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (-) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (-) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 2) \text{ Panil eksterior (tepi)} \\
 M_{0,ve,eksterior} \text{ kolom} &= 0,65 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} \\
 &= 0,65 \times 100,045 \times 0,783 \\
 &= 50,940 \text{ kNm} \\
 3) \text{ Panil interior (tengah)} \\
 M_{0,ve,eksterior} \text{ kolom} &= 0,35 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} \\
 &= 0,35 \times 100,045 \times 0,783 \\
 &= 27,429 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL1)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 ds &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 50,940 \text{ kNm} \\
 &= 50939737,18 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{50939737,18}{0,9} \\
 &= 56,600 \text{ kNm} \\
 &= 56599707,98 \text{ Nmm} \\
 b &= l_y \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{56599707,98}{2250 \times 203,5^2} \\
 &= 0,607 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,607)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00147
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,00147 \times 2250 \times 203,5 \\
 &= 671,963 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{1035} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{As1 \times b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{125} \\
 &= 2389,181 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As$  pakai baru  $>$   $As$  pakai yaitu  $2389,181 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

2) Penulangan daerah lapangan

$$\begin{aligned}
 Ds &= Pb + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm} \\
 Mu (+) &= 27,429 \text{ kNm} \\
 &= 27429089,25 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 Mn (+) &= \frac{Mu}{\emptyset} \\
 &= \frac{27429089,25}{0,9} \\
 &= 30,477 \text{ kNm} \\
 &= 30476765,84 \text{ Nmm} \\
 b &= ly \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 \times fc} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{30476765,84}{2250 \times 203,5^2} \\
 &= 0,327 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,327)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000785 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000785 \times 2250 \times 203,5 \\
 &= 359,366 \text{ mm}^2 \\
 A_s_{\text{min}} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 A_s1_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_s1 \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2250}{1035} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{132,732 \times 2250}{125}$$

$$= 2389,181 \text{ mm}^2$$

Karena nilai As pakai baru  $>$  As pakai yaitu  $2389,181 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

d. Direct Design Method (DDM) PL1 pada Bentang Pendek

1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek (Lx)

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\ &= \frac{14,229 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\ &= 137,842 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang (Ly)

$$\begin{aligned} M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\ &= \frac{14,229 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\ &= 100,045 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefisien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. L2 bentang panjang = 4,5 m. L1 bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 38 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1l_2/l_1$	$l_2/l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 39 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1l_2/l_1$	$l_2/l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$X = \frac{Lx}{Ly}$$

$$= \frac{4}{4,5}$$

$$= 0,888$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom}$$

$$= 1 - 0,783$$

$$= 0,217$$

$$\begin{aligned}
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217
 \end{aligned}$$

## 2) Panil eksterior (tepi)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.65 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(+)\text{ lajur} \\
 &\text{kolom} \\
 &= 0.65 \times 137,842 \times 0,783 \\
 &= 56,124 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## 3) Panil interior (tengah)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.35 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(-)\text{ lajur} \\
 &\text{tengah} \\
 &= 0.35 \times 137,842 \times 0,217 \\
 &= 15,524 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

## e. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Lantai (PL1)

Perhitungan penulangan pada pelat lantai dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

## 1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_s &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 70,185 \text{ kNm} \\
 &= 70184769,89 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{70184769,89}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 77,983 \text{ kNm} \\
&= 77983077,66 \text{ Nmm} \\
b &= l_x \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
&= 2000 \text{ mm} \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
&= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
&= 19,765 \\
R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
&= \frac{77983077,66}{2000 \times 203,5^2} \\
&= 0,942 \text{ Mpa} \\
P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
&= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,942)}{420}\right)\right] \\
&= 0,00229 \\
P_{\text{min}} &= 0,002 \\
A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
&= 0,00229 \times 2000 \times 203,5 \\
&= 933,565 \text{ mm}^2 \\
A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
&= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
&= 920 \text{ mm}^2 \\
A_s \text{ pakai} & \\
\text{Nilai terbesar dari } A_s \text{ perlu dan } A_s \text{ min. Sehingga digunakan } A_s \text{ min} & \\
920 \text{ mm}^2 & \\
A_s \text{1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
&= 132,732 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{920} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{125} \\
 &= 2123,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $2123,717 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

## 2) Penulangan daerah lapangan

$$\begin{aligned}
 ds &= Pb + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 13 \\
 &= 26.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 26.5 \\
 &= 203.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu (+) &= 37,792 \text{ kNm} \\
 &= 30220727,84 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (+) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{30220727,84}{0,9} \\
 &= 37791799,17 \text{ Nmm} \\
 b &= l_x \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{37791799,17}{2000 \times 203,5^2} \\
 &= 0,507 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,507)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00122 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,00122 \times 2000 \times 203,5 \\
 &= 497,299 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
 &= 920 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ pakai} & \\
 \text{Nilai terbesar dari } A_s \text{ perlu dan } A_s \text{ min. Sehingga digunakan } A_s \text{ min} & \\
 920 \text{ mm}^2 & \\
 A_s1 \text{ tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2 \\
 \text{S perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{920} \\
 &= 288,548 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}} \\
 &= \frac{132,732 \times 2000}{125} \\
 &= 2123,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $2123,717 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat lantai dua arah (PL1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D13-125**.

#### 5.7.4 Perhitungan Momen Pelat Atap Konvensional

Desain tulangan pada pelat dilakukan berdasarkan gaya-gaya yang bekerja, sehingga mampu menopang beban mati dan beban hidup. Dalam perhitungan tulangan pelat, baik untuk pelat atap maupun pelat lantai, diasumsikan bahwa setiap pelat dibatasi oleh balok di sekelilingnya. Pada pelat atap, terdapat dua metode perhitungan tulangan, yaitu untuk pelat satu arah dan pelat dua arah. Seperti yang dijelaskan berikut ini.

## 1) Perhitungan Tulangan Pelat Atap Satu Arah (PA4)

## a. Data Pelat Konvensional

H pelat	= 230 mm
Kuat tekan beton ( $f'c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 2000 mm
Jenis arah pelat	= $\frac{L_y}{L_x}$
	= $\frac{4500}{2000}$
	= 2250 mm
	= 2,25 m

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  lebih dari dua (2) sehingga pelat atap PA4 tersebut termasuk jenis pelat atap satu arah.

## b. Perhitungan Momen Desain

$Q_u$ pelat atap	= 9,637 kN/m <sup>2</sup>
$M_u$ tumpuan	= $\frac{1}{12} \times Q_u \times L_x^2$
	= $\frac{1}{12} \times 9,637 \times 2^2$
	= 3,212 kNm
$M_u$ lapangan	= $\frac{1}{14} \times Q_u \times L_x^2$
	= $\frac{1}{14} \times 9,637 \times 2^2$
	= 2,753 kNm
$D_{pokok}$	= 10D
$D_{bagi}$	= 8P
Pb	= 20 mm
$H_{pelat}$	= 230 mm
ds	= $Pb + \frac{D_{pokok}}{2}$
	= $20 + \frac{10}{2}$
	= 25 mm

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 b &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA4)

Perhitungan penulangan pada pelat atap dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u (-) &= 3,212 \text{ kNm} \\
 &= 3212222,12 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{3212222,12}{0,9} \\
 &= 3,569 \text{ kNm} \\
 &= 3212222,12 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{3212222,12}{1000 \times 205^2} \\
 &= 0,085 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ Perlu} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,085)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000203
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\min}$  pakai

Nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\text{min}}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\text{min pakai}}$  adalah 0,002.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,000203 \times 1000 \times 205 \\ &= 41,537 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 205 \\ &= 460 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 460 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,5398 \times 1000}{460} \\ &= 170,7387 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\ &= 125 < 3 \times 230 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\ &= 125 < 450 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\ &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \end{aligned}$$

$$= \frac{78,540 \times 1000}{125}$$

$$= 628,3185 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat atap satu arah (PA4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Penulangan Daerah Lapangan

$$M_u (+) = 2,753 \text{ kNm}$$

$$= 2753333,25 \text{ Nmm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$M_n (+) = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{2753333,25}{0,9}$$

$$= 3,059 \text{ kNm}$$

$$= 3059259,16 \text{ Nmm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c}$$

$$= \frac{420}{0,85 \times 25}$$

$$= 19,765$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2}$$

$$= \frac{3059259,16}{1000 \times 205^2}$$

$$= 0,073 \text{ Mpa}$$

$$P \text{ Perlu} = \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right]$$

$$= \left(\frac{1}{19,7647}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,7647 \times 0,073)}{420}\right)\right]$$

$$= 0,000174$$

$$\rho_{\min} = 0,002$$

$\rho_{\min}$  pakai

Nilai  $\rho_{\min}$  pakai merupakan nilai terbesar dari  $\rho_{\min}$  dan  $\rho_{\text{perlu}}$ . Sehingga nilai  $\rho_{\min}$  pakai adalah 0,002.

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,000174 \times 1000 \times 205$$

$$= 35,593 \text{ mm}^2$$

As min

$$= 0,002 \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 205$$

$$= 460 \text{ mm}^2$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
460 mm<sup>2</sup>

$$\text{As1 tulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$= 78,5398 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ perlu} = \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}}$$

$$= \frac{78,5398 \times 1000}{460}$$

$$= 170,7387 \text{ mm}^2$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Cek syarat dilakukan dengan kedua ketentuan berdasarkan SNI  
2847-2019 pasal 9.6.1.2 dan pasal 10.6.4 yaitu

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 3h$$

$$= 125 < 3 \times 230$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$= \frac{\text{As1} \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{78,5398 \times 1000}{125}$$

$$= 628,3185 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_s$  pakai baru  $>$   $A_s$  pakai yaitu  $628,3185 \text{ mm}^2 > 460 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap satu arah (PA4) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Perhitungan Tulangan Pelat Atap Dua Arah (PA1)

### a. Data Pelat *Bubble Deck*

H pelat	= 230 mm
<i>Bubble Deck</i> (diameter bola)	= 180 mm
Kuat tekan beton ( $f'_c$ )	= 25 Mpa
Kuat tarik baja ( $f_y$ )	= 420 Mpa
$b_{B1}$	= 350 mm
$h_{B1}$	= 600 mm
$b_{B2}$	= 250 mm
$h_{BA1}$	= 400 mm
$h_{kolom} = b_{kolom}$	= 600 mm
Bentang panjang pelat ( $L_y$ )	= 4500 mm
Bentang pendek pelat ( $L_x$ )	= 4000 mm
Bentang bersih $L_y$	$= L_y - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{B1}\right)$ $= 4500 - \left(\frac{1}{2} \times 350\right) - \left(\frac{1}{2} \times 350\right)$ $= 4150 \text{ mm}$
Bentang bersih $L_x$	$= L_x - \left(\frac{1}{2} \times b_{B2}\right) - \left(\frac{1}{2} \times b_{BA1}\right)$ $= 4000 - \left(\frac{1}{2} \times 250\right) - \left(\frac{1}{2} \times 250\right)$ $= 3750 \text{ mm}$
Jenis arah pelat	$= \frac{L_y}{L_x}$ $= \frac{4,5}{4}$ $= 1,13$

Nilai perbandingan  $L_y$  dengan  $L_x$  kurang dari dua (2) sehingga pelat atap PA1 tersebut termasuk jenis pelat atap dua arah.

### b. Direct Design Method (DDM) PA1 pada Bentang Panjang

## 1) Analisis Pada Srip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek ( $L_x$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8} \\
 &= \frac{9,637 \times 4,5 \times 4,15^2}{8} \\
 &= 42,253 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang ( $L_y$ )

$$\begin{aligned}
 M_0 &= \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8} \\
 &= \frac{9,637 \times 4 \times 3,75^2}{8} \\
 &= 22,751 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefesien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah.  $L_2$  bentang panjang = 4,5 m.  $L_1$  bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

**Tabel 5. 40 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

**Tabel 5. 41 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom**

$a_1 l_2 / l_1$	$l_2 / l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$\begin{aligned}
 Y1 &= 0,9 \\
 Y2 &= 0,45 \\
 X &= \frac{Lx}{Ly} \\
 &= \frac{4}{4,5} \\
 &= 0,888 \\
 X1 &= 0,5 \\
 X2 &= 2 \\
 M (-) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (+) \text{ lajur kolom} &= 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5} \\
 &= 0,9 - 0,1166 \\
 &= 0,783 \\
 M (-) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (-) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217 \\
 2) \text{ Panil eksterior (tepi)} \\
 M_{0,ve,eksterior} \text{ kolom} &= 0,65 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} \\
 &= 0,65 \times 100,045 \times 0,783 \\
 &= 50,940 \text{ kNm} \\
 3) \text{ Panil interior (tengah)} \\
 M_{0,ve,eksterior} \text{ kolom} &= 0,35 \times M_o \text{ bentang panjang} \times M(+) \text{ lajur} \\
 &= 0,35 \times 100,045 \times 0,783 \\
 &= 27,429 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA1)

Perhitungan penulangan pada pelat atap dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 ds &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 M_u (-) &= 42,253 \text{ kNm} \\
 &= 42252555,909 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{42252555,909}{0,9} \\
 &= 46,947 \text{ kNm} \\
 &= 46947284,343 \text{ Nmm} \\
 b &= l_y \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{46947284,343}{2250 \times 205^2} \\
 &= 0,497 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,497)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00120
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{min}} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,00120 \times 2250 \times 205 \\
 &= 551,788 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min 1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2250}{1035} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{As_1 \times b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2250}{125} \\
 &= 1413,717 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As$  pakai baru  $>$   $As$  pakai yaitu  $1413,717 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

2) Penulangan daerah lapangan

$$\begin{aligned}
 D_s &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\
 &= 25 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm} \\
 M_u (+) &= 22,751 \text{ kNm} \\
 &= 22751376,259 \text{ Nmm} \\
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (+) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{27429089,259}{0,9} \\
 &= 25,279 \text{ kNm} \\
 &= 25279306,954 \text{ Nmm} \\
 b &= l_y \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4500 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2250 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{25279306,959}{2250 \times 205^2} \\
 &= 0,267 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,267)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000641 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000641 \times 2250 \times 205 \\
 &= 295,475 \text{ mm}^2 \\
 A_s_{\text{min}} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2250 \times 230 \\
 &= 1035 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
1035 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 A_s1_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_s1 \times b}{A_s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2250}{1035} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S_{\text{pakai}} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} = S \text{ pakai} < 450 \text{ mm}$$

$$= 125 < 450$$

$$= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$$

$$\text{Cek} = \text{As pakai baru}$$

$$= \frac{As1 \times b}{S \text{ pakai}}$$

$$= \frac{78,540 \times 2250}{125}$$

$$= 1413,717 \text{ mm}^2$$

Karena nilai As pakai baru  $>$  As pakai yaitu  $1413,717 \text{ mm}^2 > 1035 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

#### d. Direct Design Method (DDM) PA1 pada Bentang Pendek

##### 1) Analisis Pada Strip Luar

Momen Terfaktor Bentang Pendek (Lx)

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_y \times L_n x^2}{8}$$

$$= \frac{9,637 \times 4,5 \times 4,15^2}{8}$$

$$= 38,813 \text{ kNm}$$

Momen Terfaktor Bentang Panjang (Ly)

$$M_0 = \frac{Q_u \times L_x \times L_n y^2}{8}$$

$$= \frac{9,637 \times 4 \times 3,75^2}{8}$$

$$= 20,899 \text{ kNm}$$

Momen statis terfaktor mengacu pada SNI-2847-2019 pasal (8.10.3.2)

Interpolasi Koefisien Momen

Mengacu pada SNI - 2847 - 2019 tabel 8.10.5.1 dan 8.10.5.5 untuk pelat 2 arah. L2 bentang panjang = 4,5 m. L1 bentang pendek = 4 m, maka  $4,5/4 = 1,125$  m diambil 0,5 dan 2,0. Berikut perhitungan rumus interpolasi linier.

Tabel 5. 42 Bagian Momen Negatif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom

$a_1l_2/l_1$	$l_2/l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,75	0,75	0,75
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Tabel 5. 43 Bagian Momen Positif Interior  $M_u$  di Lajur Kolom

$a_1l_2/l_1$	$l_2/l_1$		
	0,5	1,0	2,0
0	0,60	0,60	0,60
$\geq 1,0$	0,90	0,75	0,45

(Sumber: SNI 2847 – 2019)

Diketahui :

$$M_{0,ve,interior}^- = 0,90$$

$$M_{0,ve,interior}^+ = 0,45$$

$$Y1 = 0,9$$

$$Y2 = 0,45$$

$$X = \frac{Lx}{Ly}$$

$$= \frac{4}{4,5}$$

$$= 0,888$$

$$X1 = 0,5$$

$$X2 = 2$$

$$M (-) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (+) \text{ lajur kolom} = 0,9 + \frac{(0,88-0,5) \times (0,45 - 0,9)}{2 - 0,5}$$

$$= 0,9 - 0,1166$$

$$= 0,783$$

$$M (-) \text{ lajur tengah} = 1 - M (-) \text{ lajur kolom}$$

$$= 1 - 0,783$$

$$= 0,217$$

$$\begin{aligned}
 M (+) \text{ lajur tengah} &= 1 - M (+) \text{ lajur kolom} \\
 &= 1 - 0,783 \\
 &= 0,217
 \end{aligned}$$

2) Panil eksterior (tepi)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.65 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(+)\text{ lajur} \\
 &\text{kolom} \\
 &= 0.65 \times 76,228 \times 0,783 \\
 &= 38,813 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3) Panil interior (tengah)

$$\begin{aligned}
 M_{0,ve,eksterior} &= 0.35 \times M_o \text{ bentang pendek} \times M(-)\text{ lajur} \\
 &\text{tengah} \\
 &= 0.35 \times 76,228 \times 0,217 \\
 &= 20,899 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Pelat Atap (PA1)

Perhitungan penulangan pada pelat atap dibagi menjadi 2 bagian, yaitu penulangan lapangan dan penulangan tumpuan. Adapun langkah-langkah perhitungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

1) Penulangan daerah tumpuan

$$\begin{aligned}
 d_s &= P_b + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u (-) &= 38,813 \text{ kNm} \\
 &= 38812520,738 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\emptyset \text{ lentur} = 0,9$$

$$\begin{aligned}
 M_n (-) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{38812520,738}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 43,125 \text{ kNm} \\
 &= 43125023,042 \text{ Nmm} \\
 b &= l \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 \times fc} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 Rn &= \frac{Mn (-)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{43125023,042}{2000 \times 205^2} \\
 &= 0,513 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times Rn)}{fy}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,513)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,00124 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 As_{\text{perlu}} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,00124 \times 2000 \times 205 \\
 &= 507,069 \text{ mm}^2 \\
 As_{\text{min}} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
 &= 920 \text{ mm}^2 \\
 As_{\text{pakai}} & \\
 \text{Nilai terbesar dari } As_{\text{perlu}} \text{ dan } As_{\text{min}}. \text{ Sehingga digunakan } As_{\text{min}} \\
 920 \text{ mm}^2 \\
 As1_{\text{tulangan}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 132,732 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S \text{ perlu} &= \frac{As1 \times b}{As \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2000}{920} \\
 &= 170,739 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S \text{ pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 3h \\
 &= 125 < 3 \times 230 \\
 &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= S \text{ pakai} < 450 \text{ mm} \\
 &= 125 < 450 \\
 &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek} &= As \text{ pakai baru} \\
 &= \frac{As1 \times b}{s \text{ pakai}} \\
 &= \frac{78,540 \times 2000}{125} \\
 &= 1256,637 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $As \text{ pakai baru} > As \text{ pakai}$  yaitu  $1256,637 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah tumpuan pelat lantai dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

## 2) Penulangan daerah lapangan

$$\begin{aligned}
 ds &= Pb + \frac{1}{2} D \\
 &= 20 + \frac{1}{2} \times 10 \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - ds \\
 &= 230 - 25 \\
 &= 205 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu (+) &= 20,899 \text{ kNm} \\
 &= 20899049,628 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset \text{ lentur} &= 0,9 \\
 M_n (+) &= \frac{M_u}{\emptyset} \\
 &= \frac{20899049,628}{0,9} \\
 &= 23,221 \text{ kNm} \\
 &= 23221166,253 \text{ Nmm} \\
 b &= l_x \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 4000 \times \frac{1}{2} \times 1000 \\
 &= 2000 \text{ mm} \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\
 &= 19,765 \\
 R_n &= \frac{M_n (+)}{b \times d^2} \\
 &= \frac{23221166,253}{2000 \times 205^2} \\
 &= 0,276 \text{ Mpa} \\
 P_{\text{perlu}} &= \left(\frac{1}{m}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2m \times R_n)}{f_y}\right)\right] \\
 &= \left(\frac{1}{19,765}\right) \times \left[1 - \left(\frac{1 - (2 \times 19,765 \times 0,276)}{420}\right)\right] \\
 &= 0,000662 \\
 P_{\text{min}} &= 0,002 \\
 A_s \text{ perlu} &= (\rho_{\text{perlu}}) \times b \times d \\
 &= 0,000662 \times 2000 \times 205 \\
 &= 271,476 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min} &= (\rho_{\text{min}}) \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 2000 \times 230 \\
 &= 920 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

As pakai

Nilai terbesar dari As perlu dan As min. Sehingga digunakan As min  
 $920 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{As1 tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{pokok}}^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 78,540 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S perlu} &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{As pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 2000}{920} \\ &= 170,739 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{S pakai} = 125 \text{ mm}^2$$

Cek syarat

Berikut beberapa cek syarat.

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 3h \\ &= 125 < 3 \times 230 \\ &= 690 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{S pakai} < 450 \text{ mm} \\ &= 125 < 450 \\ &= 450 \text{ mm}^2 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} &= \text{As pakai baru} \\ &= \frac{\text{As1} \times b}{\text{S pakai}} \\ &= \frac{78,540 \times 2000}{125} \\ &= 1256,637 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena nilai As pakai baru  $>$  As pakai yaitu  $1256,637 \text{ mm}^2 > 920 \text{ mm}^2$ , maka perhitungan penulangan pada daerah lapangan pelat atap dua arah (PA1) sudah OK dan penulangan yang dipakai adalah **D10-125**.

### 5.7.5 Rekapitulasi Momen dan Penulangan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional

Terdapat beberapa rekapitulasi momen pada pelat *Bubble Deck* dan pelat konvensional. Berikut untuk hasil rekapitulasi di bawah ini.

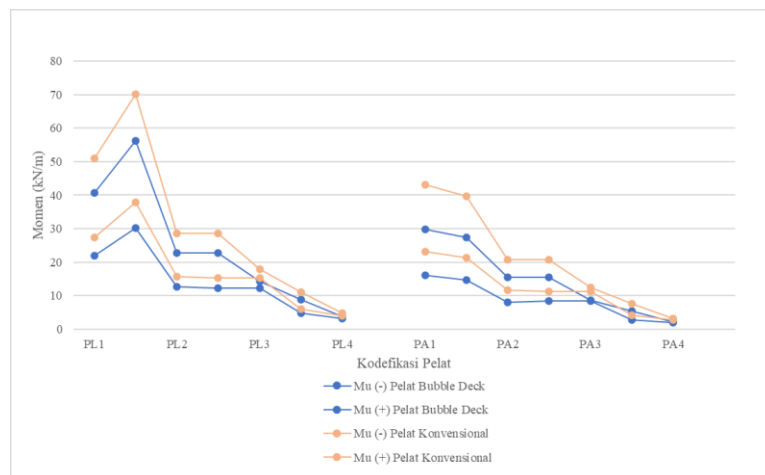
#### 1) Rekapitulasi Momen Pelat

Dalam analisis pelat, akan disajikan data mengenai momen pada tabel berikut.

**Tabel 5. 44 Perbandingan Momen Pelat  
*Bubbledeck* dan Konvensional**

Kodefikasi		Pelat Konvensional		Pelat <i>Bubbledeck</i>	
		Mu (-) <i>kN/m</i>	Mu (+) <i>kN/m</i>	Mu (-) <i>kN/m</i>	Mu (+) <i>kN/m</i>
PL1	Ly	50.940	27.429	40.735	21.934
	Lx	70.185	37.792	56.124	30.221
PL2	Ly	28.526	15.725	22.811	12.575
	Lx	28.526	15.360	22.811	12.283
PL3	Ly	17.972	15.360	14.371	12.283
	Lx	11.143	6.000	8.911	4.798
PL4	Ly	4.743	4.065	3.793	3.251
	Lx				
PA1	Ly	43.149	23.234	29.788	16.040
	Lx	39.636	21.343	27.363	14.734
PA2	Ly	20.709	11.713	15.567	8.086
	Lx	20.709	11.151	15.567	8.382
PA3	Ly	12.430	11.151	8.581	8.382
	Lx	7.707	4.150	5.321	2.865
PA4	Ly	3.212	2.753	2.265	1.941
	Lx				

Berikut merupakan grafik perbandingan momen pelat *Bubble Deck* dan konvensional.



**Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan Momen Pelat  
*Bubbledeck* dan Konvensional**

Perbedaan momen pada pelat konvensional dipengaruhi oleh beban ultimate dengan kombinasi  $Q_u = 1,2q_d + 1,6q_l$ , di mana beban mati lantai

(qd) sebesar **14,229 kN/m<sup>2</sup>** dan beban mati atap (qd) sebesar **6,921 kN/m<sup>2</sup>**. Sementara itu, beban hidup lantai (ql) sebesar **3,83 kN/m<sup>2</sup>** dan beban hidup atap (ql) sebesar **0,96 kN/m<sup>2</sup>**. Pada pelat bubbledeck, beban ultimate juga dihitung dengan kombinasi  $Q_u = 1,2q_d + 1,6q_l$ , namun dengan nilai beban mati lantai (qd) yang lebih rendah, yaitu **11,378 kN/m<sup>2</sup>**, dan beban mati atap (qd) sebesar **6,794 kN/m<sup>2</sup>**. Adapun beban hidup lantai (ql) dan beban hidup atap (ql) tetap sama, yaitu masing-masing **3,83 kN/m<sup>2</sup>** dan **0,96 kN/m<sup>2</sup>**.

Berdasarkan data di atas, dapat dilihat bahwa momen pelat *Bubbledeck* memiliki nilai momen yang lebih rendah dibandingkan dengan pelat konvensional. Hal ini disebabkan oleh desain pelat *Bubbledeck* yang mengurangi jumlah beton yang digunakan di bagian tengah pelat dengan menggunakan bola-bola kosong (*bubble*).

## 2) Rekapitulasi Penulangan Pelat

Tabel 5. 45 merupakan perbandingan penulangan pelat *Bubble Deck* dan Konvensional.

**Tabel 5. 45 Perbandingan Penulangan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Penulangan Pelat Lantai <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional				
Kode Pelat	Ly (mm)	Lx (mm)	Mutu Beton f'c (Mpa)	Mutu Baja fy (Mpa)
PL1	D13-125	D13-125	25	420
PL2	D13-125	D13-125		
PL3	D13-125	D13-125		
PL4	D10-125	D10-125		
Penulangan Pelat Atap <i>Bubble Deck</i> dan Konvensional				
Kode Pelat	Ly (mm)	Lx (mm)	Mutu Beton f'c (Mpa)	Mutu Baja fy (Mpa)
PA1	D10-125	D10-125	25	420
PA2	D10-125	D10-125		
PA3	D10-125	D10-125		
PA4	D10-125	D10-125		

## 5.8 Desain Tulangan Lentur Balok Bangunan dengan Pelat *Bubble Deck*

Pada perhitungan kali ini, kami mengambil B1X lantai 1-3 sebagai contoh. Perhitungan untuk balok lainnya pada dasarnya sama, hanya terdapat perbedaan pada nilai momen, penentuan dimensi, serta jumlah tulangan yang digunakan. Momen yang digunakan dalam perhitungan desain lentur merupakan hasil dari redistribusi dan desain momen itu sendiri.

### 5.8.1 Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan

Diketahui data – data sebagai berikut.

$F_y$	= 420 Mpa
$F'_c$	= 25 Mpa
$M_u +$	= 213,714 kNm
$M_u -$	= 278,253 kNm
$E_s$	= 200000
$\epsilon_c$	= 0,003
$\Phi$	= 0,9
$\emptyset$ Pokok	= 16 mm
$\emptyset$ Sengkang	= 10 mm
Penutup Beton	= 40 mm
Jarak Vertikal Tulangan	= 25 mm
<i>Overstrength Factor</i>	= 1,25

Karena yang akan dihitung adalah balok pada daerah tumpuan maka yang ditinjau adalah **momen negatif**.

#### 1. Pengecekan Dimensi Balok

Penentuan dimensi balok dilakukan dengan perhitungan – perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\ &= \frac{278,253}{0,9} \\ &= 309,170 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{F_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{F_y}{0,85 \times F'_c} \\ &= \frac{420}{0,85 \times 25} \\ &= 19,765 \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 17 \leq F_c \leq 28$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \\
 \rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \\
 &= \frac{0,85}{19,765} \times \frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \\
 &= 0,0253 \\
 R_b &= \rho_b \times F_y \times (1 - (0,5 \times \rho_b \times m)) \\
 &= 0,0253 \times 420 \times (1 - (0,5 \times 0,0253 \times 19,765)) \\
 &= 7,980 \text{ Mpa} \\
 R_m &= 0,75 \times R_b \\
 &= 0,75 \times 7,980 \\
 &= 5,985 \text{ Mpa} \\
 B_{\text{perlu}} &= \sqrt[3]{\frac{M_n}{4 \times R_m}} \\
 &= \sqrt[3]{\frac{309,170}{4 \times 5,985}} \\
 &= 234,616 \text{ mm} \\
 H_{\text{perlu}} &= 2B \\
 &= 2 \times 234,616 \\
 &= 469,232 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Adapun untuk syarat b dan h pakai adalah harus lebih besar dari B dan H perlu. Maka diambil dimensi untuk Balok Induk Interior Lantai 1- 3 adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{B \text{ pakai} = 350 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{H \text{ pakai} = 600 \text{ mm}}$$

## 2. Komponen Tulangan Sebelah

Adapun komponen untuk mencari tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan -perhitungan berikut ini.

### d. Cek syarat $M_u +$

Pada BI 1 Lantai 1-3 diketahui bahwasannya nilai momen negatif dan positif sebagai berikut.

$$M_u - = 278,253 \text{ kNm}$$

$$50\% M_u - = 50\% \times 278,253$$

$$= 139,126 \text{ kNm}$$

$$M_u + = 213,714 \text{ kNm}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa  $M_u+ \geq 50\% M_u-$  dan sudah memenuhi persyaratan SPRMK pada daerah tumpuan dan diambil nilai  $c$  sebesar 0,2.

e. Kontrol Tegangan Baja

$$c \text{ pakai} = 0,2$$

$$R_1 = c \times R_b$$

$$= 0,2 \times 7,980$$

$$= 1,596$$

$$M_1 = R_1 \times B_{\text{pakai}} \times H_{\text{pakai}}^2$$

$$= 1,596 \times 350 \times 600^2$$

$$= 20109600 \text{ Nmm}$$

$$d_s \text{ asumsi} = P_b + \emptyset \text{Sengkang} + \frac{\emptyset P_{\text{pokok}}}{2}$$

$$= 40 + 10 + \frac{16}{2}$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$d = H - d_s$$

$$= 600 - 58$$

$$= 542 \text{ mm}$$

f. Mencari Rasio Tulangan ( $\rho$ ) Sebelah

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$\phi M_n = b \times d^2$$

$$= 350 \times 542^2$$

$$= 102817400$$

$$\phi K_n = \frac{M_u - \text{tumpuan}}{\phi M_n}$$

$$= \frac{278253200}{102817400}$$

$$= 2,706 \text{ Mpa}$$

$$\phi = \frac{\phi}{0,9}$$

$$= \frac{2,706}{0,9}$$

$$= 3,007 \text{ Mpa}$$

$$K_n = \left[ 1 - \frac{p \times f_y}{1,7 \times f_c} \right] \times \rho \times f_y$$

$$\left[ \frac{3,007}{\rho \times 420} \right] = \left[ 1 - \frac{p \times 420}{1,7 \times 25} \right]$$

$$\left[ \frac{3,007}{\rho \times 420} \right] = \left[ \frac{42,5 - \rho \times 420}{42,5} \right]$$

$$\left[ \frac{3,007 \times 42,5}{\rho \times 420} \right] = 42,5 - \rho \times 420$$

$$\left[ \frac{127,797}{\rho \times 420} \right] = 42,5 - \rho \times 420$$

$$127,797 = (42,5 \times (\rho \times 420)) - ((\rho \times 420) \times (\rho \times 420))$$

$$127,797 = (17850 \times \rho) - (176400\rho^2)$$

$$\rho = -176400\rho^2 + 17850 \times \rho - 127,797$$

Maka menggunakan rumus abc persamaan kuadrat didapatkan

$$a = -176400$$

$$b = 17850$$

$$c = -127,797$$

Mencari nilai  $\rho$  dengan persamaan kuadrat

$$\begin{aligned} \rho 1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-17850 + \sqrt{17850^2 - 4 \times -176400 \times -127,797}}{2 \times (-176400)} \\ &= 0,00775 \end{aligned}$$

$$= 0,78\%$$

$$\begin{aligned} \rho 2 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-17850 - \sqrt{17850^2 - 4 \times -176400 \times -128,507}}{2 \times (-176400)} \end{aligned}$$

$$= 0,09344$$

$$= 9,3\%$$

Mencari persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\begin{aligned} \rho \text{ min } 1 &= \frac{(0,25 \times \sqrt{f_c})}{f_y} \\ &= \frac{(0,25 \times \sqrt{25})}{420} \\ &= 0,00298 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,30\% \\
 \rho \text{ min 2} &= \frac{0,25}{f_c} \\
 &= \frac{0,25}{25} \\
 &= 0,00333 \\
 &= 0,33\% \\
 \rho \text{ max } (\epsilon_t = 0,004) &= \left(0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t}\right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25 \times 0,85}{420}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,004}\right) \\
 &= 0,01843 \\
 &= 1,89\% \\
 \rho (\epsilon_t = 0,005) &= \left(0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t}\right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25 \times 0,85}{420}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,005}\right) \\
 &= 0,01613 \\
 &= 1,61\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

1)  $\rho 1$

Syarat 1

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ min 1} \\
 &= 0,00775 > 0,00298 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Syarat 2

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ min 2} \\
 &= 0,00775 > 0,00333 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Syarat 3

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ max} \\
 &= 0,00775 > 0,01843 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

2)  $\rho 2$

Syarat 1

$$\begin{aligned}
 &= \rho 2 > \rho \text{ min 1} \\
 &= 0,09344 > 0,00298 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Syarat 2

$$\begin{aligned} &= \rho_2 > \rho_{\max} \\ &= 0,09344 > 0,01843 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Syarat 3

$$\begin{aligned} &= \rho_2 > \rho_{\max} \\ &= 0,09344 < 0,01843 \text{ (tidak ok)} \end{aligned}$$

3)  $\rho$  ( $\epsilon_t = 0,005$ )

Syarat 1

$$\begin{aligned} &= \rho(\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 1} \\ &= 0,01613 > 0,00298 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Syarat 2

$$\begin{aligned} &= \rho(\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 2} \\ &= 0,01613 > 0,00333 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Syarat 3

$$\begin{aligned} &= \rho(\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\max} \\ &= 0,01613 > 0,01843 \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Karena  $\rho_1$  memenuhi ketiga syarat yaitu  $\rho_1 > \rho_{\min 1} > \rho_{\min 2} > \rho_{\max}$  yaitu  $0,00775 > 0,00298 > 0,00333 > 0,01843$  maka digunakan  $\rho_1 = 0,00775$  sebagai rasio tulangan yang digunakan.

### 3. Kebutuhan Tulangan Sebelah

Adapun kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Luas perlu total} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00775 \times 350 \times 542 \\ &= 1470,857 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 tulangan} &= 0,25 \times \pi \times dpokok^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan Perlu} &= \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}} \\ &= \frac{1470,857}{201,062} \end{aligned}$$

$$= 7,315 \approx 8 \text{ buah}$$

Maka untuk jumlah tulangan sebelah adalah 8 buah.

#### 4. Merubah Parameter Kebutuhan dan Cek Kondisi Penampang

Adapun parameter kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$ds \quad \text{Vertikal Tul.)} = Pb + \emptyset \text{Sengkang} + \emptyset \text{Pokok} + (0,5 \times \text{Jarak})$$

$$= 40 + 10 + 16 + (0,5 \times 25)$$

$$= 78,5 \text{ mm}$$

$$d = H - ds$$

$$= 600 - 78,5$$

$$= 521,5 \text{ mm}$$

$$\text{Luas perlu total baru} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00775 \times 350 \times 521,5$$

$$= 1415,225 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan Perlu} = \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}}$$

$$= \frac{1415,225}{201,062}$$

$$= 7,039 \approx 8 \text{ buah}$$

$$\text{Luas perlu total baru 1} = \text{Jumlah tulangan Perlu} \times \text{Luas 1 tulangan}$$

$$= 8 \times 201,062$$

$$= 1608,495 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ baru} = \frac{\text{Luas perlu total baru 1}}{b \times d}$$

$$= \frac{1608,495}{350 \times 521,5}$$

$$= 0,00881$$

$$= 0,88 \%$$

$$\text{Cek tulangan sebelah baru} = \rho \text{ baru} < \rho \text{ max}$$

$$= 0,00881 < 0,01843 \text{ (ok)}$$

$$\epsilon_t \text{ baru} = \rho \text{ baru} = \frac{0,85 f_c \beta_1}{f_y} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,00881 = \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon t} \\
&= 0,00881 = \frac{18,063}{420} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon t} \\
&= 0,00881 = 0,0430 \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon t} \\
&= 0,00881 = \frac{0,000129}{0,003 + \epsilon t} \\
&= 0,0000270 + 0,00881 \epsilon t = 0,000129 \\
&= 0,00881 \epsilon t = 0,000129 - 0,0000270 \\
&= 0,00881 \epsilon t = 0,000103 \\
&= 0,0116
\end{aligned}$$

Maka digunakan  $\epsilon t$  baru yaitu 0,0117

$$\begin{aligned}
\text{Cek kondisi penampang} &= \epsilon t \text{ baru} > \rho (\epsilon t = 0,005) \\
&= 0,01106 > 0,005
\end{aligned}$$

Dari cek kondisi penampang  $\epsilon t$  baru  $> \rho$  ( $\epsilon t = 0,005$ ) maka kondisi penampang masih dalam kondisi terkendali tarik.

##### 5. Komponen Tulangan Kembar dan Tulangan Rangkap

Adapun komponen untuk mencari tulangan kembar dan tulangan rangkap dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

###### d. Mencari rasio tulangan kembar dan rangkap

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
\text{Kn baru} &= \left( 1 - \left( \frac{\rho \text{ baru} \times f_y}{1,7 \times f_c} \right) \right) \times (\rho \text{ baru} \times f_y) \\
&= \left( 1 - \left( \frac{0,00881 \times 420}{1,7 \times 25} \right) \right) \times (0,00881 \times 420) \\
&= 3,379 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi \text{ Kn baru} &= \text{Kn baru} \times \phi \\
&= 3,379 \times 0,9 \\
&= 3,041
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi \text{ Mn baru} &= \phi \text{Kn baru} \times b \times d^2 \\
&= 3,041 \times 350 \times 521,5^2 \\
&= 289464232,41 \text{ Nmm} \\
&= 289,464 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n \text{ baru} &= \frac{\phi M_n \text{ baru}}{\phi} \\
 &= \frac{289,464}{0,9} \\
 &= 321626924,90 \text{ Nmm} \\
 &= 321,627 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

e. Kondisi tulangan rangkap (tulangan desak/tekan)

$$d_s' = 58$$

$$d = 521,5$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n' &= M_u \text{ tumpuan} - (\phi M_n \text{ baru}) \\
 &= 278253200 - 289464232,41 \\
 &= -11211032,41 \text{ Nmm} \\
 &= -38,424 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi K_n' &= \frac{\phi M_n'}{b \times d^2} \\
 &= \frac{-11211032,41}{350 \times 521,5^2} \\
 &= -0,118 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_n' &= \frac{\phi K_n'}{\phi} \\
 &= \frac{-0,118}{0,9} \\
 &= -0,131 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p' &= K_n' = \rho' \times f_y \left(1 - \frac{d_s'}{d}\right) \\
 -0,131 &= \rho' \times 420 \left(1 - \frac{58}{521,5}\right) \\
 -0,131 &= 420 \times \rho' - 0,111 \\
 -0,131 &= 373,289 \times p'
 \end{aligned}$$

$$p' = \frac{-0,418}{373,289}$$

$$p' = -0,00351$$

$$T = C$$

$$M_n \text{ baru} = (0,85 \times f_c \times b \times (\beta_1 c)) \times \left(d - \frac{(\beta_1 c)}{2}\right)$$

$$321626924,90 = (0,85 \times 25 \times 350 \times (0,85c)) \times \left(521,5 - \frac{(0,85 \times c)}{2}\right)$$

$$321626924,90 = (6321,875c) - \left( \frac{5373,594 \times c}{2} \right)$$

$$321626924,90 = 3296857,813c - 2686,797c$$

$$321626924,90 = 3294171,016c$$

$$c = 97,635 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \frac{(d - c)}{c \times \varepsilon_c} \\ &= \frac{(521,5 - 97,635)}{97,635 \times 0,003} \end{aligned}$$

$$= 0,0130$$

$$= 1,30\%$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_s' &= \varepsilon_s \times \frac{(c - ds')}{d - ds'} \\ &= 0,0131 \times \frac{(97,635 - 58)}{521,5 \times 58} \end{aligned}$$

$$= 0,00111$$

$$\begin{aligned} f_s' &= E_s \times \varepsilon_s' \\ &= 200000 \times 0,00111 \end{aligned}$$

$$= 222,743 \text{ Mpa}$$

f. Mencari kebutuhan tulangan kembar ( $A_s'$ )

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{\phi M_n'}{f_s' \times (d - ds')} \\ &= \frac{-11211032,41}{222,743 \times (521,5 - 58)} \\ &= -108,591 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan perlu} &= \frac{A_s'}{A_{s,D}(\text{pokok})} \\ &= \frac{-108,591}{201,062} \\ &= -0,540 \approx 2 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ baru} &= \text{Jumlah tulangan perlu} \times A_{s,D}(\text{pokok}) \\ &= 2 \times 201,062 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = 521,5$$

6. Hasil prediksi tulangan tumpuan

Adapun hasil dari prediksi tulangan tumpuan dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ pakai} &= 0,9 \\
 \epsilon_s \text{ pakai} &= 0,0117 \\
 n \text{ (As'prediksi) tulangan kembar} &= 2 \text{ buah} \\
 n \text{ (As - As') tulangan sebelah} &= 8 \text{ buah} \\
 n \text{ (As prediksi) tulangan kembar} &= n \text{ (As'prediksi) + } n \text{ (As - As')} \\
 &= 2 + 8 \\
 &= 10 \text{ buah} \\
 \text{As prediksi} &= (\text{As' baru}) + (\text{As - As'baru}) \\
 &= 402,124 + 1608,495 \\
 &= 2010,619 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi prediksi untuk jumlah tulangan sebelah adalah 8 buah dan jumlah tulangan rangkap adalah 10 buah.

#### 7. Cek Momen Nominal Negatif

Untuk mengecek nilai momen negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

##### e. Konfigurasi tulangan yang dipakai

$$\text{Atas (tarik)} = 7 \text{ buah}$$

$$\text{Bawah (tekan)} = 6 \text{ buah}$$

##### f. Konfigurasi tulangan tarik pakai

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah pada baris 2} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baris} = \text{Jarak vertikal tulangan} + \phi_{\text{Pokok}}$$

$$= 25 + 16$$

$$= 41 \text{ mm}$$

$$x1 = P_b + \phi_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \phi_{\text{Pokok}})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \times 16)$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$x2 = x1 + \text{jarak antar baris}$$

$$= 58 + 41$$

$$\begin{aligned}
 &= 99 \text{ mm} \\
 \text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1 x A1 tulangan} \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1005,309 \text{ mm}^2 \\
 \text{As2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2 x A1 tulangan} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402.124 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1. x1} &= 1005,310 \times 58 \\
 &= 58307,98 \text{ mm}^3 \\
 \text{As2. x2} &= 402.124 \times 99 \\
 &= 39810,276 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tarik} &= \frac{\text{As1.x1} + \text{As2.x2}}{\text{As1} + \text{As2}} \\
 &= \frac{58307,98 + 39810,276}{1005,309 + 402.124} \\
 &= 69,71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1} \\
 &= 42,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### g. Konfigurasi tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah pada baris 1} &= 6 \text{ buah} \\
 \text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
 &= 25 + 16 \\
 &= 41 \text{ mm} \\
 \text{x1} &= P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \times 16) \\
 &= 58 \text{ mm} \\
 \text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1 x A1 tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1. x1} &= 1206,372 \times 58 \\
 &= 69969,552 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tekan} &= \frac{\text{As1.x1}}{\text{As1}} \\
 &= \frac{69969,552}{1206,372} \\
 &= 58 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Senggang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 16)}{6-1} \\
 &= 30,80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### h. Perhitungan untuk momen nominal negatif ( $M_n^-$ )

$$\begin{aligned}
 \text{ds} &= 58 \text{ mm} \\
 \text{d} &= h - \text{ds} \\
 &= 600 - 58 \\
 &= 542 \text{ mm} \\
 \text{As tarik}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 7 \times 201,062 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2 \\
 \text{As'tekan}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 6 \times 201,062 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$\begin{aligned}
 T_s &= c c + c s \\
 \text{As} \times f_y &= (0,85 \times f'c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (\text{As}' \times c \times \\
 &\frac{c-\text{ds}}{c} \times E_s)
 \end{aligned}$$

$$1407,434 \times 420 = (0,85 \times 25 \times c \times 0,85 \times 350) + (1206,372 \times (0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000))$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$  sebesar 71,668 mm.

$$c = 71,668 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= c \times \beta_1 \\ &= 71,668 \times 0,85 \\ &= 60,918 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d \text{ tekan} - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{542 - 71,668}{71,668} \times 0,003 \\ &= 0,0197 \\ &= 1,97\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{c - d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan}} \\ &= 0,003 \times \frac{71,668 - 58}{542 - 58} \\ &= 0,000556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= E_s \times \epsilon_s' \\ &= 200000 \times 0,000556 \\ &= 111,198 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\epsilon_y = 0,00210$$

didapat nilai  $\epsilon_s > \epsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\epsilon_t > 0,005$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(H - P_b - \phi_{\text{Sengkang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \epsilon_c}{c} - \epsilon_c \\ &= \frac{(600 - 40 - 10 - 0,5 \times 16) \times 0,003}{71,668} - 0,003 \\ &= 0,0197 \end{aligned}$$

$$\varepsilon_t = 0.0197 > 0.005, \text{ maka reduksi atau } \phi \text{ adalah}$$

0,9

$$\begin{aligned} K_n &= \left(1 - \frac{\rho' \times f_y}{1,7 \times f_c}\right) \rho' \times f_y \\ &= \left(1 - \frac{0,0076 \times 420}{1,7 \times 25}\right) 0,0076 \times 420 \\ &= 2,946 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= K_n \times (b \times (d \text{ tarik}^2)) \\ &= 2,946 \times (350 \times (530,286^2)) \\ &= 289972814,21 \text{ Nmm} \\ &= 289,973 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Karena M2 tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$\begin{aligned} K_n' &= \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right) \\ &= 0,00636 \times 420 \times \left(1 - \frac{58}{542}\right) \\ &= 2,385 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan})) \\ &= (1206,372 \times 111,198 (542 - 58)) \\ &= 64926630,24 \text{ Nmm} \\ &= 64,927 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n - \text{tumpuan} &= M_1 + M_2 \\ &= 289972814,21 + 64926630,24 \\ &= 354899444,45 \text{ Nmm} \\ &= 354,899 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n - \text{tumpuan} &= \phi \times M_n - \text{tumpuan} \\ &= 0,9 \times 354899444,45 \\ &= 319409500 \text{ Nmm} \\ &= 319,410 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u -$$

$$319,410 \text{ KNm} > 278,253 \text{ KNm (OK)}$$

## 8. Cek Momen Kapasitas Negatif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 ds &= 72,07 \text{ mm} \\
 ds' &= 59,5 \text{ mm} \\
 d \text{ tarik pakai} &= h - ds \\
 &= 600 - 72,07 \\
 &= 527,929 \text{ mm} \\
 A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 7 \times 283,529 \\
 &= 1984,701 \text{ mm}^2 \\
 A_s' \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \times 283,529 \\
 &= 1417,644 \text{ mm}^2 \\
 \rho \text{ tarik pakai} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} \\
 &= \frac{1984,701}{350 \times 527,929} \\
 &= 0,0107 \\
 K_{pr} \text{ tarik pakai} &= 1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right) \\
 &= 1,25 \times 0,0107 \times 420 \left(1 - 0,735 \times 0,0107 \frac{420}{25}\right) \\
 &= 4,891 \text{ Mpa} \\
 M_{pr} \text{ tarik pakai} &= K_{pr} \text{ tarik pakai} \times b \times d^2 \\
 &= 4,891 \times 350 \times 527,929 \\
 &= 477125860,34 \text{ Nmm} \\
 &= 477,126 \text{ kNm} \\
 M_{pr} \text{ desak pakai} &= 1,25 \times M_2 \\
 &= 1,25 \times 122106239,36 \\
 &= 152632799,21 \text{ Nmm} \\
 &= 152,633 \text{ kNm} \\
 M_{pr} - \text{tumpuan} &= M_{pr} \text{ tarik} + M_{pr} \text{ desak} \\
 &= 477125860,34 + 152632799,21 \\
 &= 629758659,54 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$= 629,759 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{pr} - \text{tumpuan} &= M_{pr} - \text{tumpuan} \times \phi \\ &= 629758659,54 \times 0,9 \\ &= 566782793,59 \text{ Nmm} \\ &= 566,783 \text{ kNm} \end{aligned}$$

#### 9. Cek Momen Nominal Positif

Untuk mengecek nilai momen positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

##### e. Konfigurasi tulangan yang dipakai

$$\text{Bawah (tarik)} = 6 \text{ buah}$$

$$\text{Atas (tekan)} = 7 \text{ buah}$$

##### f. Konfigurasi tulangan tekan pakai

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah pada baris 2} = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \phi_{\text{Pokok}} \\ &= 25 + 16 \\ &= 41 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x1 &= P_b + \phi_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \\ &= 40 + 10 + (0,5 \times 16) \\ &= 58 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x2 &= x1 + \text{jarak antar baris} \\ &= 58 + 41 \\ &= 99 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A1 \text{ tulangan} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 1005,310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2} \times A1 \text{ tulangan} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s1} \cdot x1 = 1005,310 \times 58$$

$$\begin{aligned}
 &= 58307,980 \text{ mm}^3 \\
 \text{As2. x2} &= 402,124 \times 99 \\
 &= 39810,276 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tekan} &= \frac{\text{As1.x1} + \text{As2.x2}}{\text{As1} + \text{As2}} \\
 &= \frac{58307,980 + 39810,276}{1005,310 + 402,124} \\
 &= 69,714 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (7 \times 19)}{7-1} \\
 &= 30,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### g. Konfigurasi tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah pada baris 1} &= 6 \text{ buah} \\
 \text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
 &= 25 + 16 \\
 &= 41 \text{ mm} \\
 x1 &= P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \times 16) \\
 &= 58 \text{ mm} \\
 \text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A1 \text{ tulangan} \\
 &= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1. x1} &= 1407,434 \times 58 \\
 &= 81631,144 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tekan} &= \frac{\text{As1.x1}}{\text{As1}} \\
 &= \frac{81631,144}{1407,434} \\
 &= 69,714 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \phi_{\text{Senggang}}) - (n \times \phi_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 16)}{6-1} \\
 &= 42,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### h. Perhitungan untuk momen nominal positif ( $M_n^+$ )

$$d_s = 58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 600 - 58 \\
 &= 542 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tekan}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_s, D \text{ (pokok)} \\
 &= 7 \times 201,062 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ tarik}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_s, D \text{ (pokok)} \\
 &= 6 \times 201,062 \\
 &= 1206,372 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$T_s = cc + cs$$

$$A_s \times f_y = (0,85 \times f'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (A_s' \times c \times \frac{c-d_s}{c} \times E_s)$$

$$\begin{aligned}
 1407,434 \times 420 &= (0,85 \times 25 \times c \times 0,85 \times 350) + (1206,372 \times \\
 (0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000)
 \end{aligned}$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$  sebesar 73,414 mm.

$$c = 73,414 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 73,414 \times 0,85
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 67,911 \text{ mm} \\
 \varepsilon_s &= \frac{d \text{ tekan} - c}{c} \times \varepsilon_c \\
 &= \frac{542 - 73,414}{73,414} \times 0,003 \\
 &= 0,0187 \\
 &= 1,87 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= \varepsilon_c \times \frac{c - d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan}} \\
 &= 0,003 \times \frac{69,714 - 69,714}{527,929 - 72,071} \\
 &= 0,000150
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= E_s \times \varepsilon_s' \\
 &= 200000 \times 0,000150 \\
 &= 29,997 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\varepsilon_y = 0,00210$$

didapat nilai  $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\varepsilon_t > 0,005$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{(H - P_b - \phi_{\text{Sengkang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \varepsilon_c}{c} - \varepsilon_c \\
 &= \frac{(600 - 40 - 10 - 0,5 \times 16) \times 0,003}{73,414} - 0,003 \\
 &= 0,0191
 \end{aligned}$$

$\varepsilon_t = 0,0191 > 0,005$ , maka reduksi atau  $\phi$  adalah

0,9

$$\begin{aligned}
 K_n &= \left(1 - \frac{\rho \times f_y}{1,7 \times f_c}\right) \rho \times f_y \\
 &= \left(1 - \frac{0,00636 \times 420}{1,7 \times 25}\right) 0,00636 \times 420 \\
 &= 2,503 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1 &= K_n \times (b \times (d \text{ tarik}^2)) \\
 &= 2,503 \times (350 \times (542^2)) \\
 &= 257359896,29 \text{ Nmm} \\
 &= 257,360 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Karena  $M_2$  tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$\begin{aligned} K_n' &= \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right) \\ &= 0,00636 \times 420 \times \left(1 - \frac{69,714}{530,286}\right) \\ &= 2,766 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan})) \\ &= (1407,434 \times 29,997 (530,286 - 69,714)) \\ &= 19444461,81 \text{ Nmm} \\ &= 19,444 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n + \text{tumpuan} &= M_1 + M_2 \\ &= 257359896,29 + 19444461,81 \\ &= 276804358,1 \text{ Nmm} \\ &= 276,804 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n + \text{tumpuan} &= \phi \times M_n + \text{tumpuan} \\ &= 0,9 \times 276804358,1 \\ &= 249123922,29 \text{ Nmm} \\ &= 249,124 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_{u+}$$

$$249,124 \text{ KNm} > 213,714 \text{ KNm (OK)}$$

#### 10. Cek Momen Kapasitas Positif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$d_s = 58 \text{ mm}$$

$$d_s' = 69,714 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d \text{ tarik pakai} &= h - d_s \\ &= 600 - 58 \\ &= 542 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ tulangan} \\ &= 6 \times 201,062 \\ &= 1206,372 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_s'_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ tulangan} \\
&= 7 \times 201,062 \\
&= 1407,434 \text{ mm} \\
\rho_{\text{tarik pakai}} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} \\
&= \frac{1206,372}{350 \times 542} \\
&= 0,00636 \\
K_{\text{pr tarik pakai}} &= 1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right) \\
&= 1,25 \times 0,00636 \times 420 \left(1 - 0,735 \times 0,00636 \frac{420}{25}\right) \\
&= 3,076 \text{ Mpa} \\
M_{\text{pr tarik pakai}} &= K_{\text{pr tarik pakai}} \times b \times d^2 \\
&= 3,076 \times 350 \times 542 \\
&= 316317366,33 \text{ Nmm} \\
&= 316,317 \text{ kNm} \\
M_{\text{pr desak pakai}} &= 1,25 \times M_2 \\
&= 1,25 \times 19444461,81 \\
&= 24305577,26 \text{ Nmm} \\
&= 24,306 \text{ kNm} \\
M_{\text{pr} + \text{tumpuan}} &= M_{\text{pr tarik}} + M_{\text{pr desak}} \\
&= 316317366,33 + 24305577,26 \\
&= 340622943,60 \text{ Nmm} \\
&= 340,623 \text{ kNm} \\
\phi M_{\text{pr} + \text{tumpuan}} &= M_{\text{pr} + \text{tumpuan}} \times \phi \\
&= 340622943,60 \times 0,9 \\
&= 306560649 \text{ Nmm} \\
&= 306,561 \text{ kNm}.
\end{aligned}$$

#### 11. Cek Rasio Tulangan

Untuk mengecek apakah jumlah tulangan yang digunakan berlebih atau tidak maka dapat dilakukan perhitungan cek rasio tulangan. Adapun perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

## c. Cek rasio tulangan Atas

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \\ &= 0,364 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \\ &= 0,0184\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{7 \times 201,062}{350 \times 542} \\ &= 0,007\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \\ &= 0,00298\end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0033$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{\min 1}$  dan  $\rho_{\min 2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

## d. Cek rasio tulangan bawah

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \\ &= 0,364 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \\ &= 0,0184\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{pakai}} &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= \frac{6 \times 201,062}{350 \times 542} \\ &= 0,006\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \\ &= \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \\ &= 0,00298\end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0033$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{\min 1}$  dan  $\rho_{\min 2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

## 12. Tulangan Pakai

Maka dari beberapa perhitungan di atas, didapat untuk daerah atas atau momen negatif memakai tulangan dengan jumlah 7 tulangan berdiameter 16 atau **7D16** dan daerah bawah atau momen positif memakai tulangan dengan jumlah 4 tulangan berdiameter 16 atau **6D16**.

### 5.8.2 Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan

Perhitungan untuk daerah lapangan dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan desain tulangan lentur pada daerah tumpuan. Namun, pada saat memasukkan nilai momen hasil redistribusi dan desain momen, nilai momen positif akan berubah menjadi nilai momen negatif dan sebaliknya. Selain itu, dalam desain lentur pada daerah lapangan, jumlah tulangan yang digunakan pada daerah bawah lebih banyak dibandingkan dengan daerah atas. Untuk BI 1 lantai 1-3 pada daerah lapangan, jumlah tulangan yang digunakan pada daerah bawah adalah **4D16**, sementara pada daerah atas sebanyak **4D16**.

### 5.8.3 Desain Tulangan Lentur Balok Anak

Perhitungan untuk balok anak dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan desain tulangan lentur pada balok induk. Namun, pada balok anak, digunakan hanya tulangan di satu sisi dengan pertimbangan bahwa beban lebih dipusatkan pada balok induk. Oleh karena itu, pada balok anak BA 1, jumlah tulangan yang digunakan adalah 2 buah tulangan berdiameter 16 mm **2D16** pada daerah tumpuan dan 2 buah tulangan berdiameter 16 mm **2D16** pada daerah lapangan.

### 5.8.4 Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck*

Analisis kebutuhan tulangan balok pada struktur dengan pelat *bubble deck* dilakukan berdasarkan hasil momen ultimate ( $M_u$ ) tumpuan dan lapangan yang

diperoleh dari pemodelan SAP 2000. Pada subbab ini, disajikan rekapitulasi kebutuhan tulangan balok serta *bill of quantity* (BQ) tulangan untuk seluruh elemen balok pada struktur *bubble deck*, termasuk total berat tulangan yang dibutuhkan.

1. Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck*

Adapun untuk kebutuhan tulangan balok dapat dilihat pada Tabel 5.46.

**Tabel 5. 46 Rekapitulasi Tulangan Pada Balok Induk dan Anak dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck***

No	Kode Balok	Lantai	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	BI 1	1-3	7D19	5D19	4D19	6D19
2	BI 2	1-3	5D16	4D16	3D16	5D16
3	BI 3	1-3	6D16	4D16	3D16	5D16
4	BI 4	1-3	4D16	3D16	3D16	4D16
5	BA 1	1-3	2D16	2D16	2D16	2D16

2. *Bill of Quantity* Balok dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck*

Diketahui data – data sebagai berikut.

Ø Pokok	= 16 mm
Berat tulangan D16	= 1,578 kg/m
Jumlah tulangan balok BI 1	= 21 buah
Jumlah tulangan balok BI 2	= 12 buah
Jumlah tulangan balok BI 3	= 15 buah
Jumlah tulangan balok BI 4	= 12 buah
Jumlah tulangan balok BA 1	= 8 buah
Panjang balok BI 1	= 8 m
	= 8000 mm
Panjang balok BI 2	= 4,5 m
	= 4500 mm
Panjang balok BI 3	= 3,5 m
	= 3500 mm
Panjang balok BI 4	= 2 m
	= 2000 mm

Panjang balok BA 1	= 4,5 m
	= 4500 mm
Jumlah balok BI 1	= 36 batang
Jumlah balok BI 2	= 48 batang
Jumlah balok BI 3	= 16 batang
Jumlah balok BI 4	= 36 batang
Jumlah balok BA 1	= 24 batang

a. Total Panjang Tulangan Balok

Total Panjang BI 1 = (Jumlah Tulangan) x (Jumlah Balok) x (Panjang Balok)

$$= 21 \times 36 \times 8$$

$$= 6048 \text{ m}$$

b. Berat Tulangan Balok

Berat Balok BI 1 = (Total Panjang) x (Berat Tulangan)

$$= 6048 \times 1,578$$

$$= 9543,744 \text{ kg}$$

Adapun untuk kebutuhan *bill of quantity* tulangan balok dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut.

**Tabel 5. 47 Rekapitulasi Bill of Quantity Tulangan Pada Balok Induk dan Anak dengan Bangunan Pelat Bubble Deck**

<i>Bill of Quantity Tulangan Balok pada Bangunan Pelat Bubble Deck</i>							
No	Kode Balok	Diameter Tulangan	Jumlah Tulangan Per Balok	Jumlah Balok	Panjang Balok (m)	Total Panjang (m)	Berat (kg)
1	BI 1	D16	21	36	8	6048	9543.744
2	BI 2	D16	12	48	4.5	2592	4090.176
3	BI 3	D16	15	16	3.5	840	1325.52
4	BI 4	D16	12	36	2	864	1363.392
5	BA 1	D16	8	24	4.5	864	1363.392
Total			68	160	22.5	11208	17686.224

Kebutuhan *bill of quantity* tulangan balok induk dan anak pada bangunan pelat *bubble deck* sebesar 17686,224 kg.

## 5.9 Desain Tulangan Lentur Balok Bangunan dengan Pelat Konvensional

Pada perhitungan kali ini, kami mengambil BI 1 lantai 1-3 sebagai contoh. Perhitungan untuk balok lainnya pada dasarnya sama, hanya terdapat perbedaan pada nilai momen, penentuan dimensi, serta jumlah tulangan yang digunakan.

Momen yang digunakan dalam perhitungan desain lentur merupakan hasil dari redistribusi dan desain momen itu sendiri.

### 5.9.1 Desain Tulangan Lentur Daerah Tumpuan

Diketahui data – data sebagai berikut.

$F_y$	= 420 Mpa
$F'_c$	= 25 Mpa
$M_u +$	= 238,378 kNm
$M_u -$	= 312,121 kNm
$E_s$	= 200000
$\epsilon_c$	= 0,003
$\Phi$	= 0,9
$\emptyset$ Pokok	= 16 mm
$\emptyset$ Sengkang	= 10 mm
Penutup Beton	= 40 mm
Jarak Vertikal Tulangan	= 25 mm
<i>Overstrength Factor</i>	= 1,25

Karena yang akan dihitung adalah balok pada daerah tumpuan maka yang ditinjau adalah **momen negatif**.

#### 1. Pengecekan Dimensi Balok

Penentuan dimensi balok dilakukan dengan perhitungan – perhitungan di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\
 &= \frac{278,253}{0,9} \\
 &= 309,170 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{F_y}{E_s} \\
 &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0,0021
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{F_y}{0,85 \times F'_c} \\
 &= \frac{420}{0,85 \times 25}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 19,765 \\
\beta_1 &= 17 \leq F_c \leq 28 \\
&= 0,85 \\
\rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \\
&= \frac{0,85}{19,765} \times \frac{0,003}{0,003 + 0,0021} \\
&= 0,0253 \\
R_b &= \rho_b \times F_y \times (1 - (0,5 \times \rho_b \times m)) \\
&= 0,0253 \times 420 \times (1 - (0,5 \times 0,0253 \times 19,765)) \\
&= 7,980 \text{ Mpa} \\
R_m &= 0,75 \times R_b \\
&= 0,75 \times 7,980 \\
&= 5,985 \text{ Mpa} \\
B_{\text{perlu}} &= \sqrt[3]{\frac{M_n}{4 \times R_m}} \\
&= \sqrt[3]{\frac{309,170}{4 \times 5,985}} \\
&= 234,616 \text{ mm} \\
H_{\text{perlu}} &= 2B \\
&= 2 \times 234,616 \\
&= 469,232 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Adapun untuk syarat b dan h pakai adalah harus lebih besar dari B dan H perlu. Maka diambil dimensi untuk Balok Induk Interior Lantai 1- 3 adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{B \text{ pakai} = 350 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{H \text{ pakai} = 600 \text{ mm}}$$

## 2. Komponen Tulangan Sebelah

Adapun komponen untuk mencari tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

### a. Cek syarat $M_u +$

Pada B1X Lantai 1-3 diketahui bahwasannya nilai momen negatif dan positif sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Mu -} &= 312,121 \text{ kNm} \\ 50\% \text{ Mu-} &= 50\% \times 312,121 \\ &= 156,061 \text{ kNm} \\ \text{Mu +} &= 238,378 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka dapat disimpulkan bahwa  $\text{Mu+} \geq 50\% \text{ Mu-}$  dan sudah memenuhi persyaratan SPRMK pada daerah tumpuan dan diambil nilai c sebesar 0,2.

b. Kontrol Tegangan Baja

$$\begin{aligned} c \text{ pakai} &= 0,2 \\ R1 &= c \times Rb \\ &= 0,2 \times 8,114 \\ &= 1,623 \\ M1 &= R1 \times B_{\text{pakai}} \times H_{\text{pakai}}^2 \\ &= 1,623 \times 350 \times 600 \\ &= 204449800 \text{ Nmm} \\ ds \text{ asumsi} &= P_b + \emptyset \text{Sengkang} + (0,5 \times \text{Jarak Vertikal Tul.}) \\ &= 40 + 10 + (0,5 \times 25) \\ &= 58 \text{ mm} \\ d &= H - ds \\ &= 600 - 58 \\ &= 542 \text{ mm} \end{aligned}$$

c. Mencari Rasio Tulangan ( $\rho$ ) Sebelah

$$\begin{aligned} \text{Mu} &\leq \phi \text{ Mn} \\ \phi \text{ Mn} &= b \times d^2 \\ &= 350 \times 542^2 \\ &= 102817400 \\ \phi \text{Kn} &= \frac{\text{Mu-tumpuan}}{\phi \text{ Mn}} \\ &= \frac{312121300}{102817400} \\ &= 3,036 \text{ Mpa} \\ \phi &= \frac{\phi}{0,9} \end{aligned}$$

$$= \frac{3,036}{0,9}$$

$$= 3,373 \text{ Mpa}$$

$$K_n = \left[ 1 - \frac{\rho \times f_y}{1,7 \times f_c} \right] \times \rho \times f_y$$

$$\left[ \frac{3,373}{\rho \times 420} \right] = \left[ 1 - \frac{\rho \times 420}{1,7 \times 25} \right]$$

$$\left[ \frac{3,373}{\rho \times 420} \right] = \left[ \frac{42,5 - \rho \times 420}{42,5} \right]$$

$$\left[ \frac{3,373 \times 42,5}{\rho \times 420} \right] = 42,5 - \rho \times 420$$

$$\left[ \frac{128,507}{\rho \times 420} \right] = 42,5 - \rho \times 420$$

$$143,352 = (42,5 \times (\rho \times 420)) - ((\rho \times 420) \times (\rho \times 420))$$

$$143,352 = (17850 \times \rho) - (176400\rho^2)$$

$$\rho = -176400\rho^2 + 17850 \times \rho - 143,352$$

Maka menggunakan rumus abc persamaan kuadrat didapatkan

$$a = -176400$$

$$b = 17850$$

$$c = -143,352$$

Mencari nilai  $\rho$  dengan persamaan kuadrat

$$\rho_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-17850 + \sqrt{17850^2 - 4 \times -176400 \times -143,352}}{2 \times (-176400)}$$

$$= 0,0088$$

$$= 0,88\%$$

$$\rho_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-17850 - \sqrt{17850^2 - 4 \times -176400 \times -143,352}}{2 \times (-176400)}$$

$$= 0,0924$$

$$= 9,2\%$$

Mencari persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

$$\rho_{\min 1} = \frac{(0,25 \times \sqrt{f_c})}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(0,25 \times \sqrt{25})}{420} \\
 &= 0,00298 \\
 &= 0,30\% \\
 \rho \text{ min 2} &= \frac{0,25}{f_c} \\
 &= \frac{0,25}{25} \\
 &= 0,00333 \\
 &= 0,33\% \\
 \rho \text{ max } (\epsilon_t = 0,004) &= \left(0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t}\right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25 \times 0,85}{420}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,004}\right) \\
 &= 0,01843 \\
 &= 1,84\% \\
 \rho (\epsilon_t = 0,005) &= \left(0,85 \times \frac{f_c \times \beta_1}{f_y}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t}\right) \\
 &= \left(0,85 \times \frac{25 \times 0,85}{420}\right) \times \left(\frac{0,003}{0,003 + 0,005}\right) \\
 &= 0,0161 \\
 &= 1,61\%
 \end{aligned}$$

Pengecekan persyaratan rasio tulangan ( $\rho$ )

$\rho 1$

Syarat 1

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ min 1} \\
 &= 0,0088 > 0,00298 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Syarat 2

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ min 2} \\
 &= 0,0088 > 0,00333 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

Syarat 3

$$\begin{aligned}
 &= \rho 1 > \rho \text{ min 2} \\
 &= 0,0088 > 0,01843 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$\rho 2$

Syarat 1

$$= \rho_2 > \rho_{\min 1}$$

$$= 0,0924 > 0,00298 \text{ (ok)}$$

Syarat 2

$$= \rho_2 > \rho_{\max}$$

$$= 0,0924 > 0,01843 \text{ (ok)}$$

Syarat 3

$$= \rho_2 > \rho_{\max}$$

$$= 0,0924 < 0,01843 \text{ (tidak ok)}$$

$\rho$  ( $\epsilon_t = 0,005$ )

Syarat 1

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 1}$$

$$= 0,01653 > 0,00298 \text{ (ok)}$$

Syarat 2

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\min 2}$$

$$= 0,0161 > 0,00333 \text{ (ok)}$$

Syarat 3

$$= \rho (\epsilon_t = 0,005) > \rho_{\max}$$

$$= 0,0161 > 0,01843 \text{ (ok)}$$

Karena  $\rho_1$  memenuhi ketiga syarat yaitu  $\rho_1 > \rho_{\min 1} > \rho_{\min 2} > \rho_{\max}$  yaitu  $0,00880 > 0,00298 > 0,00333 > 0,01843$  maka digunakan  $\rho_1 = 0,00880$  sebagai rasio tulangan yang digunakan.

### 3. Kebutuhan Tulangan Sebelah

Adapun kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Luas perlu total} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0088 \times 350 \times 542 \\ &= 1668,488 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas 1 tulangan} &= 0,25 \times \pi \times d_{\text{pokok}}^2 \\ &= 0,25 \times 3,14 \times 16^2 \\ &= 201,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan Perlu} &= \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}} \\
 &= \frac{1668,488}{201,062} \\
 &= 8,298 \approx 9 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka untuk jumlah tulangan sebelah adalah 9 buah.

#### 4. Merubah Parameter Kebutuhan dan Cek Kondisi Penampang

Adapun parameter kebutuhan tulangan sebelah dapat diketahui melalui perhitungan -perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 ds &= \frac{(n \text{ baris 1 } \times y \text{ baris 1}) + (n \text{ baris 2 } \times y \text{ baris 2})}{n \text{ baris 1} + n \text{ baris 2}} \\
 &= \frac{(5 \times 58) + (4 \times 9)}{5 + 4} \\
 &= 76,222 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= H - ds \\
 &= 600 - 76,222 \\
 &= 523,778 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas perlu total baru} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00885 \times 350 \times 523,778 \\
 &= 1612,393 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan Perlu} &= \frac{\text{Luas perlu total}}{\text{Luas 1 tulangan}} \\
 &= \frac{1612,393}{201,062} \\
 &= 8,019 \approx 9 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas perlu total baru 1} &= \text{Jumlah tulangan Perlu} \times \text{Luas 1 tulangan} \\
 &= 9 \times 201,062 \\
 &= 1809,557 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ baru} &= \frac{\text{Luas perlu total baru 1}}{b \times d} \\
 &= \frac{1809,557}{350 \times 523,778} \\
 &= 0,00987 \\
 &= 0,99 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek tulangan sebelah baru} &= \rho \text{ baru} < \rho \text{ max} \\
 &= 0,00987 < 0,01843 \text{ (ok)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\epsilon_t \text{ baru} &= \rho \text{ baru} = \frac{0,85 f_c \beta_1}{f_y} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \\
&= 0,00987 = \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \\
&= 0,00987 = \frac{18,062}{420} \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \\
&= 0,00987 = 0,0430 \times \frac{0,003}{0,003 + \epsilon_t} \\
&= 0,00987 = \frac{0,000129}{0,003 + \epsilon_t} \\
&= 0,0000296 + 0,00987 \epsilon_t = 0,000129 \\
&= 0,00987 \epsilon_t = 0,000129 - 0,0000296 \\
&= 0,00987 \epsilon_t = 9,940 \\
&= 0,0101
\end{aligned}$$

Maka digunakan  $\epsilon_t$  baru yaitu 0,0101

$$\begin{aligned}
\text{Cek kondisi penampang} &= \epsilon_t \text{ baru} > \rho (\epsilon_t = 0,005) \\
&= 0,0101 > 0,005
\end{aligned}$$

Dari cek kondisi penampang  $\epsilon_t$  baru  $> \rho$  ( $\epsilon_t = 0,005$ ) maka kondisi penampang masih dalam kondisi terkendali tarik.

##### 5. Komponen Tulangan Kembar dan Tulangan Rangkap

Adapun komponen untuk mencari tulangan kembar dan tulangan rangkap dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

###### a. Mencari rasio tulangan kembar dan rangkap

$$\phi = 0,9$$

$$\begin{aligned}
K_n \text{ baru} &= \left( 1 - \left( \frac{\rho \text{ baru} \times f_y}{1,7 \times f_c} \right) \right) \times (\rho \text{ baru} \times f_y) \\
&= \left( 1 - \left( \frac{0,00987 \times 420}{1,7 \times 25} \right) \right) \times (0,00987 \times 420) \\
&= 3,741 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi K_n \text{ baru} &= K_n \text{ baru} \times \phi \\
&= 3,741 \times 0,9 \\
&= 3,367
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n \text{ baru} &= \phi K_n \text{ baru} \times b \times d^2 \\
&= 3,367 \times 350 \times 523,778^2 \\
&= 323322121,12 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 323,322 \text{ kNm} \\
\text{Mn baru} &= \phi \text{ Mn baru} \times \phi \\
&= 323,322 \times 0,9 \\
&= 359246801,25 \text{ Nmm} \\
&= 359,247 \text{ kNm} \\
\text{b. Kondisi tulangan rangkap (tulangan desak/tekan)} \\
ds' &= 58 \\
d &= 523,778 \\
\phi \text{ Mn}' &= \text{Mu tumpuan} - (\phi \text{ Mn baru}) \\
&= 312121300 - 323322121,12 \\
&= -11200821,12 \text{ Nmm} \\
&= -11,201 \text{ kNm} \\
\phi \text{ Kn}' &= \text{Kn baru} \times \phi \\
&= \frac{\phi \text{ Mn}'}{b \times d^2} \\
&= \frac{-11200821,12}{350 \times 523,778^2} \\
&= -0,117 \text{ Mpa} \\
\text{Kn}' &= \text{Kn baru} \times \phi \\
&= \frac{\phi \text{ Kn}'}{\phi} \\
&= \frac{-0,117}{0,9} \\
&= -0,130 \text{ Mpa} \\
p' &= \text{Kn}' = \rho' \times f_y \left(1 - \frac{ds'}{d}\right) \\
-0,130 &= \rho' \times 420 \left(1 - \frac{58}{523,778}\right) \\
-0,130 &= 420 \times \rho' - 0,889 \\
-0,130 &= 373,492 \times \rho' \\
\rho' &= \frac{-0,130}{373,492} \\
\rho' &= -0,000347 \\
T &= C \\
\text{Mn baru} &= (0,85 \times f_c \times b \times (\beta_1 c)) \times \left(d - \frac{(\beta_1 c)}{2}\right)
\end{aligned}$$

$$359246801,25 = (0,85 \times 25 \times 350 \times (0,85c)) \times (523,778 - \frac{(0,85 \times c)}{2})$$

$$359246801,25 = (6321,875c) - (\frac{5373,594 \times c}{2})$$

$$359246801,25 = 3311257,639c - 2686,797c$$

$$359246801,25 = 3308570,842c$$

$$c = 108,581 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{(d - c)}{c \times \epsilon_c} \\ &= \frac{(540,5 - 108,581)}{100,524 \times 0,003} \end{aligned}$$

$$= 0,0115$$

$$= 1,15\%$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \epsilon_s \times \frac{(c - ds')}{d - ds'} \\ &= 0,0115 \times \frac{(100,524 - 58)}{523,778 \times 58} \end{aligned}$$

$$= 0,00125$$

$$\begin{aligned} f_s' &= E_s \times \epsilon_s' \\ &= 200000 \times 0,00125 \end{aligned}$$

$$= 223,977 \text{ Mpa}$$

c. Mencari kebutuhan tulangan kembar ( $A_s'$ )

$$\begin{aligned} A_s' &= \frac{\phi M_n'}{f_s' \times (d - ds')} \\ &= \frac{-11200821,12}{249,149 \times (523,778 - 58)} \\ &= -96,519 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan perlu} &= \frac{A_s'}{A_{s,D}(\text{pokok})} \\ &= \frac{-96,519}{201,062} \\ &= -0,048 \approx 2 \text{ Buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ baru} &= \text{Jumlah tulangan perlu} \times A_{s,D}(\text{pokok}) \\ &= 2 \times 201,062 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$d = 542 \text{ mm}$$

6. Hasil prediksi tulangan tumpuan

Adapun hasil dari prediksi tulangan tumpuan dapat diketahui melalui perhitungan-perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \phi \text{ pakai} &= 0,9 \\
 \epsilon_s \text{ pakai} &= 0,0159 \\
 n \text{ (As'prediksi) tulangan kembar} &= 2 \text{ buah} \\
 n \text{ (As - As') tulangan sebelah} &= 9 \text{ buah} \\
 n \text{ (As prediksi) tulangan kembar} &= n \text{ (As'prediksi)} + n \text{ (As - As')} \\
 &= 2 + 9 \\
 &= 11 \text{ buah} \\
 \text{As prediksi} &= (\text{As' baru}) + (\text{As - As'baru}) \\
 &= 402,124 + 1809,557 \\
 &= 2211,681 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi prediksi untuk jumlah tulangan sebelah adalah 9 buah dan jumlah tulangan rangkap adalah 11 buah.

#### 7. Cek Momen Nominal Negatif

Untuk mengecek nilai momen negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

##### a. Konfigurasi tulangan yang dipakai

$$\text{Atas (tarik)} = 8 \text{ buah}$$

$$\text{Bawah (tekan)} = 7 \text{ buah}$$

##### b. Konfigurasi tulangan tarik pakai

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah pada baris 2} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baris} = \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}}$$

$$= 25 + 16$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$x1 = P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \times 16)$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$x2 = P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + \emptyset_{\text{pokok}} + \text{Jarak Vertikal}$$

$$\text{Tul} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}})$$

$$\begin{aligned}
&= 40 + 10 + 16 + 25 + (0,5 \times 16) \\
&= 99 \text{ mm} \\
\text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1 x A1 tulangan} \\
&= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
&= 804,245 \text{ mm}^2 \\
\text{As2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2 x A1 tulangan} \\
&= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
&= 804,245 \text{ mm}^2 \\
\text{As1. x1} &= 804,245 \times 58 \\
&= 46646,21 \text{ mm}^3 \\
\text{As2. x2} &= 804,245 \times 99 \\
&= 79620,255 \text{ mm}^3 \\
\text{ds tarik} &= \frac{\text{As1.x1} + \text{As2.x2}}{\text{As1} + \text{As2}} \\
&= \frac{46646,21 + 79620,255}{804,245 + 804,245} \\
&= 78,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

#### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times \text{Pb}) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
&= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1} \\
&= 62 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### c. Konfigurasi tulangan tekan

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah pada baris 1} &= 5 \text{ buah} \\
\text{Jumlah pada baris 2} &= 2 \text{ buah} \\
\text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
&= 25 + 16 \\
&= 41 \text{ mm} \\
\text{x1} &= \text{Pb} + \emptyset_{\text{Sengkang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
&= 40 + 10 + (0,5 \times 16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 58 \text{ mm} \\
 x2 &= Pb + \emptyset\text{Sengkang} + \emptyset\text{pokok} + \text{Jarak Vertikal} \\
 \text{Tul} + (0,5 \times \emptyset\text{Pokok}) &= 40 + 10 + 16 + 25 + (0,5 \times 16) \\
 &= 99 \text{ mm} \\
 \text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times \text{A1 tulangan} \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1005,310 \text{ mm}^2 \\
 \text{As2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2} \times \text{A1 tulangan} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2 \\
 \\
 \text{As1. x1} &= 1005,310 \times 58 \\
 &= 58307,98 \text{ mm}^3 \\
 \text{As2. x2} &= 402,124 \times 99 \\
 &= 39810,276 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tekan} &= \frac{\text{As1.x1} + \text{As2.x2}}{\text{As1} + \text{As2}} \\
 &= \frac{58307,98 + 39810,276}{1005,310 + 402,124} \\
 &= 69,714 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times Pb) - (2 \times \emptyset\text{Sengkang}) - (n \times \emptyset\text{Pokok})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1} \\
 &= 42,50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

#### d. Perhitungan untuk momen nominal negatif ( $M_n^-$ )

$$\begin{aligned}
 ds &= 58 \text{ mm} \\
 d &= h - ds \\
 &= 600 - 58
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 542 \text{ mm} \\
 \text{As tarik}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 8 \times 201,062 \\
 &= 1608,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As'tekan}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 7 \times 201,062 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$T_s = cc + cs$$

$$\begin{aligned}
 \text{As} \times f_y &= (0,85 \times f'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (\text{As}' \times c \times \\
 \frac{c-ds}{c} \times E_s) & \\
 1608,495 \times 420 &= (0,85 \times 25 \times c \times 0,85 \times 350) + (1407,434 \times \\
 (0,003 \times \frac{c-59,5}{c} \times 200000) &
 \end{aligned}$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$  sebesar 84,062 mm.

$$c = 84,062 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 84,062 \times 0,85 \\
 &= 71,453 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d \text{ tekan} - c}{c} \times \epsilon_c \\
 &= \frac{540,5 - 102,953}{102,953} \times 0,003 \\
 &= 0,0159 \\
 &= 1,59 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{c - ds \text{ tekan}}{d \text{ tekan} - ds \text{ tekan}} \\
 &= 0,003 \times \frac{84,062 - 69,714}{530,286 - 69,714} \\
 &= 0,000496
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= E_s \times \epsilon_s' \\
 &= 200000 \times 0,000496
 \end{aligned}$$

$$= 99,22 \text{ Mpa}$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\epsilon_y = 0,00210$$

didapat nilai  $\epsilon_s > \epsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\epsilon_t > 0,005$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{(H - P_b - \phi_{\text{Sengkang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \epsilon_c}{c} - \epsilon_c \\ &= \frac{(600 - 40 - 10 - 0,5 \times 16) \times 0,003}{99,22} - 0,003 \\ &= 0,0134 \end{aligned}$$

$\epsilon_t = 0,0127 > 0,005$ , maka reduksi atau  $\phi$  adalah 0,9

$$\begin{aligned} K_n &= \left(1 - \frac{\rho' \times f_y}{1,7 \times f_c}\right) \rho' \times f_y \\ &= \left(1 - \frac{0,0088 \times 420}{1,7 \times 25}\right) 0,0125 \times 420 \\ &= 3,379 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= K_n \times (b \times (d \text{ tarik}^2)) \\ &= 3,379 \times (350 \times (521,5^2)) \\ &= 321626924,90 \text{ Nmm} \\ &= 321,627 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Karena M2 tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$\begin{aligned} K_n' &= \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right) \\ &= 0,00924 \times 420 \times \left(1 - \frac{69,714}{530,286}\right) \\ &= 2,766 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan})) \\ &= (1407,434 \times 99,220 (530,286 - 69,714)) \\ &= 64316848,60 \text{ Nmm} \\ &= 64,317 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n - \text{tumpuan} = M_1 + M_2$$

$$\begin{aligned}
&= 321626924,90 + 64316848,60 \\
&= 385943773,51 \text{ Nmm} \\
&= 385,944 \text{ kNm} \\
\phi M_n - \text{tumpuan} &= \phi \times M_n - \text{tumpuan} \\
&= 0,9 \times 385943773,51 \\
&= 347349396,16 \text{ Nmm} \\
&= 347,349 \text{ KNm}
\end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_u -$$

$$347,349 \text{ KNm} > 312,121 \text{ KNm (OK)}$$

#### 8. Cek Momen Kapasitas Negatif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas negatif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$d_s = 72,07 \text{ mm}$$

$$d_s' = 59,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
d \text{ tarik pakai} &= h - d_s \\
&= 600 - 72,07 \\
&= 527,929 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ tulangan} \\
&= 8 \times 201,062 \\
&= 1608,495 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{s' \text{ pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ tulangan} \\
&= 7 \times 201,062 \\
&= 1407,434 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rho \text{ tarik pakai} &= \frac{A_{s \text{ pakai}}}{b \times d} \\
&= \frac{1608,495}{350 \times 527,929} \\
&= 0,00881
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{pr} \text{ tarik pakai} &= 1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right) \\
&= 1,25 \times 0,00881 \times 420 \left(1 - 0,735 \times 0,00881 \frac{420}{25}\right) \\
&= 4,123 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mpr tarik pakai} &= K_{pr} \text{ tarik pakai} \times b \times d^2 \\
 &= 4,123 \times 350 \times 527,929 \\
 &= 392464760,08 \text{ Nmm} \\
 &= 392,465 \text{ kNm} \\
 \text{Mpr desak pakai} &= 1,25 \times M_2 \\
 &= 1,25 \times 64316848,60 \\
 &= 80396060,75 \text{ Nmm} \\
 &= 80,396 \text{ kNm} \\
 \text{Mpr – tumpuan} &= \text{Mpr tarik} + \text{Mpr desak} \\
 &= 392464760,08 + 80396060,75 \\
 &= 472860820,83 \text{ Nmm} \\
 &= 472,861 \text{ kNm} \\
 \phi \text{ Mpr – tumpuan} &= \text{Mpr – tumpuan} \times \phi \\
 &= 472860820,83 \times 0,9 \\
 &= 425574738,75 \text{ Nmm} \\
 &= 425,575 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

#### 9. Cek Momen Nominal Positif

Untuk mengecek nilai momen positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

##### a. Konfigurasi tulangan yang dipakai

$$\text{Bawah (tarik)} = 7 \text{ buah}$$

$$\text{Atas (tekan)} = 8 \text{ buah}$$

##### b. Konfigurasi tulangan tekan pakai

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah pada baris 2} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar baris} = \text{Jarak vertikal tulangan} + \phi_{\text{Pokok}}$$

$$= 25 + 16$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$x_1 = P_b + \phi_{\text{Senggang}} + (0,5 \times \phi_{\text{Pokok}})$$

$$= 40 + 10 + (0,5 \times 16)$$

$$= 58 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 x2 &= P_b + \emptyset_{\text{Sengkang}} + \emptyset_{\text{pokok}} + \text{Jarak Vertikal} \\
 \text{Tul} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) &= 40 + 10 + 16 + 25 + (0,5 \times 16) \\
 &= 99 \text{ mm} \\
 \text{As1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A1 \text{ tulangan} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 804,248 \text{ mm}^2 \\
 \text{As2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2} \times A1 \text{ tulangan} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 804,248 \text{ mm}^2 \\
 \text{As1. x1} &= 804,248 \times 58 \\
 &= 46646,384 \text{ mm}^3 \\
 \text{As2. x2} &= 804,248 \times 99 \\
 &= 79620,552 \text{ mm}^3 \\
 \text{ds tekan} &= \frac{\text{As1.x1} + \text{As2.x2}}{\text{As1} + \text{As2}} \\
 &= \frac{46646,384 + 79620,552}{804,248 + 804,248} \\
 &= 78.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Sengkang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4-1} \\
 &= 62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

c. Konfigurasi tulangan tarik

$$\text{Jumlah pada baris 1} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah pada baris 2} = 2 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak antar baris} &= \text{Jarak vertikal tulangan} + \emptyset_{\text{Pokok}} \\
 &= 25 + 16 \\
 &= 38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x1 &= P_b + \emptyset_{\text{Senggang}} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + (0,5 \times 16) \\
 &= 58 \text{ mm} \\
 x2 &= P_b + \emptyset_{\text{Senggang}} + \emptyset_{\text{pokok}} + \text{Jarak Vertikal} \\
 &\text{Tul} + (0,5 \times \emptyset_{\text{Pokok}}) \\
 &= 40 + 10 + 16 + 25 + (0,5 \times 16) \\
 &= 99 \text{ mm} \\
 A_{s1} &= \text{jumlah tulangan pada baris 1} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 1005,310 \text{ mm}^2 \\
 A_{s2} &= \text{jumlah tulangan pada baris 2} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2 \\
 A_{s1} \cdot x1 &= 1005,310 \times 58 \\
 &= 46646,384 \text{ mm}^3 \\
 A_{s2} \cdot x2 &= 402,124 \times 99 \\
 &= 79620,552 \text{ mm}^3 \\
 d_s \text{ tarik} &= \frac{A_{s1} \cdot x1 + A_{s2} \cdot x2}{A_{s1} + A_{s2}} \\
 &= \frac{46646,384 + 79620,552}{1005,310 + 402,124} \\
 &= 69,714 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek Jarak Tulangan Horizontal

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b_{\text{pakai}} - (2 \times P_b) - (2 \times \emptyset_{\text{Senggang}}) - (n \times \emptyset_{\text{Pokok}})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5-1} \\
 &= 42,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena pada jarak tulangan horizontal melebihi 25 mm sehingga Sudah OK.

d. Perhitungan untuk momen nominal positif ( $M_n^+$ )

$$\begin{aligned}
 d_s &= 58 \text{ mm} \\
 d &= h - d_s
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 600 - 58 \\
 &= 542 \text{ mm} \\
 \text{As tekan}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 7 \times 201,062 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2 \\
 \text{As'tarik}_{\text{pakai}} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times \text{As,D (pokok)} \\
 &= 8 \times 201,062 \\
 &= 1608,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal ( $\Sigma H = 0$ )

$$\begin{aligned}
 T_s &= cc + cs \\
 \text{As} \times f_y &= (0,85 \times f'_c \times c \times \beta_1 \times b_{\text{pakai}}) + (\text{As}' \times c \times \\
 \frac{c-ds}{c} \times E_s) \\
 1407,434 \times 420 &= (0,85 \times 25 \times c \times 0,85 \times 350) + (1608,495 \times \\
 (0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000)
 \end{aligned}$$

Sama seperti cara sebelumnya, nilai  $c$  atau garis netral dihitung dengan persamaan kuadrat rumus ABC. Maka didapat nilai  $c$  sebesar 83,818 mm.

$$\begin{aligned}
 c &= 83,818 \text{ mm} \\
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 83,818 \times 0,85 \\
 &= 71,245 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d_{\text{tekan}} - c}{c} \times \epsilon_c \\
 &= \frac{521,5 - 83,818}{83,818} \times 0,003 \\
 &= 0,0157 \\
 &= 1,57\% \\
 \epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{c - ds_{\text{tekan}}}{d_{\text{tekan}} - ds_{\text{tekan}}} \\
 &= 0,003 \times \frac{83,818 - 78,5}{521,5 - 78,5} \\
 &= 0,000188 \\
 f_s' &= E_s \times \epsilon_s'
 \end{aligned}$$

$$= 200000 \times 0,000188$$

$$= 37,612 \text{ Mpa}$$

Cek syarat regangan baja desak

$$\varepsilon_y = 0,00210$$

didapat nilai  $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ , maka baja tarik sudah leleh.

Lalu selanjutnya menentukan nilai reduksi yaitu dengan syarat  $\varepsilon_t > 0,005$

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{(H-Pb - \phi_{\text{Senggang}} - 0,5 \times \phi_{\text{Pokok}}) \times \varepsilon_c}{c} - \varepsilon_c \\ &= \frac{(600 - 40 - 10 - 0,5 \times 16) \times 0,003}{83,818} - 0,003 \\ &= 0,0164 \end{aligned}$$

$\varepsilon_t = 0,0164 > 0,005$ , maka reduksi atau  $\phi$  adalah 0,9

$$\begin{aligned} K_n &= \left(1 - \frac{\rho \times f_y}{1,7 \times f_c}\right) \rho \times f_y \\ &= \left(1 - \frac{0,00758 \times 420}{1,7 \times 25}\right) 0,00758 \times 420 \\ &= 2,946 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= K_n \times (b \times (d \text{ tarik}^2)) \\ &= 2,946 \times (350 \times (530,286^2)) \\ &= 289972814,21 \text{ Nmm} \\ &= 289,973 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Karena  $M_2$  tekan belum leleh menggunakan rumus persamaan berikut

$$\begin{aligned} K_n' &= \rho' \times f_y \times \left(1 - \frac{d_s \text{ tekan}}{d \text{ tekan}}\right) \\ &= 0,00881 \times 420 \times \left(1 - \frac{78,5}{521,5}\right) \\ &= 3,144 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= (A_s' \text{ desak} \times f_s' (d \text{ tekan} - d_s \text{ tekan})) \\ &= (1984,701 \times 44,797 (521,5 - 78,5)) \\ &= 26801089,2 \text{ Nmm} \\ &= 26,801 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n + \text{tumpuan} &= M_1 + M_2 \\
 &= 289972814,21 + 26801089,2 \\
 &= 316773903,41 \text{ Nmm} \\
 &= 316,774 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n + \text{tumpuan} &= \phi \times M_n - \text{tumpuan} \\
 &= 0,9 \times 316773903,41 \\
 &= 285096513,07 \text{ Nmm} \\
 &= 285,097 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_{u+}$$

$$285,097 \text{ KNm} > 213,714 \text{ KNm (OK)}$$

#### 10. Cek Momen Kapasitas Positif

Untuk mengecek nilai momen kapasitas positif sendiri perlu dilakukan beberapa langkah perhitungan yang dapat dilihat di bawah ini.

$$d_s = 69,714 \text{ mm}$$

$$d_s' = 78,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 d \text{ tarik pakai} &= h - d_s \\
 &= 600 - 69,714 \\
 &= 530,286 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tarik} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 7 \times 201,062 \\
 &= 1608,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pakai} &= \text{Jumlah tulangan tekan} \times A_1 \text{ tulangan} \\
 &= 8 \times 201,062 \\
 &= 1407,434 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ tarik pakai} &= \frac{A_s \text{ pakai}}{b \times d} \\
 &= \frac{1608,495}{350 \times 530,286} \\
 &= 0,00758
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_{pr} \text{ tarik pakai} &= 1,25 \times \rho \times f_y \left(1 - 0,735 \rho \frac{f_y}{f_c}\right) \\
 &= 1,25 \times 0,00758 \times 420 \left(1 - 0,735 \times 0,00758 \frac{420}{25}\right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,608 \text{ Mpa} \\
 \text{Mpr tarik pakai} &= Kpr \text{ tarik pakai} \times b \times d^2 \\
 &= 3,608 \times 350 \times 530,286 \\
 &= 355139831,72 \text{ Nmm} \\
 &= 355,14 \text{ kNm} \\
 \text{Mpr desak pakai} &= 1,25 \times M2 \\
 &= 1,25 \times 40529532,03 \\
 &= 33501361,5 \text{ Nmm} \\
 &= 33,501 \text{ kNm} \\
 \text{Mpr + tumpuan} &= \text{Mpr tarik} + \text{Mpr desak} \\
 &= 355139831,72 + 33501361,5 \\
 &= 388641193,22 \text{ Nmm} \\
 &= 388,641 \text{ kNm} \\
 \phi \text{ Mpr + tumpuan} &= \text{Mpr + tumpuan} \times \phi \\
 &= 388641193,22 \times 0,9 \\
 &= 349777073,9 \text{ Nmm} \\
 &= 349,777 \text{ kNm.}
 \end{aligned}$$

## 11. Cek Rasio Tulangan

Untuk mengecek apakah jumlah tulangan yang digunakan berlebih atau tidak maka dapat dilakukan perhitungan cek rasio tulangan. Adapun perhitungannya dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

### a. Cek rasio tulangan Atas

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \\
 &= 0,364 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \\
 &= 0,0184 \\
 \rho_{\text{pakai}} &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{8 \times 201,062}{350 \times 521,5} \\
 &= 0,0088 \\
 \rho_{\min 1} &= \frac{1,4}{f_y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033 \\
 \rho_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \\
 &= 0,00298
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0033$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{\min 1}$  dan  $\rho_{\min 2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

b. Cek rasio tulangan bawah

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,364 \times \beta_1 \times \frac{f'c}{f_y} \\
 &= 0,364 \times 0,85 \times \frac{25}{420} \\
 &= 0,0184
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{pakai}} &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{7 \times 201,062}{350 \times 530,286} \\
 &= 0,0076
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min 1} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} \\
 &= 0,00298
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0033$  (diambil nilai terbesar dari  $\rho_{\min 1}$  dan  $\rho_{\min 2}$ )

Maka rasio tulangan OK karena  $\rho_{\min} < \rho_{\text{pakai}} < \rho_{\max}$

## 12. Tulangan Pakai

Maka dari beberapa perhitungan di atas, didapat untuk daerah atas atau momen negatif memakai tulangan dengan jumlah 8 tulangan berdiameter

16 atau **8D16** dan daerah bawah atau momen positif memakai tulangan dengan jumlah 7 tulangan berdiameter 16 atau **7D16**.

### 5.9.2 Desain Tulangan Lentur Daerah Lapangan

Perhitungan untuk daerah lapangan dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan desain tulangan lentur pada daerah tumpuan. Namun, pada saat memasukkan nilai momen hasil redistribusi dan desain momen, nilai momen positif akan berubah menjadi nilai momen negatif dan sebaliknya. Selain itu, dalam desain lentur pada daerah lapangan, jumlah tulangan yang digunakan pada daerah bawah lebih banyak dibandingkan dengan daerah atas. Untuk BI 1 lantai 1-3 pada daerah lapangan, jumlah tulangan yang digunakan pada daerah bawah adalah **5D16**, sementara pada daerah atas sebanyak **5D16**.

### 5.9.3 Desain Tulangan Lentur Balok Anak

Perhitungan untuk balok anak dilakukan dengan cara yang sama seperti perhitungan desain tulangan lentur pada balok induk. Namun, pada balok anak, digunakan hanya tulangan di satu sisi dengan pertimbangan bahwa beban lebih dipusatkan pada balok induk. Oleh karena itu, pada balok anak BA 1, jumlah tulangan yang digunakan adalah 2 buah tulangan berdiameter 16 mm **2D16** pada daerah tumpuan dan 2 buah tulangan berdiameter 16 mm **2D16** pada daerah lapangan.

### 5.9.4 Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat Konvensional

Analisis kebutuhan tulangan balok pada struktur dengan pelat konvensional dilakukan berdasarkan hasil momen ultimate ( $M_u$ ) tumpuan dan lapangan yang diperoleh dari pemodelan SAP 2000. Pada subbab ini, disajikan rekapitulasi kebutuhan tulangan balok serta *bill of quantity* (BQ) tulangan untuk seluruh elemen balok pada struktur konvensional, termasuk total berat tulangan yang dibutuhkan.

#### 1. Kebutuhan Tulangan Balok dengan Bangunan Pelat Konvensional

Adapun untuk kebutuhan tulangan balok dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut.

**Tabel 5. 48 Rekapitulasi Tulangan Pada Balok Induk dan Anak dengan Bangunan Pelat Konvensional**

No	Kode Balok	Lantai	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	BI 1	1-3	8D16	7D16	5D16	5D16
2	BI 2	1-3	5D16	4D16	2D16	3D16
3	BI 3	1-3	6D16	5D16	3D16	3D16
4	BI 4	1-3	4D16	3D16	3D16	3D16
5	BA 1	1-3	2D16	2D16	2D16	2D16

## 2. *Bill of Quantity* Balok dengan Bangunan Pelat Konvensional

Diketahui data – data sebagai berikut.

Ø Pokok	= 16 mm
Berat tulangan D16	= 1,578 kg/m
Jumlah tulangan balok BI 1	= 25 buah
Jumlah tulangan balok BI 2	= 14 buah
Jumlah tulangan balok BI 3	= 17 buah
Jumlah tulangan balok BI 4	= 13 buah
Jumlah tulangan balok BA 1	= 8 buah
Panjang balok BI 1	= 8 m
	= 8000 mm
Panjang balok BI 2	= 4,5 m
	= 4500 mm
Panjang balok BI 3	= 3,5 m
	= 3500 mm
Panjang balok BI 4	= 2 m
	= 2000 mm
Panjang balok BA 1	= 4,5 m
	= 4500 mm
Jumlah balok BI 1	= 36 batang
Jumlah balok BI 2	= 48 batang
Jumlah balok BI 3	= 16 batang
Jumlah balok BI 4	= 36 batang
Jumlah balok BA 1	= 24 batang

### c. Total Panjang Tulangan Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Total Panjang BI 1} &= (\text{Jumlah Tulangan}) \times (\text{Jumlah Balok}) \times \\
 &(\text{Panjang Balok}) \\
 &= 25 \times 36 \times 8 \\
 &= 7200 \text{ m}
 \end{aligned}$$

d. Berat Tulangan Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok BI 1} &= (\text{Total Panjang}) \times (\text{Berat Tulangan}) \\
 &= 7200 \times 1,578 \\
 &= 11361,600 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Adapun untuk kebutuhan *bill of quantity* tulangan balok dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut.

**Tabel 5. 49 Rekapitulasi *Bill of Quantity* Tulangan Pada Balok Induk dan Anak dengan Bangunan Pelat Konvensional**

No	Kode Balok	Diameter Tulangan	Jumlah Tulangan Per Balok	Jumlah Balok	Panjang Balok	Total Panjang	Berat
					(m)	(m)	(kg)
1	BI 1	D16	25	36	8	7200	11361.600
2	BI 2	D16	14	48	4.5	3024	4771.872
3	BI 3	D16	17	16	3.5	952	1502.256
4	BI 4	D16	13	36	2	936	1477.008
5	BA 1	D16	8	24	4.5	864	1363.392
Total			77	160	22.5	12976	20476.128

Kebutuhan *bill of quantity* tulangan balok induk dan anak pada bangunan pelat konvensional sebesar 20476,128 kg.

### 5.10 Perbandingan Hasil Desain Tulangan Balok antara Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional

Pada bab ini membandingkan hasil desain tulangan balok antara struktur dengan pelat *bubble deck* dan konvensional. Mencakup perbedaan (momen ultimate, momen nominal dan momen *probable* tumpuan dan lapangan, kebutuhan tulangan, dan selisih total berat tulangan berdasarkan *Bill of Quantity (BQ)*).

1. Perbandingan momen tumpuan dan lapangan

Momen ultimate

Berikut merupakan perbandingan momen ultimate dengan bangunan pelat *bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.50.

**Tabel 5. 50 Perbandingan Momen Ultimate dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Balok pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>					
No	Kode Balok	$M_U$ Tumpuan (kNm)		$M_U$ Lapangan (kNm)	
		$M_{U-}$	$M_{U+}$	$M_{U-}$	$M_{U+}$
1	BI 1	278.253	213.714	136.555	144.542
2	BI 2	77.284	45.405	31.296	31.767
3	BI 3	94.512	86.924	49.714	47.983
4	BI 4	48.625	24.312	35.234	12.156
5	BA 1	46.182	-	-	19.500
Balok pada Bangunan Pelat Konvensional					
No	Kode Balok	$M_U$ Tumpuan (kNm)		$M_U$ Lapangan (kNm)	
		$M_{U-}$	$M_{U+}$	$M_{U-}$	$M_{U+}$
1	BI 1	312.121	238.378	149.758	180.317
2	BI 2	81.781	48.718	21.389	33.880
3	BI 3	99.785	106.544	55.099	56.001
4	BI 4	54.732	27.366	40.302	13.683
5	BA 1	48.436	-	-	19.746

Momen nominal dan *probable*

Berikut merupakan perbandingan momen nominal *probable* dengan bangunan pelat *bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.51.

**Tabel 5. 51 Perbandingan Momen Nominal dan *Probable* dengan Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Momen Nominal dan <i>Probable</i> Balok pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>									
No	Kode Balok	$\phi M_n$ Tumpuan		$\phi M_n$ Lapangan		$\phi M_{pr}$ Tumpuan		$\phi M_{pr}$ Lapangan	
		$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$	$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$	$\phi M_{pr-}$	$\phi M_{pr+}$	$\phi M_{pr-}$	$\phi M_{pr+}$
1	BI 1	319.410	249.124	150.585	150.585	392.668	306.561	186.078	186.078
2	BI 2	104.689	71.112	34.529	71.478	127.847	87.195	42.407	87.652
3	BI 3	131.834	94.569	71.260	71.260	160.082	115.197	87.379	87.379
4	BI 4	71.260	71.260	71.260	71.260	87.379	87.379	87.379	87.379
5	BA 1	49.569	-	-	49.569	-	-	-	-
Momen Nominal dan <i>Probable</i> Balok pada Bangunan Pelat Konvensional									
No	Kode Balok	$\phi M_n$ Tumpuan		$\phi M_n$ Lapangan		$\phi M_{pr}$ Tumpuan		$\phi M_{pr}$ Lapangan	
		$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$	$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$	$\phi M_{pr-}$	$\phi M_{pr+}$	$\phi M_{pr-}$	$\phi M_{pr+}$
1	BI 1	347.349	285.097	209.795	209.795	425.575	349.777	258.879	258.879
2	BI 2	131.834	94.569	34.529	71.478	160.082	115.197	42.407	87.652
3	BI 3	146.568	118.160	71.260	71.260	176.428	142.990	87.379	87.379
4	BI 4	104.689	71.112	71.260	71.260	127.847	87.195	87.379	87.379
5	BA 1	49.569	-	-	49.569	-	-	-	-

Dari perbandingan momen nominal pelat *bubble deck* dan konvensional didapatkan selisih contoh untuk balok BI 1 daerah tumpuan  $\phi M_n$ -bangunan dengan pelat *bubble deck* sebesar 319,410 kNm, sedangkan untuk pelat konvensional sebesar 347,349 kNm. Sehingga ada selisih sebesar 27,940 kNm untuk balok BI 1 daerah tumpuan  $\phi M_n$ -. Dengan demikian, momen nominal untuk bangunan pelat *bubble deck* lebih kecil dibanding dengan pelat konvensional, karena dipengaruhi oleh momen ultimate pada balok BI 1.

**Tabel 5. 52 Selisih Perbandingan Momen Nominal Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

No	Kode Balok	$\phi M_n$ Tumpuan (kNm)		$\phi M_n$ Lapangan (kNm)	
		$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$	$\phi M_{n-}$	$\phi M_{n+}$
1	BI 1	27.940	35.973	59.210	59.210
2	BI 2	27.145	23.457	0.000	0.000
3	BI 3	14.734	23.590	0.000	0.000
4	BI 4	33.429	-0.147	0.000	0.000
5	BA 1	0.000	-	-	0.000

## 2. Perbandingan Kebutuhan Tulangan Balok pada Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan konvensional

Berikut merupakan perbandingan kebutuhan tulangan balok dengan bangunan *pelat bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 5. 53 Kebutuhan Tulangan Balok Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Kebutuhan Tulangan Balok pada Bangunan Pelat Bubble Deck						
No	Kode Balok	Lantai	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	BI 1	1-3	7D16	6D16	4D16	4D16
2	BI 2	1-3	4D16	3D16	2D16	3D16
3	BI 3	1-3	5D16	4D16	3D16	3D16
4	BI 4	1-3	3D16	3D16	3D16	3D16
5	BA 1	1-3	2D16	2D16	2D16	2D16
Kebutuhan Tulangan Balok pada Bangunan Pelat Konvensional						
No	Kode Balok	Lantai	Tumpuan		Lapangan	
			Atas	Bawah	Atas	Bawah
1	BI 1	1-3	8D16	7D16	5D16	5D16
2	BI 2	1-3	5D16	4D16	2D16	3D16
3	BI 3	1-3	6D16	5D16	3D16	3D16
4	BI 4	1-3	4D16	3D16	3D16	3D16
5	BA 1	1-3	2D16	2D16	2D16	2D16

Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara kebutuhan penulangan pada balok yang menggunakan pelat *bubble deck* dan pelat konvensional. Pelat konvensional, yang menghasilkan momen *ultimate* lebih tinggi pada balok BI 1, memerlukan penulangan yang lebih banyak (8D16 dan 7D16 di tumpuan, serta 5D16 di lapangan) dibandingkan pelat *bubble deck* (7D16 dan 6D16 di tumpuan, serta 4D16 di lapangan). Hal ini menunjukkan bahwa pelat konvensional memiliki beban yang lebih besar, sehingga membutuhkan kapasitas yang lebih tinggi melalui penambahan tulangan. Selisih penulangan ini juga mencerminkan efisiensi material yang lebih baik pada sistem pelat *bubble deck*. Dengan momen *ultimate* yang lebih rendah, sistem ini mampu mengurangi kebutuhan tulangan tanpa mengorbankan kekuatan struktur. Hal ini peningkatan momen *ultimate* harus diimbangi dengan peningkatan momen nominal melalui penambahan tulangan.

3. Perbandingan *Bill of Quantity* Tulangan Balok pada Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional

Berikut merupakan perbandingan *bill of quantity* tulangan balok dengan bangunan pelat *bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

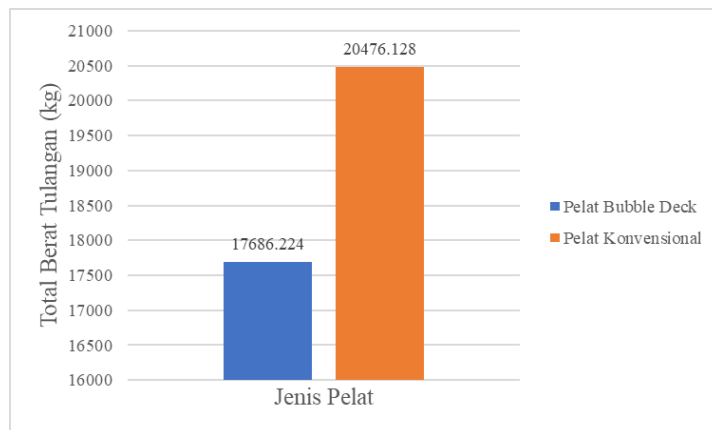
**Tabel 5. 54 Perbandingan *Bill of Quantity* Tulangan Balok Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

<i>Bill of Quantity</i> Tulangan Balok pada Bangunan Pelat <i>Bubble Deck</i>							
No	Kode Balok	Diameter Tulangan	Jumlah Tulangan Per Balok	Jumlah Balok	Panjang Balok (m)	Total Panjang (m)	Berat (kg)
1	BI 1	D16	21	36	8	6048	9543.744
2	BI 2	D16	12	48	4.5	2592	4090.176
3	BI 3	D16	15	16	3.5	840	1325.52
4	BI 4	D16	12	36	2	864	1363.392
5	BA 1	D16	8	24	4.5	864	1363.392
Total			68	160	22.5	11208	17686.224
<i>Bill of Quantity</i> Tulangan Balok pada Bangunan Pelat Konvensional							
No	Kode Balok	Diameter Tulangan	Jumlah Tulangan Per Balok	Jumlah Balok	Panjang Balok (m)	Total Panjang (m)	Berat (kg)
1	BI 1	D16	25	36	8	7200	11361.600
2	BI 2	D16	14	48	4.5	3024	4771.872
3	BI 3	D16	17	16	3.5	952	1502.256
4	BI 4	D16	13	36	2	936	1477.008
5	BA 1	D16	8	24	4.5	864	1363.392
Total			77	160	22.5	12976	20476.128

**Tabel 5. 55 Selisih *Bill of Quantity* Tulangan Balok Bangunan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Variabel	Total Berat Tulangan (kg)
Pelat Konvensional	20476.128
Pelat Bubble Deck	17686.224
Selisih	2789.904
	14%

Berikut merupakan perbandingan berat tulangan balok dengan bangunan pelat *bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 5. 33 Diagram Berat Tulangan Balok *Bubble Deck* vs Konvensional**

Berdasarkan perhitungan *Bill of Quantity (BOQ)* tulangan balok, terlihat bahwa sistem pelat *bubble deck* membutuhkan total berat tulangan sebesar 17686,224 kg, sementara pelat konvensional membutuhkan 20476,128 kg. Hal ini menunjukkan selisih berat tulangan sebesar 2789,904 kg atau sekitar 14% lebih rendah pada pelat *bubble deck*. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem pelat *bubble deck* lebih efisien dalam penggunaan material tulangan dibandingkan pelat konvensional.

### 5.11 Rekapitulasi Perbandingan Berat Bangunan pada Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional

Pada bab ini membandingkan hasil berat bangunan dengan pelat *bubble deck* dan konvensional yang didapatkan dari perhitungan SAP 2000 dengan *section cut force* yang telah dijelaskan pada bab 5.5.2, di mana berat tiap lantai ditentukan dari selisih nilai reaksi vertikal ( $F_3$ ) antar tingkat dapat dilihat pada tabel dan gambar diagram berikut.

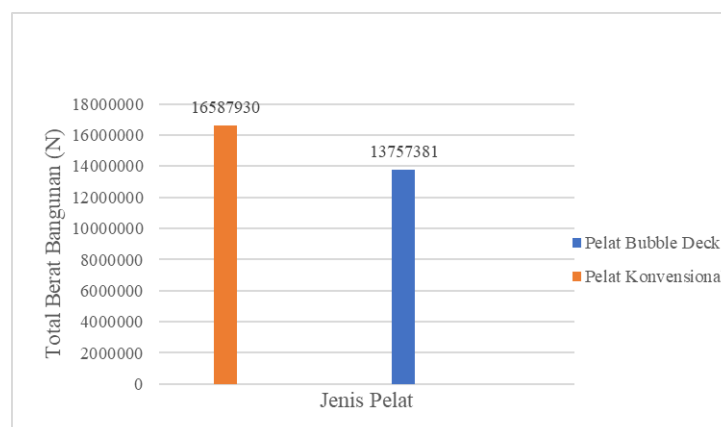
**Tabel 5. 56 Rekapitulasi Berat Bangunan dengan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Berat Bangunan dengan Pelat <i>Bubble Deck</i>				
No	OutputCase	Lantai	Berat (kN)	Berat (N)
1	1D+0,3L	LT 1	3160.806	3160806
2	1D+0,3L	LT 2	3749.300	3749300
3	1D+0,3L	LT 3	3749.301	3749301
4	1D+0,3L	LT 4 (Atap)	3097.974	3097974
Berat Total Bangunan			13757.381	13757381
Berat Bangunan dengan Pelat Konvensional				
No	OutputCase	Lantai	Berat (kN)	Berat (N)
1	1D+0,3L	LT 1	3835.199	3835199
2	1D+0,3L	LT 2	4423.693	4423693
3	1D+0,3L	LT 3	4423.692	4423692
4	1D+0,3L	LT 4 (Atap)	3905.346	3905346
Berat Total Bangunan			16587.930	16587930

**Tabel 5. 57 Perbandingan Berat Bangunan dengan Pelat *Bubble Deck* dan Konvensional**

Bangunan	Total Berat Bangunan (N)
Pelat <i>Bubble Deck</i>	13757381
Pelat Konvensional	16587930
Selisih	2830549
	21%

Berikut merupakan perbandingan berat tulangan balok dengan bangunan pelat *bubble deck* dan konvensional dapat dilihat pada Gambar 5.32.



**Gambar 5. 34 Diagram Berat Bangunan *Bubble Deck* vs Konvensional**

Berdasarkan hasil analisis menggunakan SAP 2000, bangunan dengan sistem pelat *bubble deck* memiliki berat total yang lebih ringan dibandingkan

bangunan dengan pelat konvensional. Total berat bangunan pelat *bubble deck* adalah 13757381 N, sedangkan pelat konvensional mencapai 16587930 N. Selisih berat ini mencapai 2830549 N atau sekitar 21% lebih ringan pada pelat *bubble deck*. Perbedaan ini mencerminkan efisiensi sistem *bubble deck* dalam mengurangi volume beton.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perbandingan *bubble deck slab* dengan pelat konvensional pada Gedung Muhammadiyah *Boarding School* Pleret Bantul berdasarkan tujuan dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis kontrol struktur, tidak ditemukan ketidakberaturan vertikal dan horizontal yang signifikan pada kedua jenis pelat. Hal ini menunjukkan bahwa kedua sistem pelat tersebut telah memenuhi kontrol struktur yang baik dan sesuai dengan SNI yang berlaku, sehingga tidak mengganggu kestabilan bangunan.
2. Berdasarkan hasil analisis momen ultimate pada pelat menunjukkan bahwa pelat *bubble deck* memiliki nilai momen yang lebih rendah dibandingkan dengan pelat konvensional. Hal ini disebabkan oleh desain pelat *bubble deck* yang mengurangi volume beton di bagian tengah pelat dengan menggunakan bola-bola kosong (*bubble*), serta memenuhi kekuatan struktur sesuai dengan SNI.
3. Hasil analisis kebutuhan penulangan (*bill of quantity*) menunjukkan bahwa balok dengan pelat *bubble deck* memerlukan lebih sedikit tulangan dibandingkan dengan balok menggunakan pelat konvensional. Secara keseluruhan, pelat *bubble deck* membutuhkan total berat tulangan yang lebih rendah, dengan selisih sebesar 2789,904 kg atau sekitar 14% lebih efisien dalam penggunaan material tulangan dibandingkan pelat konvensional.
4. Berdasarkan hasil analisis menggunakan SAP 2000, total berat bangunan dengan sistem pelat *bubble deck* lebih ringan dibandingkan dengan pelat konvensional. Berat bangunan pelat *bubble deck* adalah 13757381 N, sedangkan pelat konvensional mencapai 16587930 N, dengan selisih sekitar 2830549 N atau sekitar 21% lebih ringan.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, peneliti dapat memberi saran kepada peneliti selanjutnya sebagai berikut.

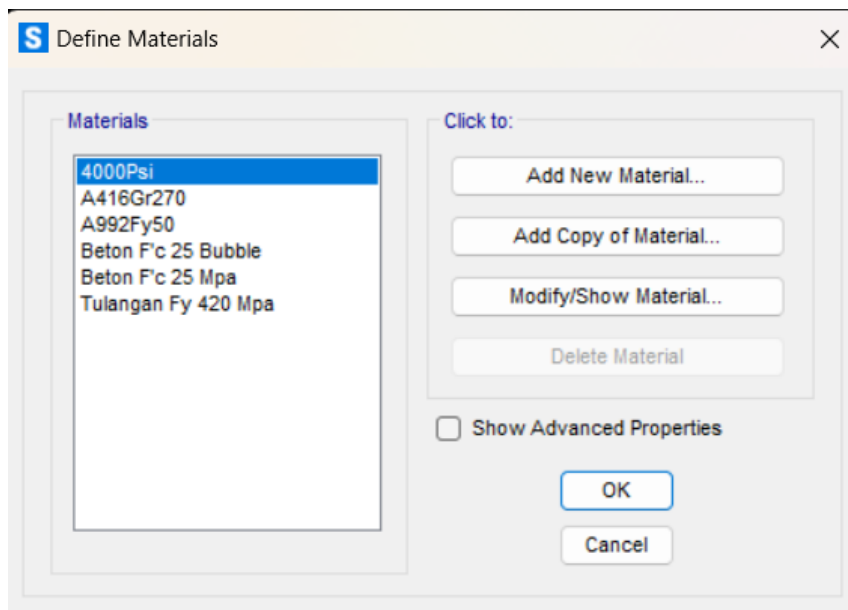
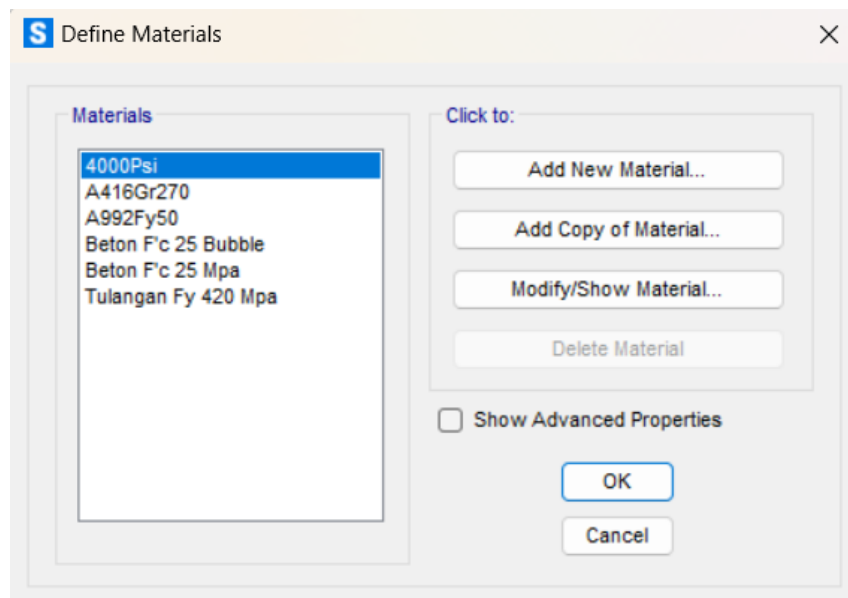
1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai analisis biaya untuk memastikan bahwa penggunaan pelat *bubble deck* lebih ekonomis daripada pelat konvensional.
2. Desain pelat *bubble deck* dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan kekuatan struktur.
3. Penggunaan pelat *bubble deck* dapat dipertimbangkan sebagai alternatif untuk mengurangi berat bangunan dan kebutuhan material tulangan.
4. Analisis struktur yang lebih mendalam perlu dilakukan untuk memastikan kekuatan dan keamanan bangunan, terutama dalam menghadapi beban gempa dan beban lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Advantages, E. *dkk.* (tanpa tanggal) *Introduction to BubbleDeck*. Tersedia pada: [http://www.bbdna.com/Product Comparison/Product Comparison.pdf](http://www.bbdna.com/Product%20Comparison/Product%20Comparison.pdf).
- AJI, W.S.K. (2019) “MODIFIKASI PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG APARTEMEN SETIABUDI MEDAN MENGGUNAKAN METODE FLAT SLAB DIKOMBINASIKAN DENGAN BUBBLEDECK DAN DROP PANEL,” hal. 1–23.
- Andreas, A. *dkk.* (2022) “COMPARISON OF COST AND TIME OF FLOOR SLAB WORKS ON CONVENTIONAL AND BUBBLE DECK SLAB METHODS (Case Research Of Central Control Building, Muara Tawar Power Plant Project, Bekasi, West Java),” *Jurnal Infrastruktur*, 8(2), hal. 117–125.
- Asroni, A. (2010) *Balok dan Pelat Beton Bertulang Edisi Pertama*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standardisasi Indonesia (2020) “SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain,” Jakarta, hal. 1–336.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” *Sni 2847-2019*, (8), hal. 720.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2017). SNI 2052:2017 tentang Baja Tulangan Beton.
- Bhade, B.G. dan Barelikar, S.M. (2016) “an Experimental Study on Two Way Bubble Deck Slab With Spherical Hollow Balls,” *International Journal of Recent Scientific Research*, 7(6). Tersedia pada: <http://www.recentscientific.com/>.
- Fatma, N. dan Chandrakar, V. (2018) “To study Comparison between Conventional Slab and Bubble Deck Slab,” *IARJSET International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 5(1), hal. 70–76. Tersedia pada: <https://doi.org/10.17148/iarjset.2018.5111>.
- Fingerloos, F. dan Zilch, K. (2008) “Neuausgabe von DIN 1045-1. Hintergrund und Erläuterungen/New Edition of DIN 1045-1. Background and explanations,” *Bauingenieur*.
- Liando, F.J. *dkk.* (2020) “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Gedung Kuliah 5 Lantai,” *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), hal. 471–482.
- Lai, T. (2010). Structural behavior of BubbleDeck slabs and their application to

- lightweight bridge decks (Master's thesis). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Madra, Y.M. (2003) "SNI 1726:2012," *Rethinking Marxism*, hal. 316–325. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>.
- Norm, D. (2008) *DIN 1045*.
- Rahmatullah Saepudin Putra, R.I. dkk. (2020) "Perencanaan Gedung Sekolah Menengah Atas Dengan Sistem Pelat Satu Arah Dan Dua Arah," *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil dan Lingkungan*, 1(2), hal. 15–22. Tersedia pada: <https://doi.org/10.52005/teslink.v1i2.12>.
- Sudarmoko, R. (1996) *Diagram Perancangan Kolom Beton Bertulang*.
- Setiawan, R., & Pratama, D. (2022). Analisis kebutuhan tulangan balok pada struktur gedung bertingkat. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 28(1), 45-60. <https://doi.org/10.5614/jts.2022.28.1.4>
- Wang, C.-K. (1979) *Reinforced Concrete Design*. Harper & Row Publishers.
- Saatcioglu, M (2007) *Design for Flexure*. Professor and University Research Chair. Dept. of Civil Engineering. University of Ottawa Canada.

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 Input Material pada *Define Materials* SAP 2000 *Bubble Deck*****Lampiran 2 Input Material pada *Define Materials* SAP 2000 Konvensional**

### Lampiran 3 Input Mutu Beton Pelat *Bubble Deck* pada SAP 2000

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: Beton F'c 25 Bubble

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 13.2115

Mass per Unit Volume: 1.3472

**Units**

KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 23500000.

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 9791667.

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 25000.

Expected Concrete Compressive Strength: 25000.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

### Lampiran 4 Input Mutu Beton Pelat Konvensional pada SAP 2000

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: Beton F'c 25 Mpa

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 23.536

Mass per Unit Volume: 2.4

**Units**

KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 23500000.

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 9791667.

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 25000.

Expected Concrete Compressive Strength: 25000.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

### Lampiran 5 Input Mutu Beton Balok, Kolom *Bubble Deck* pada SAP 2000

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: Beton F'c 25 Mpa

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 23.536

Mass per Unit Volume: 2.4

**Units**

KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 23500000.

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 9791667.

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 25000.

Expected Concrete Compressive Strength: 25000.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

### Lampiran 6 Input Mutu Beton Balok, Kolom Konvensional pada SAP 2000

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: Beton F'c 25 Mpa

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 23.536

Mass per Unit Volume: 2.4

**Units**

KN, m, C

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 23500000.

Poisson, U: 0.2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 9.900E-06

Shear Modulus, G: 9791667.

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength, f<sub>c</sub>: 25000.

Expected Concrete Compressive Strength: 25000.

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

## Lampiran 7 Input Mutu Baja Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000

**S** Material Property Data

**General Data**

Material Name and Display Color: Tulangan Fy 420 Mpa ■

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes:

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 76.9822

Mass per Unit Volume: 7.85

**Units**

KN, m, C

**Uniaxial Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 2.000E+08

Poisson, U: 0.

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G:

**Other Properties For Rebar Materials**

Minimum Yield Stress, Fy: 420000.

Minimum Tensile Stress, Fu: 504000.

Expected Yield Stress, Fye: 420000.

Expected Tensile Stress, Fue: 504000.

## Lampiran 8 *Frame Properties* Balok BI 1 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000

**S** Rectangular Section

Section Name: BI 1 Display Color: ■

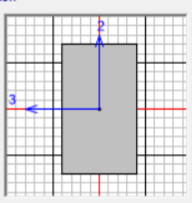
Section Notes:

**Dimensions**

Depth (t3): 0.6

Width (t2): 0.35

**Section**

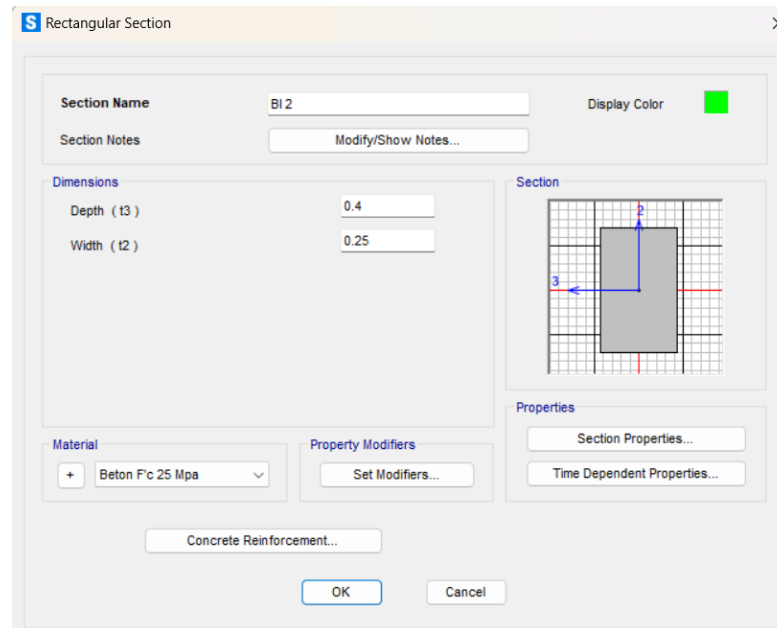


**Material**

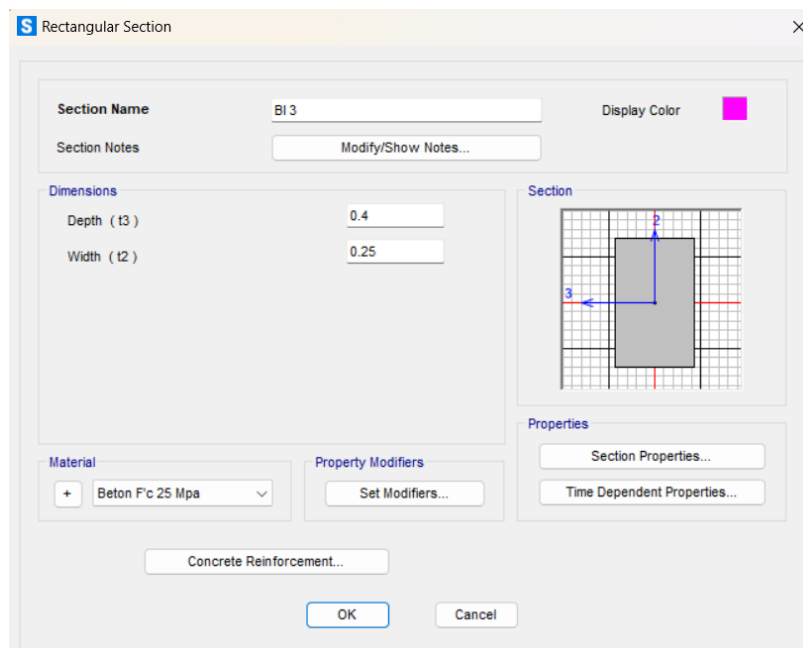
+ Beton F'c 25 Mpa

**Property Modifiers**

### Lampiran 9 *Frame Properties* Balok BI 2 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000



### Lampiran 10 *Frame Properties* Balok BI 3 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000



**Lampiran 11 *Frame Properties* Balok BI 4 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000**

The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'BI 4' and the 'Display Color' is yellow. The 'Section Notes' field is empty with a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Dimensions' section shows 'Depth (t3)' as 0.6 and 'Width (t2)' as 0.35. The 'Section' diagram shows a rectangular cross-section on a grid with dimensions 'b' and 't3' indicated. The 'Material' is set to 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. A 'Concrete Reinforcement...' button is at the bottom. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

**Lampiran 12 *Frame Properties* Balok BA 1 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000**

The screenshot shows the 'Rectangular Section' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'BA 1' and the 'Display Color' is green. The 'Section Notes' field is empty with a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Dimensions' section shows 'Depth (t3)' as 0.4 and 'Width (t2)' as 0.25. The 'Section' diagram shows a rectangular cross-section on a grid with dimensions 'b' and 't3' indicated. The 'Material' is set to 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Properties' section has 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...' buttons. A 'Concrete Reinforcement...' button is at the bottom. 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom right.

### Lampiran 13 *Frame Properties* Kolom K1 Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional pada SAP 2000

**Rectangular Section**

Section Name: K 1      Display Color: ■

Section Notes:

**Dimensions**

Depth (t3): 0.6

Width (t2): 0.6

**Section**

**Material**

+ Beton F'c 25 Mpa

**Property Modifiers**

### Lampiran 14 *Area Section* Pelat PL1 Bangunan *Bubble Deck* pada SAP 2000

**Shell Section Data**

Section Name: PL 1 2 arah      Display Color: ■

Section Notes:

**Type**

Shell - Thin

Shell - Thick

Plate - Thin

Plate Thick

Membrane

Shell - Layered/Nonlinear

**Thickness**

Membrane: 0.23

Bending: 0.23

**Material**

Material Name: + Beton F'c 25 Bubble

Material Angle: 0.

**Time Dependent Properties**

**Concrete Shell Section Design Parameters**

**Stiffness Modifiers**

**Temp Dependent Properties**

### Lampiran 15 Area Section Pelat PL1 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PL 1 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for both 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa' with a 'Material Angle' of 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 1 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
			OK Cancel

### Lampiran 16 Area Section Pelat PL2 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000 for a bubble deck building plate. The 'Section Name' is 'PL 2 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for both 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble' with a 'Material Angle' of 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 2 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
			OK Cancel

### Lampiran 17 Area Section Pelat PL2 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PL 2 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 2 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
			OK Cancel

### Lampiran 18 Area Section Pelat PL3 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000 for a bubble deck building slab. The 'Section Name' is 'PL 3 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 3 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
			OK Cancel

### Lampiran 19 Area Section Pelat PL3 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for a conventional building slab. The 'Section Name' is 'PL 3 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 3 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

### Lampiran 20 Area Section Pelat PL4 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for a bubble deck building slab. The 'Section Name' is 'PL 4 1 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 4 1 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

### Lampiran 21 Area Section Pelat PL4 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PL 4 1 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for both 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PL 4 1 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear		
Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23		
Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0		
Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...		
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...		
Stiffness Modifiers	Set Modifiers...	Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
Buttons	OK	Cancel	

### Lampiran 22 Area Section Pelat PA 1 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000 for a bubble deck building plate. The 'Section Name' is 'PA 1 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for both 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 1 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear		
Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23		
Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0		
Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...		
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...		
Stiffness Modifiers	Set Modifiers...	Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
Buttons	OK	Cancel	

### Lampiran 23 Area Section Pelat PA 1 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for 'PA 1 2 arah'. The 'Section Name' is 'PA 1 2 arah' and 'Section Notes' is empty. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton Fc 25 Mpa' and 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 1 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton Fc 25 Mpa Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

### Lampiran 24 Area Section Pelat PA 2 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box for 'PA 2 2 arah'. The 'Section Name' is 'PA 2 2 arah' and 'Section Notes' is empty. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton Fc 25 Bubble' and 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 2 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton Fc 25 Bubble Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

## Lampiran 25 Area Section Pelat PA 2 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PA 2 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 2 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

## Lampiran 26 Area Section Pelat PA 3 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000 for a bubble deck building. The 'Section Name' is 'PA 3 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 3 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear	Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...	Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0
		Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...
		Stiffness Modifiers	Set Modifiers...
		Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
		OK	Cancel

### Lampiran 27 Area Section Pelat PA 3 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PA 3 2 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Mpa'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 3 2 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear		
Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23		
Material	Material Name: + Beton F'c 25 Mpa Material Angle: 0.		
Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...		
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...		
Stiffness Modifiers	Set Modifiers...	Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
OK	Cancel		

### Lampiran 28 Area Section Pelat PA 4 Bangunan Bubble Deck pada SAP 2000

The screenshot shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' is 'PA 4 1 arah'. The 'Type' is 'Shell - Thin'. The 'Thickness' for 'Membrane' and 'Bending' is 0.23. The 'Material' is 'Beton F'c 25 Bubble'. The 'Material Angle' is 0. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' and 'Stiffness Modifiers' are also visible.

Section Name	PA 4 1 arah	Display Color	█
Section Notes	Modify/Show...		
Type	<input checked="" type="radio"/> Shell - Thin <input type="radio"/> Shell - Thick <input type="radio"/> Plate - Thin <input type="radio"/> Plate Thick <input type="radio"/> Membrane <input type="radio"/> Shell - Layered/Nonlinear		
Thickness	Membrane: 0.23 Bending: 0.23		
Material	Material Name: + Beton F'c 25 Bubble Material Angle: 0.		
Time Dependent Properties	Set Time Dependent Properties...		
Concrete Shell Section Design Parameters	Modify/Show Shell Design Parameters...		
Stiffness Modifiers	Set Modifiers...	Temp Dependent Properties	Thermal Properties...
OK	Cancel		

## Lampiran 29 Area Section Pelat PA 4 Bangunan Konvensional pada SAP 2000

**S Shell Section Data**

Section Name: PA 4 1 arah Display Color:

Section Notes:

**Type**

Shell - Thin  
 Shell - Thick  
 Plate - Thin  
 Plate Thick  
 Membrane  
 Shell - Layered/Nonlinear

**Concrete Shell Section Design Parameters**

**Thickness**

Membrane: 0.23

Bending: 0.23

**Material**

Material Name: + Beton F'c 25 Mpa   
 Material Angle: 0.

**Time Dependent Properties**

**Stiffness Modifiers** Temp Dependent Properties

## Lampiran 30 Define Grid System Data Bangunan Bubble Deck dan Konvensional

**S Define Grid System Data**

System Name: GLOBAL

**X Grid Data**

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	3.5	Primary	Yes	End	
B	4.5	Primary	Yes	End	
C	4.5	Primary	Yes	End	
D	4.5	Primary	Yes	End	
E	4.5	Primary	Yes	End	
F	4.5	Primary	Yes	End	

**Y Grid Data**

Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	2	Primary	Yes	Start	
2	4	Primary	Yes	Start	
3	0.875	Primary	Yes	Start	
4	3.125	Primary	Yes	Start	
5	0	Primary	Yes	Start	

**Z Grid Data**

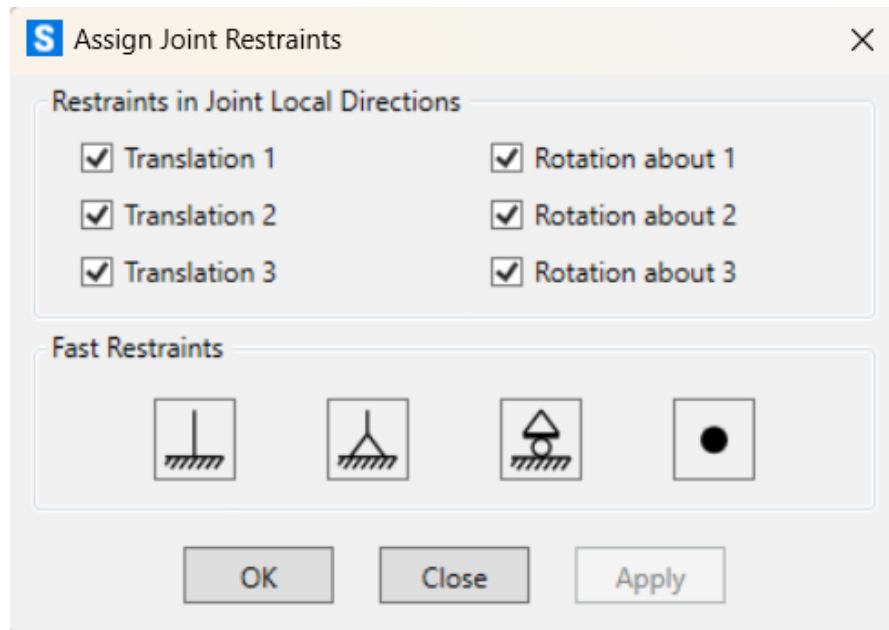
Grid ID	Spacing (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
Z1	1.5	Primary	Yes	End	
Z2	1.75	Primary	Yes	End	
Z3	1.75	Primary	Yes	End	
Z4	1.75	Primary	Yes	End	
Z5	1.75	Primary	Yes	End	
Z6	1.75	Primary	Yes	End	

**Grid Lines**

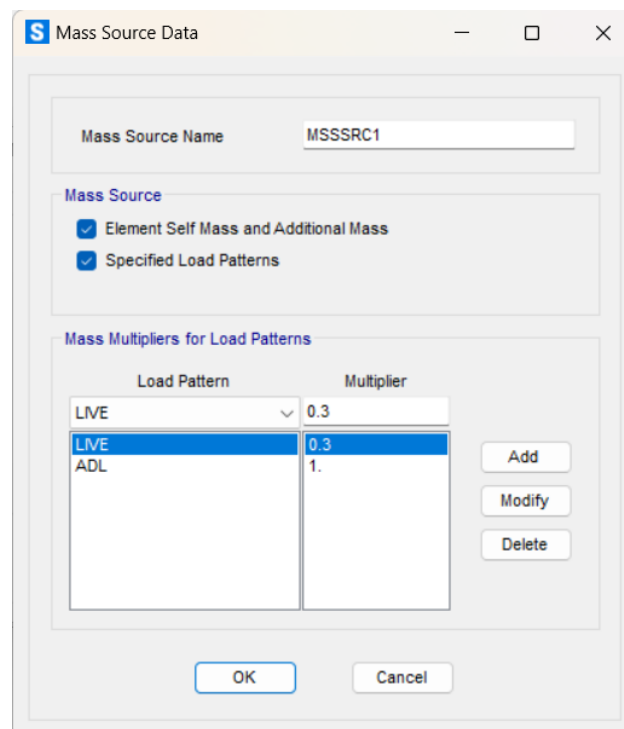
**Display Grids as**

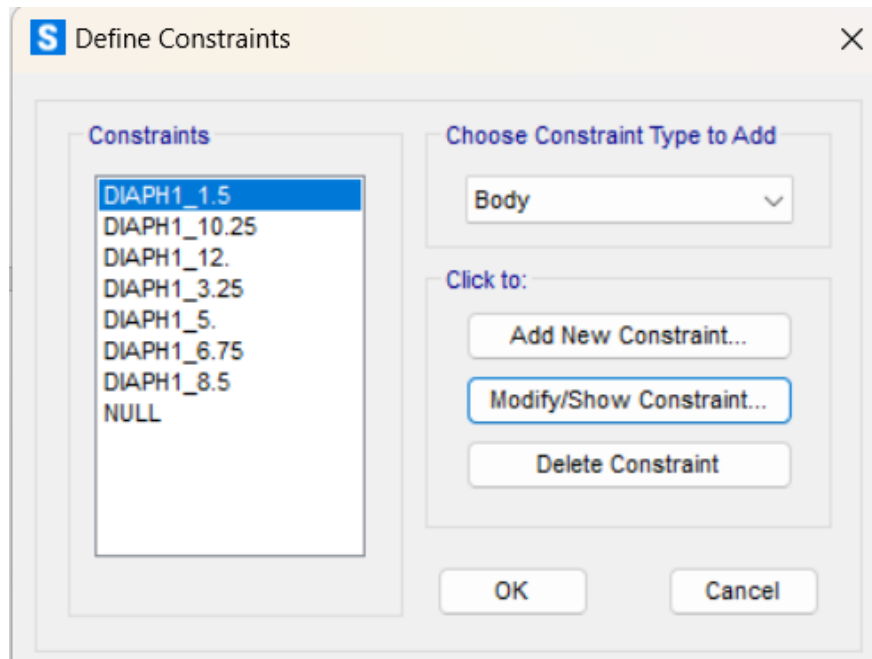
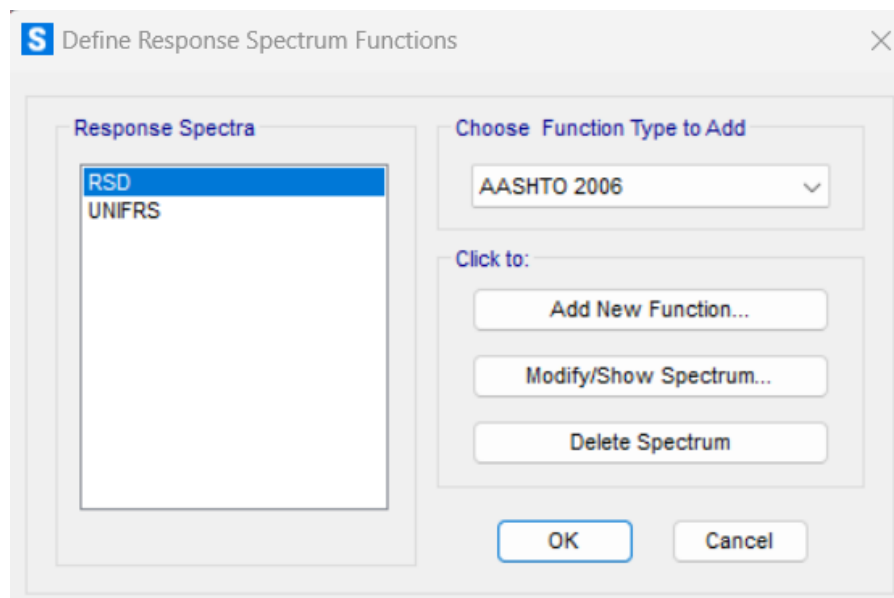
Ordinates  Spacing  
 Hide All Grid Lines  
 Glue to Grid Lines  
 Bubble Size: 1.25

### Lampiran 31 Tumpuan Jepit Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional

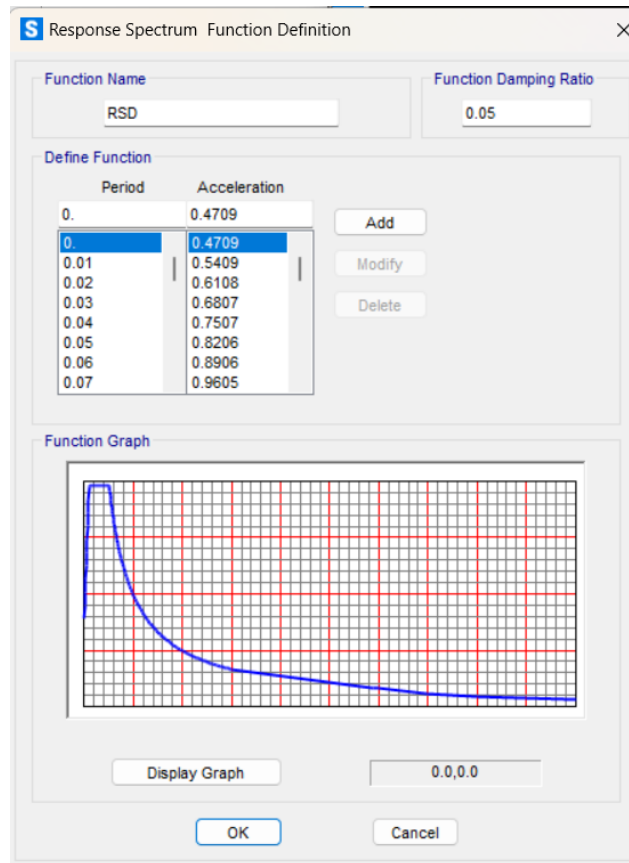


### Lampiran 32 Mass Source Data Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional

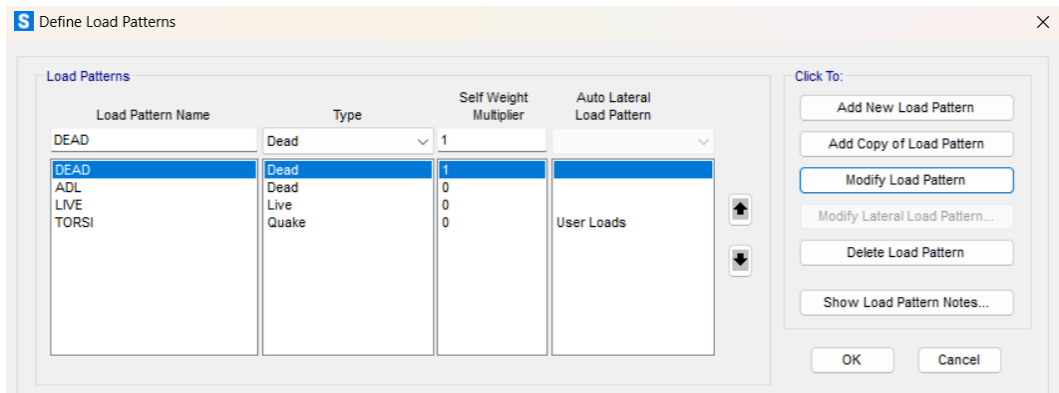


**Lampiran 33 Define Constraints Bangunan Bubble Deck dan Konvensional****Lampiran 34 Define Response Spectrum Functions Bangunan Bubble Deck dan Konvensional**

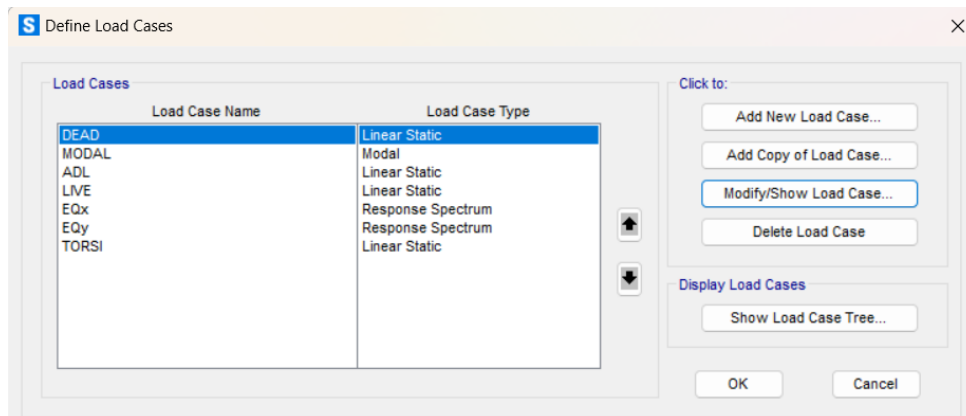
**Lampiran 35 *Input Response Spectrum Functions* Bangunan *Bubble Deck* dan *Konvensional***



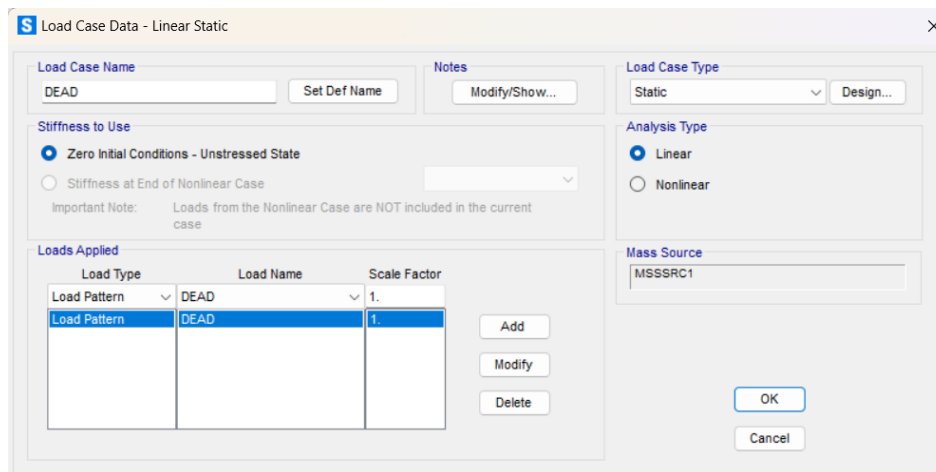
**Lampiran 36 *Define Load Patterns* Bangunan *Bubble Deck* dan *Konvensional***



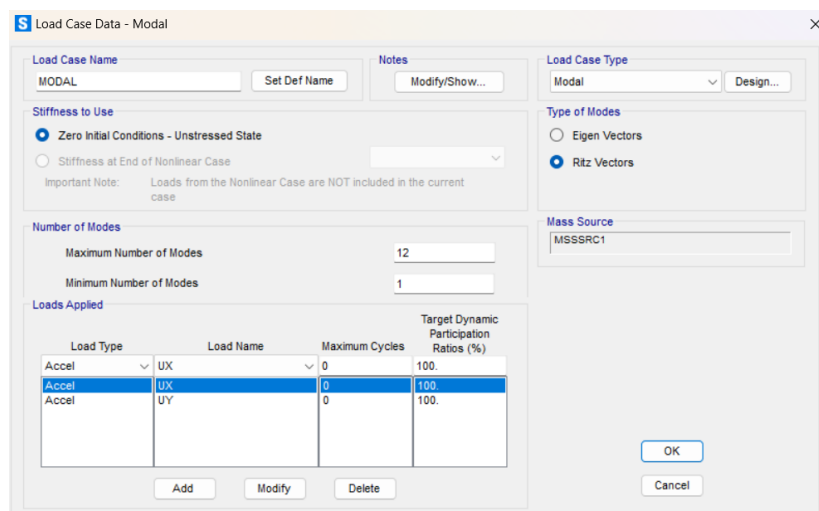
### Lampiran 37 Define Load Cases Bangunan Bubble Deck dan Konvensional



### Lampiran 38 Load Cases Dead Bangunan Bubble Deck dan Konvensional



### Lampiran 39 Load Cases Modal Bangunan Bubble Deck dan Konvensional



### Lampiran 40 *Load Cases Additional Dead Load* Bangunan *Bubble Deck* dan *Konvensional*

**S** Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: ADL Set Def Name Modify/Show... Notes

Load Case Type: Static Design...

Stiffness to Use:  Zero Initial Conditions - Unstressed State   
 Stiffness at End of Nonlinear Case   
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:  Linear   
 Nonlinear

Mass Source: MSSSRC1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	ADL	1.
Load Pattern	ADL	1.

Add Modify Delete OK Cancel

### Lampiran 41 *Load Cases Live Load* Bangunan *Bubble Deck* dan *Konvensional*

**S** Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: LIVE Set Def Name Modify/Show... Notes

Load Case Type: Static Design...

Stiffness to Use:  Zero Initial Conditions - Unstressed State   
 Stiffness at End of Nonlinear Case   
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:  Linear   
 Nonlinear

Mass Source: MSSSRC1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	LIVE	1.
Load Pattern	LIVE	1.

Add Modify Delete OK Cancel

**Lampiran 42 Load Cases Eqx Bangunan Bubble Deck**

**S Load Case Data - Response Spectrum**

Load Case Name: Eqx Set Def Name Notes Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

**Modal Combination**

CQC GMC f1: 1.  
 SRSS GMC f2: 0.  
 Absolute  
 GMC Periodic + Rigid Type: SRSS  
 NRC 10 Percent  
 Double Sum

**Modal Load Case**

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading  
 Advanced - Displacement Inertia Loading

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RSD	2.5475
Accel	U1	RSD	2.5475

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

**Other Parameters**

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

**Lampiran 43 Load Cases Eqy Bangunan Bubble Deck**

**S Load Case Data - Response Spectrum**

Load Case Name: Eqy Set Def Name Notes Modify/Show...

Load Case Type: Response Spectrum Design...

**Modal Combination**

CQC GMC f1: 1.  
 SRSS GMC f2: 0.  
 Absolute  
 GMC Periodic + Rigid Type: SRSS  
 NRC 10 Percent  
 Double Sum

**Modal Load Case**

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading  
 Advanced - Displacement Inertia Loading

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	RSD	2.5568
Accel	U2	RSD	2.5568

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

**Other Parameters**

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

### Lampiran 44 Load Cases Eqx Bangunan Konvensional

**S** Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Eqx Set Def Name Modify/Show... Notes

Load Case Type: Response Spectrum Design...

**Modal Combination**

CQC  SRSS  Absolute  GMC  NRC 10 Percent  Double Sum

GMC f1: 1.   
GMC f2: 0.   
Periodic + Rigid Type: SRSS

**Modal Load Case**

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading  Advanced - Displacement Inertia Loading

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RSD	2.6214
Accel	U1	RSD	2.6214

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

**Other Parameters**

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

### Lampiran 45 Load Cases Eqy Bangunan Konvensional

**S** Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Eqy Set Def Name Modify/Show... Notes

Load Case Type: Response Spectrum Design...

**Modal Combination**

CQC  SRSS  Absolute  GMC  NRC 10 Percent  Double Sum

GMC f1: 1.   
GMC f2: 0.   
Periodic + Rigid Type: SRSS

**Modal Load Case**

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Standard - Acceleration Loading  Advanced - Displacement Inertia Loading

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	RSD	2.6353
Accel	U2	RSD	2.6353

Add Modify Delete

Show Advanced Load Parameters

**Other Parameters**

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

OK Cancel

### Lampiran 46 *Load Patterns* Torsi Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional

**S** Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: TORSI Set Def Name Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Stiffness to Use:  Zero Initial Conditions - Unstressed State  
 Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type:  Linear  
 Nonlinear

Mass Source: MSSSRC1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	TORSI	1.
Load Pattern	TORSI	1.

Add Modify Delete OK Cancel

### Lampiran 47 *Define Load Combinations* Bangunan *Bubble Deck* dan Konvensional

**S** Define Load Combinations

Load Combinations

- 1.D + 0.3L
- Ex+0.3Ey+T
- Ey+0.3Ex+T
- 1.4 D
- 1.2D + 1.6L
- 1.2D + Ea + L
- 1.2D + Eb + L
- 1.2D + Ec + L
- 1.2D + Ed + L
- 1.2D + Ee + L
- 1.2D + Ef + L
- 1.2D + Eg + L
- 1.2D + Eh + L
- 0.9D + Ea
- 0.9D + Eb
- 0.9D + Ec
- 0.9D + Ed

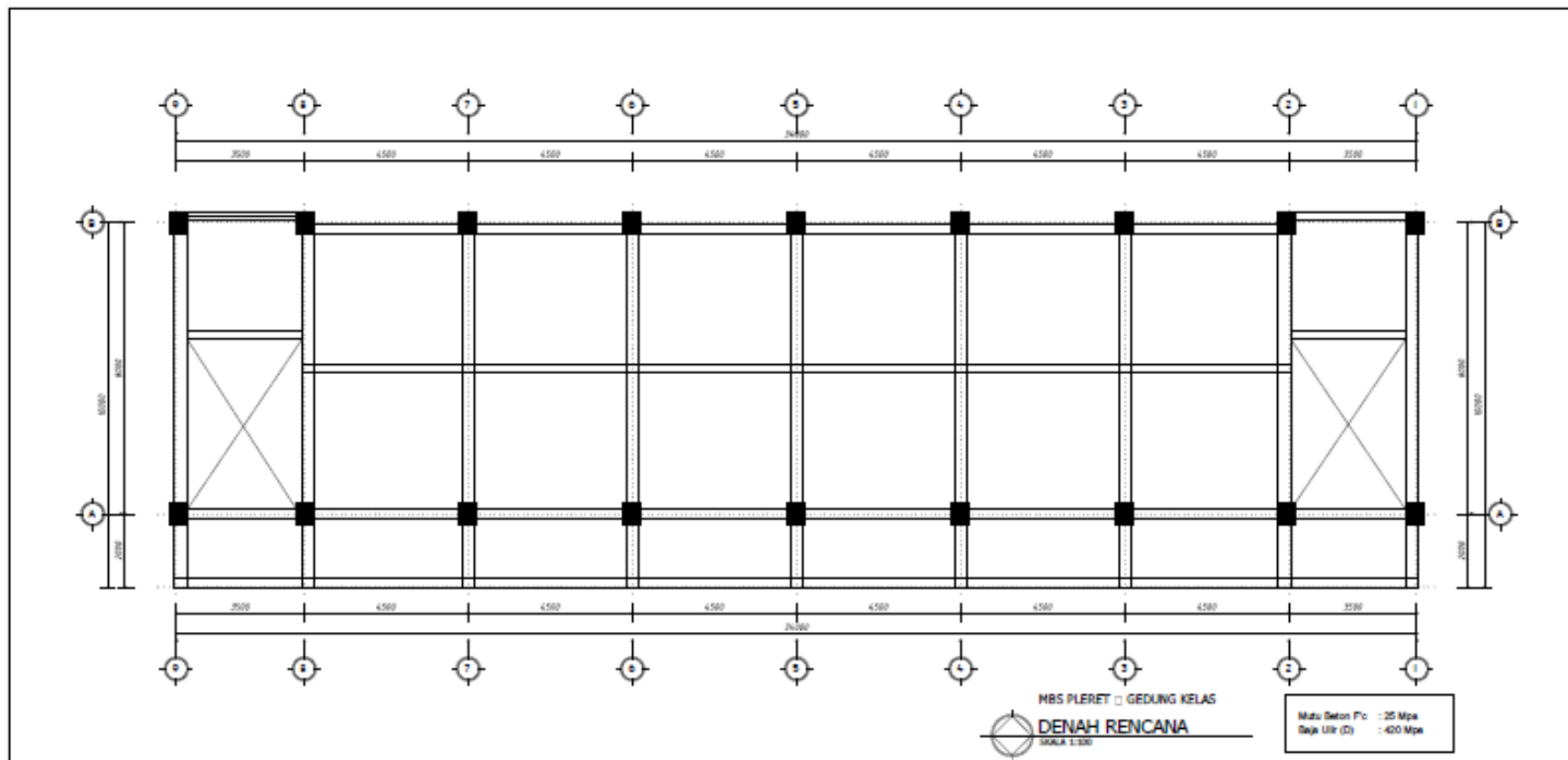
Click to:

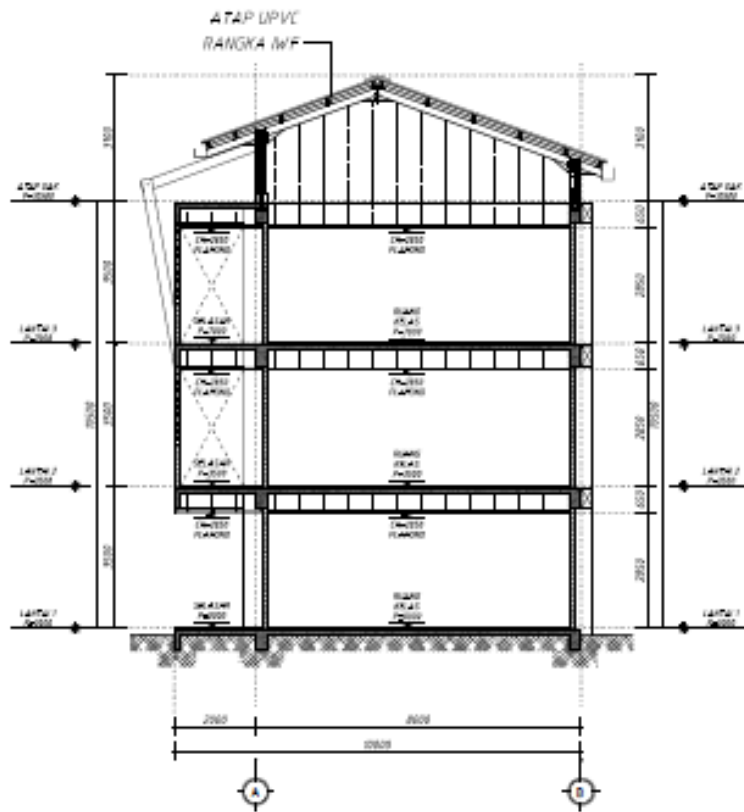
Add New Combo...  
Add Copy of Combo...  
Modify/Show Combo...  
Delete Combo

Add Default Design Combos...  
Convert Combos to Nonlinear Cases...

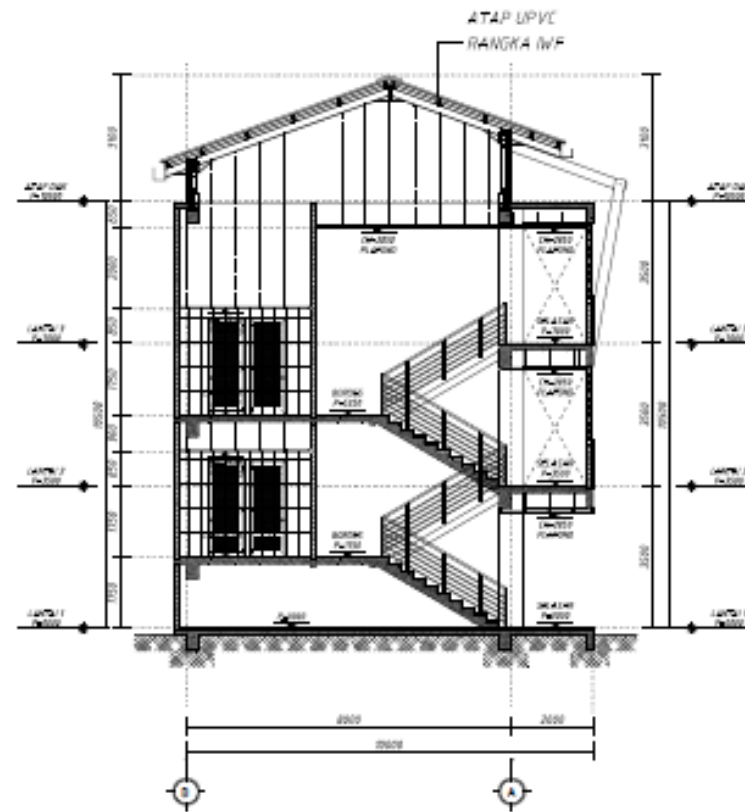
OK Cancel

Lampiran 48 *Detail Gambar Denah Kodefikasi dan Penulangan Bangunan dengan Pelat Bubble Deck serta Konvensional*

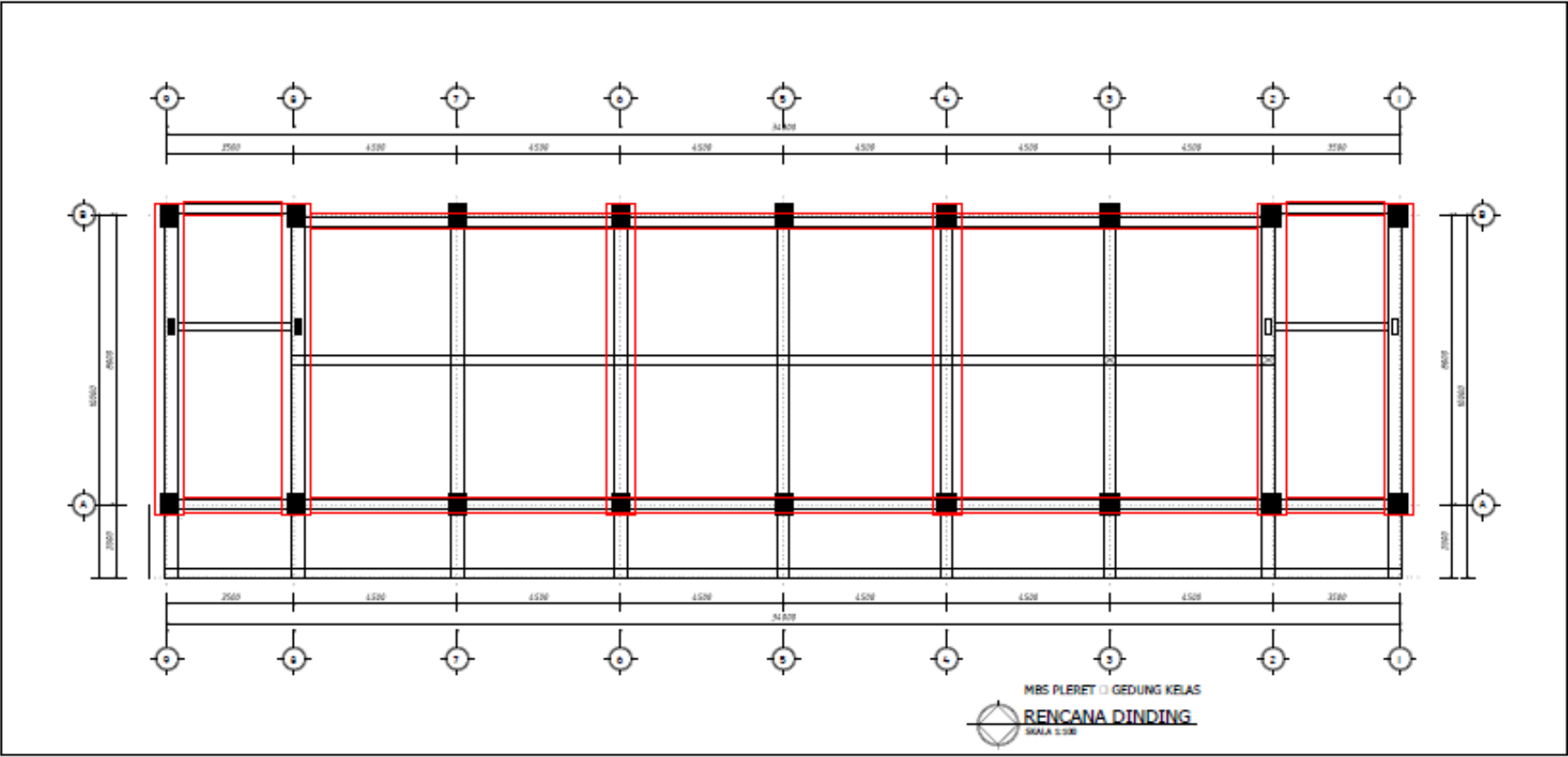


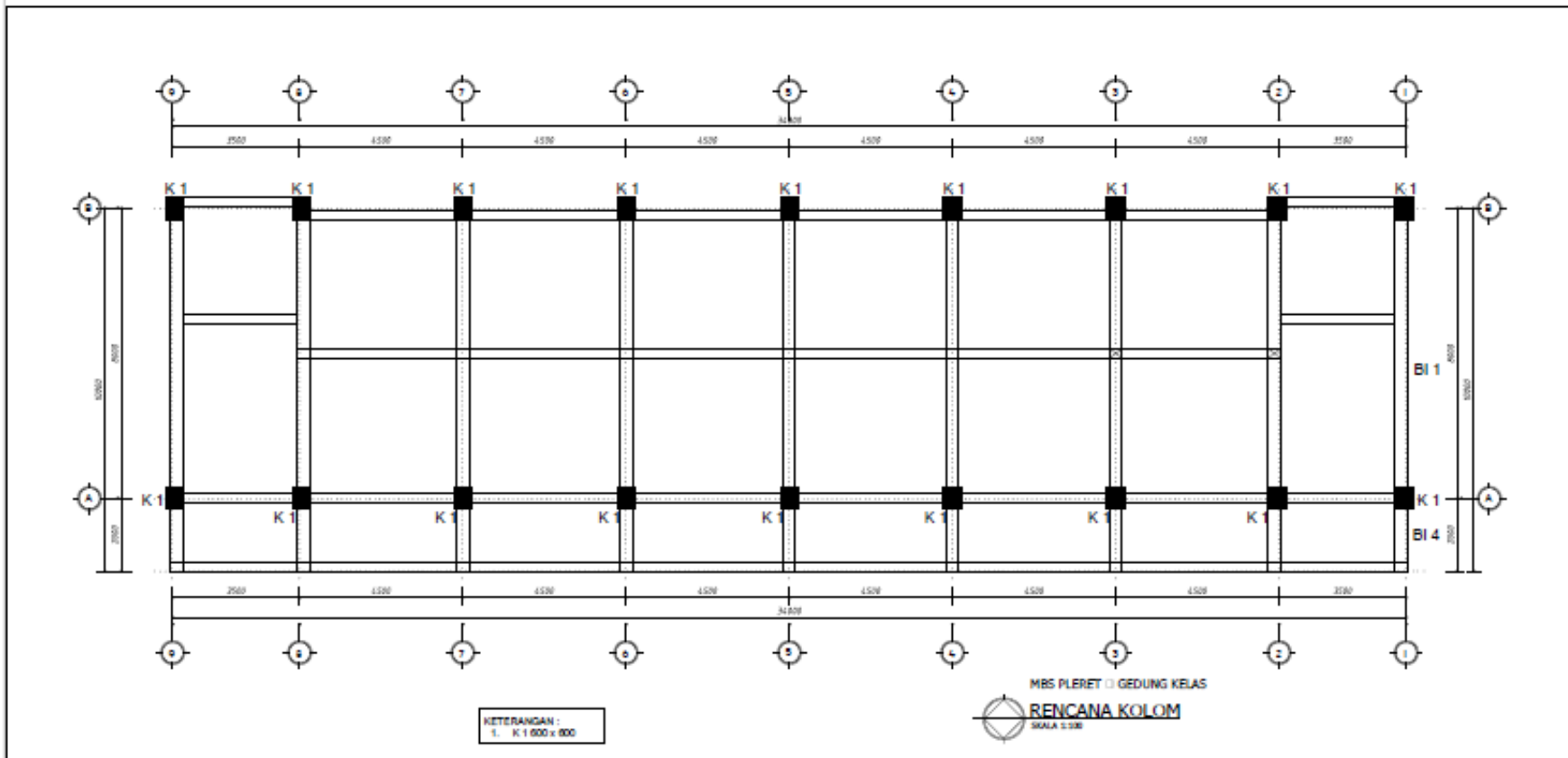


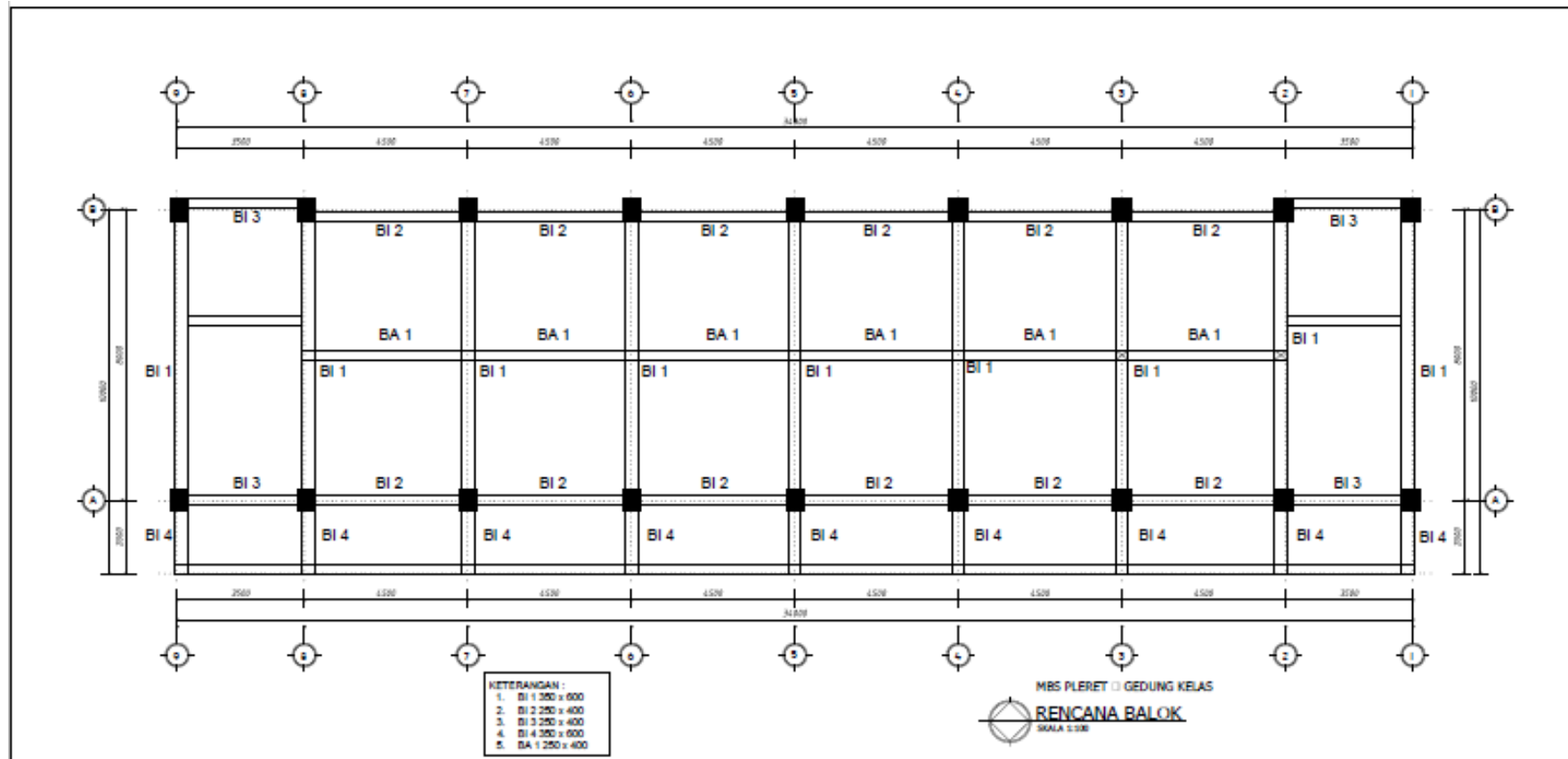
MBS FLORET - GEDUNG KELAS  
**POTONGAN C**  
 SKALA 1 : 100

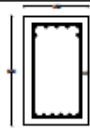
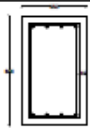


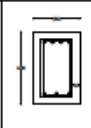

MBS FLORET - GEDUNG KELAS  
**POTONGAN D**  
 SKALA 1 : 100

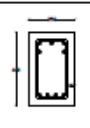
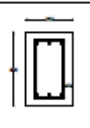


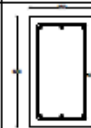
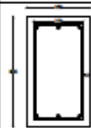


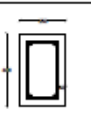
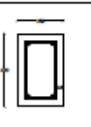


TYPE	BALOK BI 1 350/600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	7D16	4D16
TULANGAN BAWAH	8D16	4D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

TYPE	BALOK BI 2 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	4D16	2D16
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

TYPE	BALOK BI 3 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	5D16	3D16
TULANGAN BAWAH	4D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

TYPE	BALOK BI 4 350/600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	3D16	3D16
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

TYPE	BALOK BA 1 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	2D16	2D16
TULANGAN BAWAH	2D16	2D16
SENGKANG	2P10 - 150	2P10 - 150

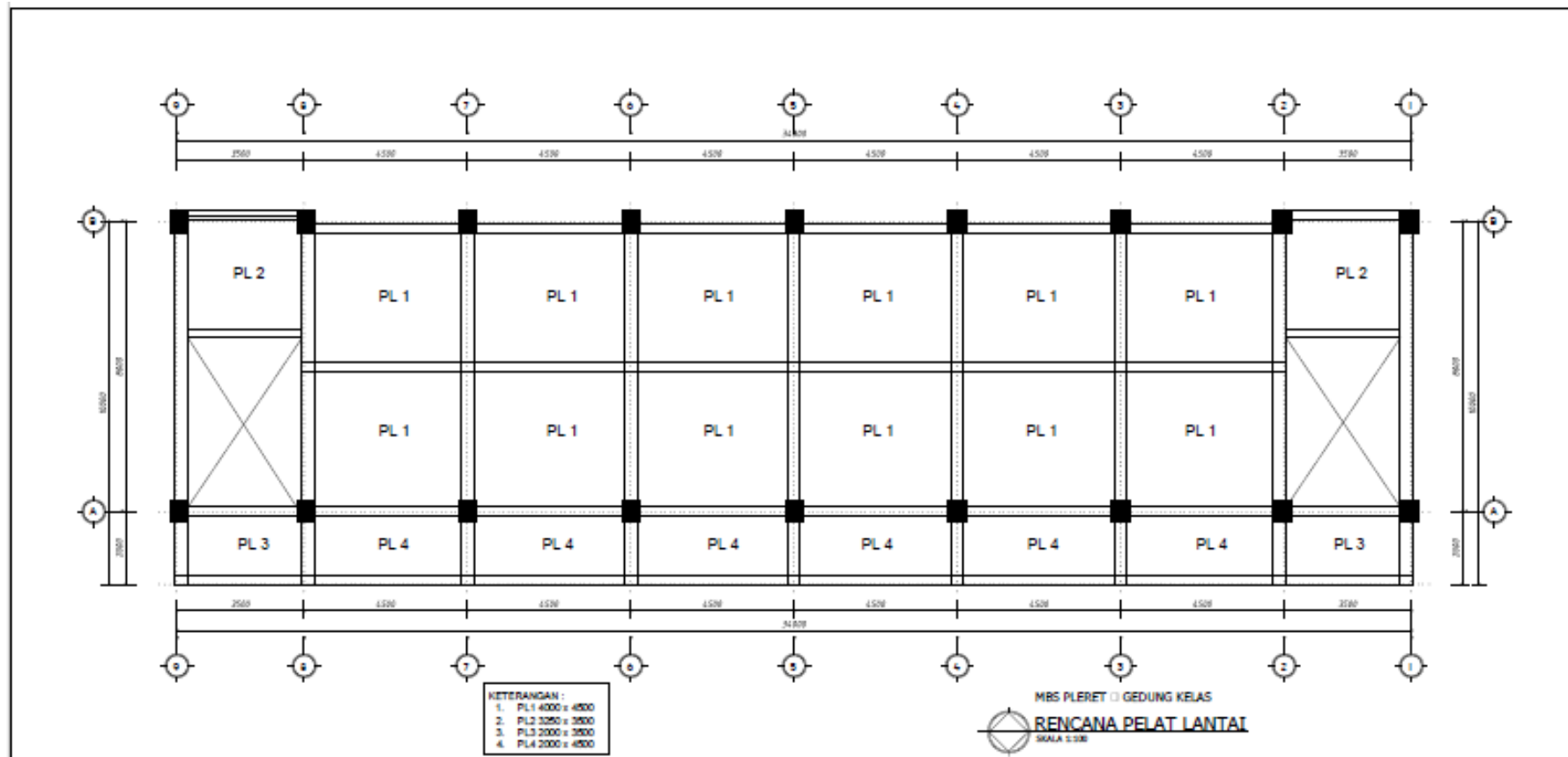
TYPE	BALOK BI 1 350/600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	8D16	8D16
TULANGAN BAWAH	7D16	5D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

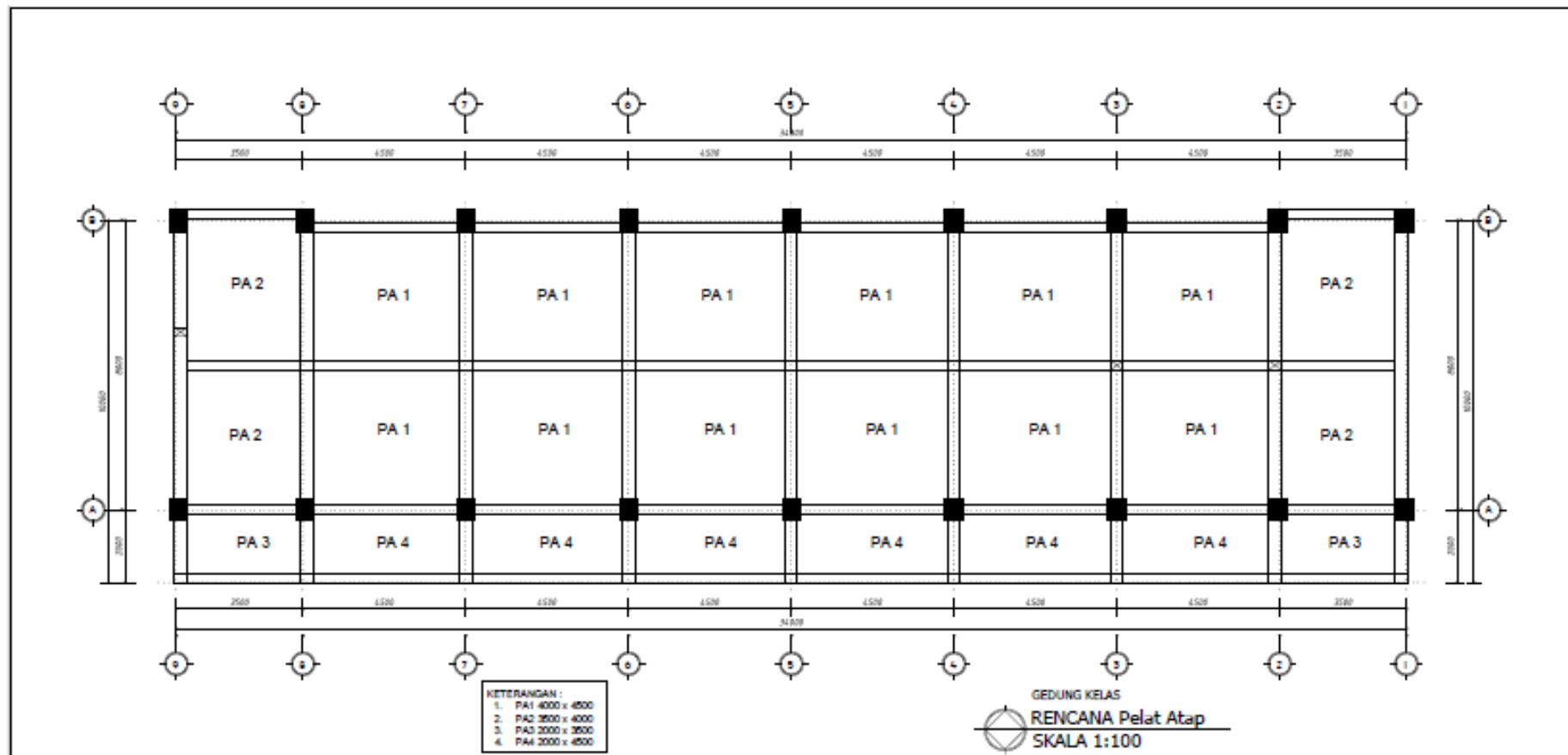
TYPE	BALOK BI 2 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	8D16	2D16
TULANGAN BAWAH	4D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

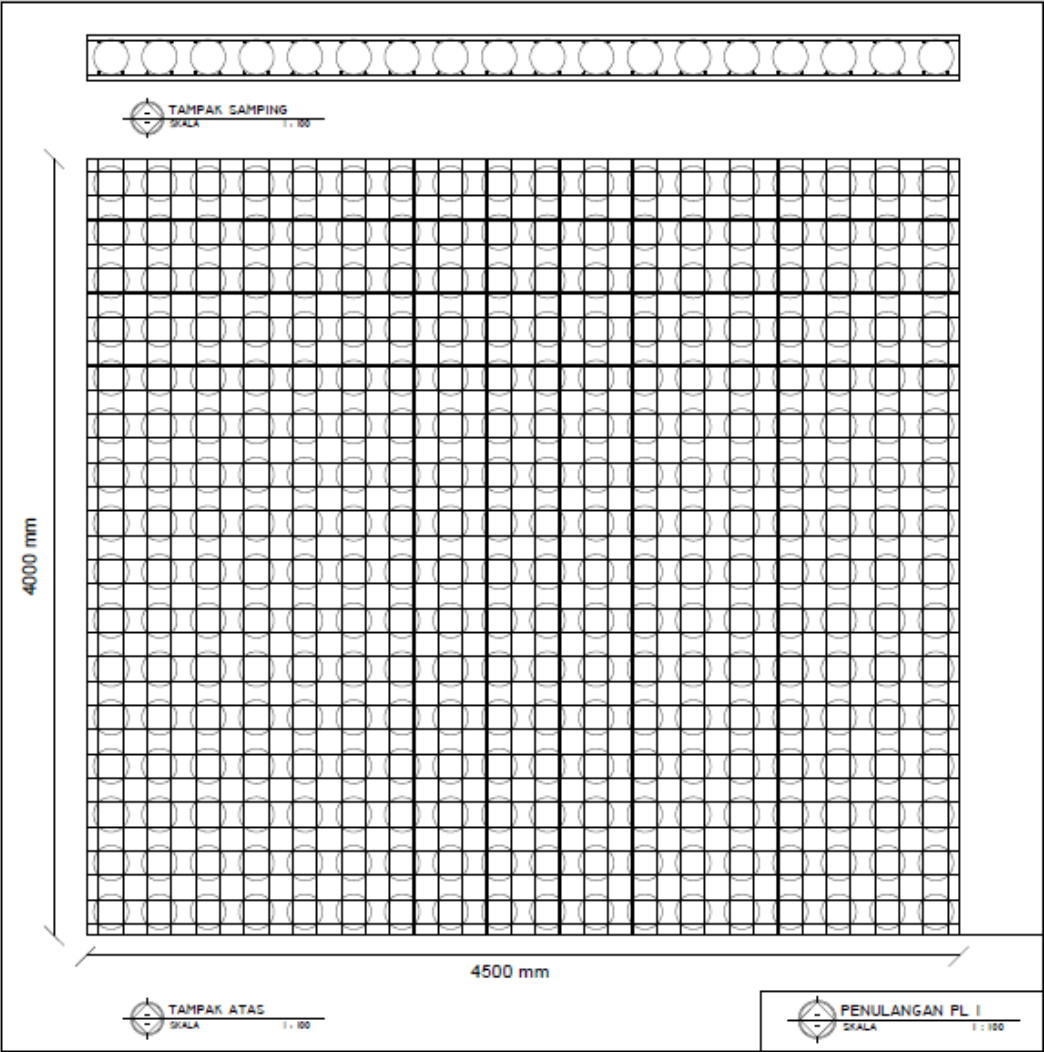
TYPE	BALOK BI 3 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	8D16	3D16
TULANGAN BAWAH	5D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

TYPE	BALOK BI 4 350/600	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	4D16	3D16
TULANGAN BAWAH	3D16	3D16
SENGKANG	2P10 - 100	2P10 - 150

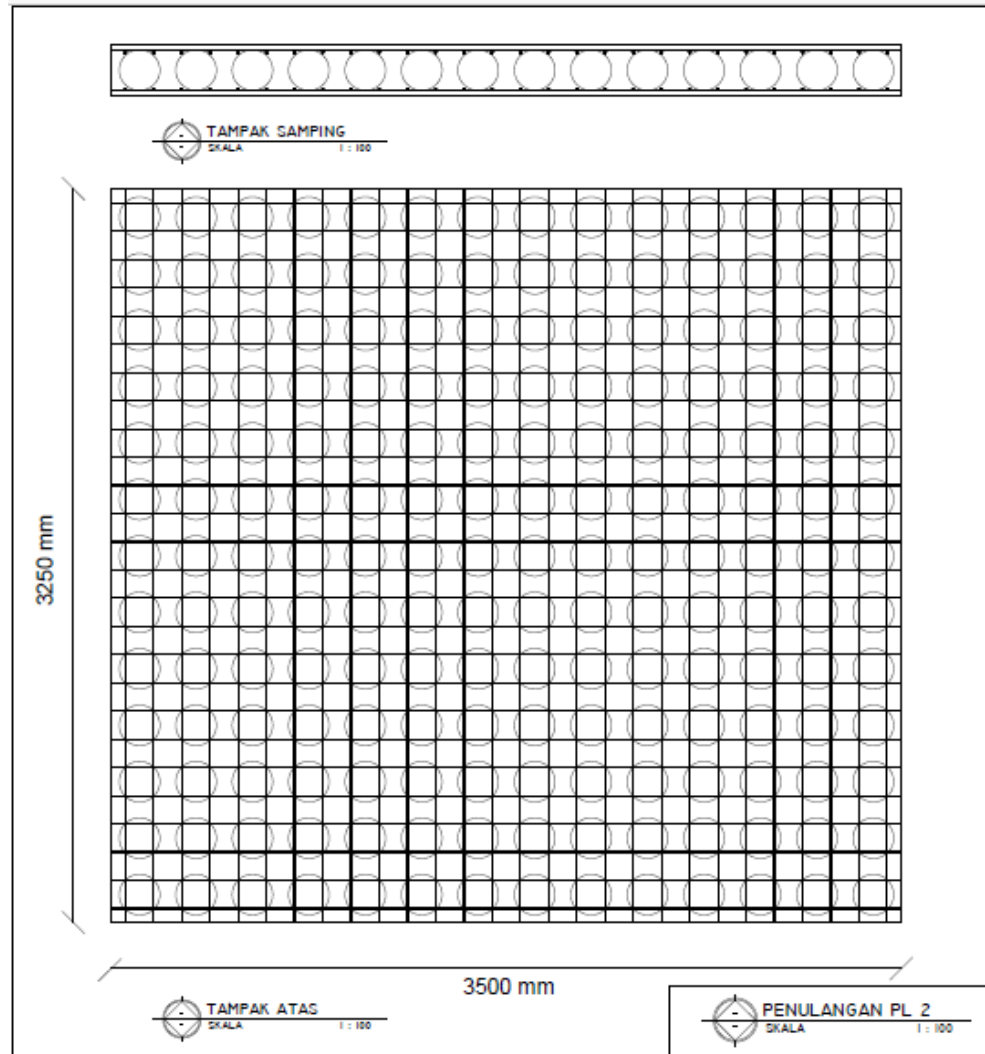
TYPE	BALOK BA 1 250/400	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	2D16	2D16
TULANGAN BAWAH	2D16	2D16
SENGKANG	2P10 - 150	2P10 - 150



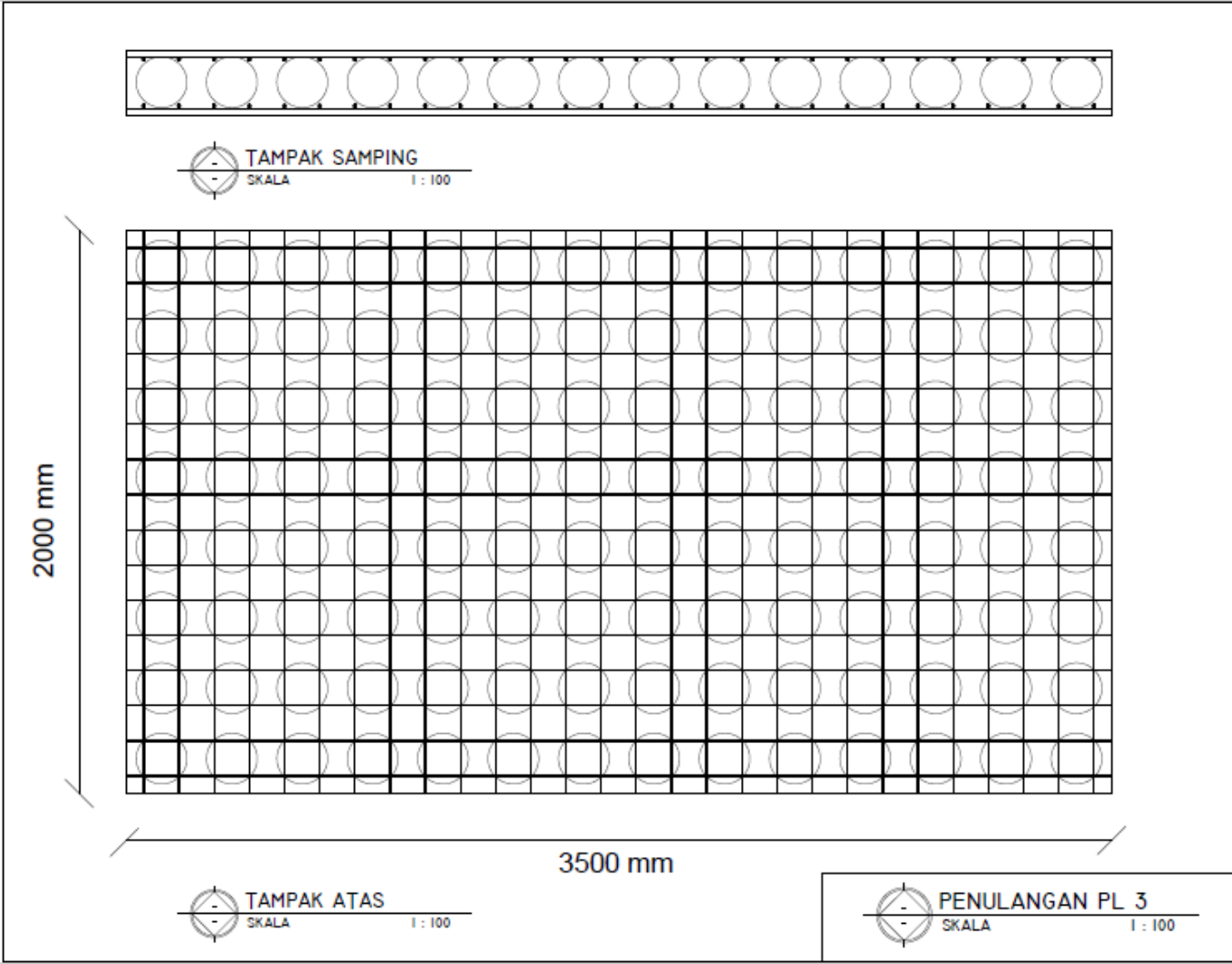




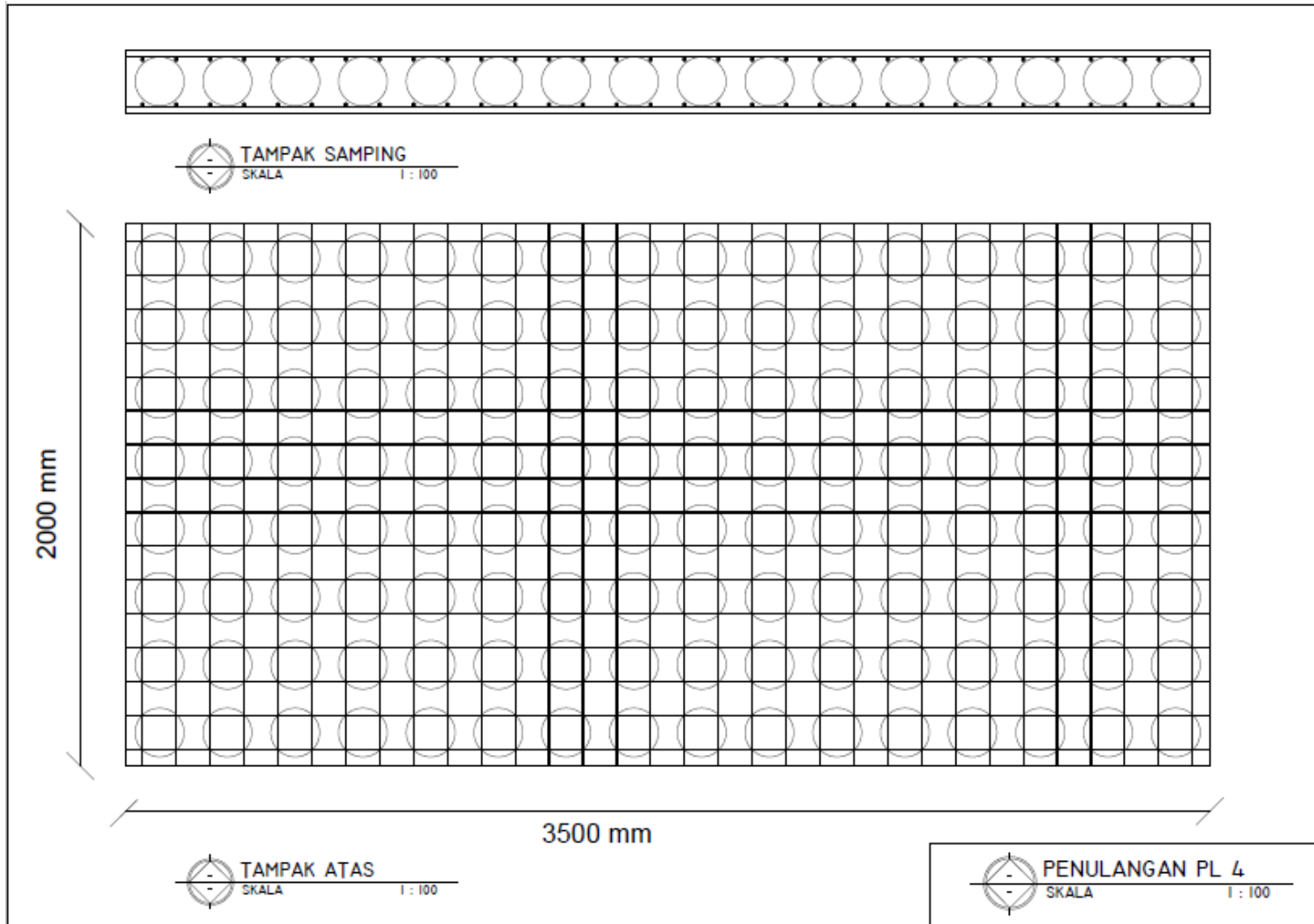
TYPE	PELAT LANTAI PL 1 4000/4500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D13 - 125	D13 - 125
TULANGAN BAWAH	D13 - 125	D13 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	



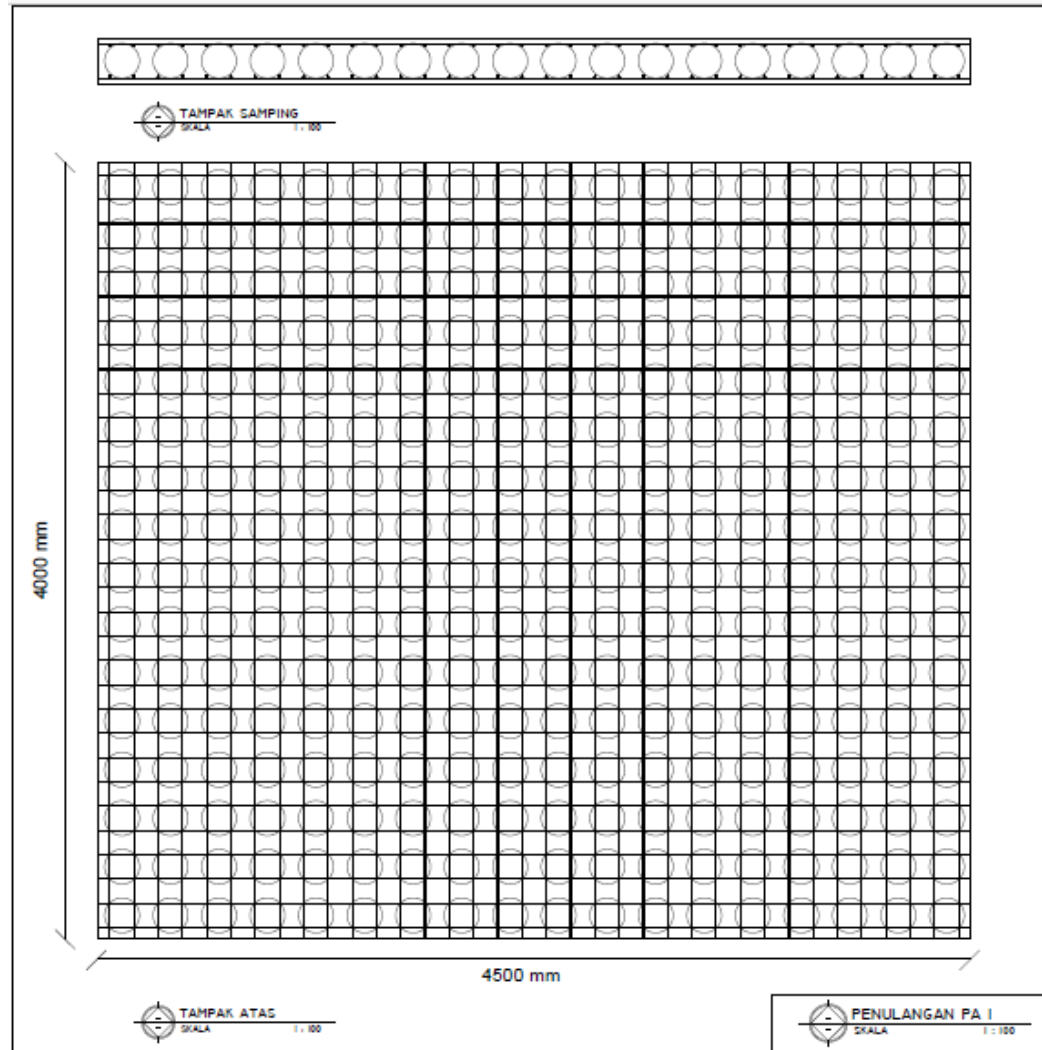
TYPE	PELAT LANTAI PL 2 3250/3500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D13 - 125	D13 - 125
TULANGAN BAWAH	D13 - 125	D13 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	

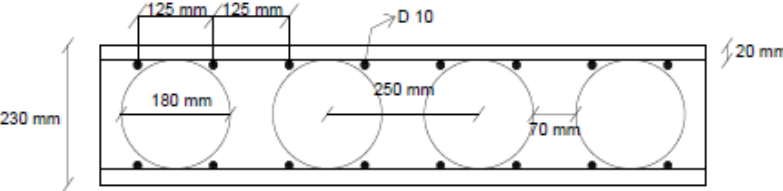


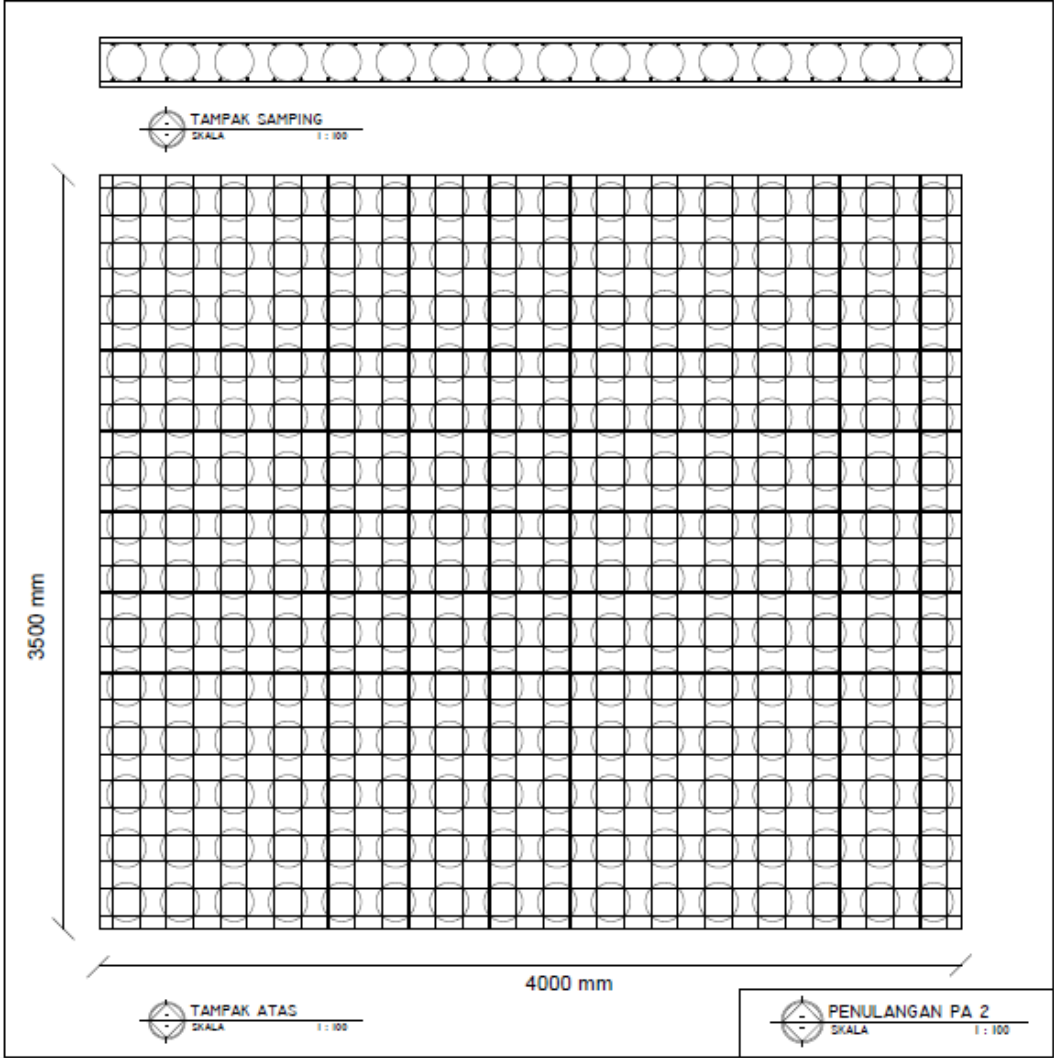
TYPE	PELAT LANTAI PL 3 2000/3500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D13 - 125	D13 - 125
TULANGAN BAWAH	D13 - 125	D13 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	



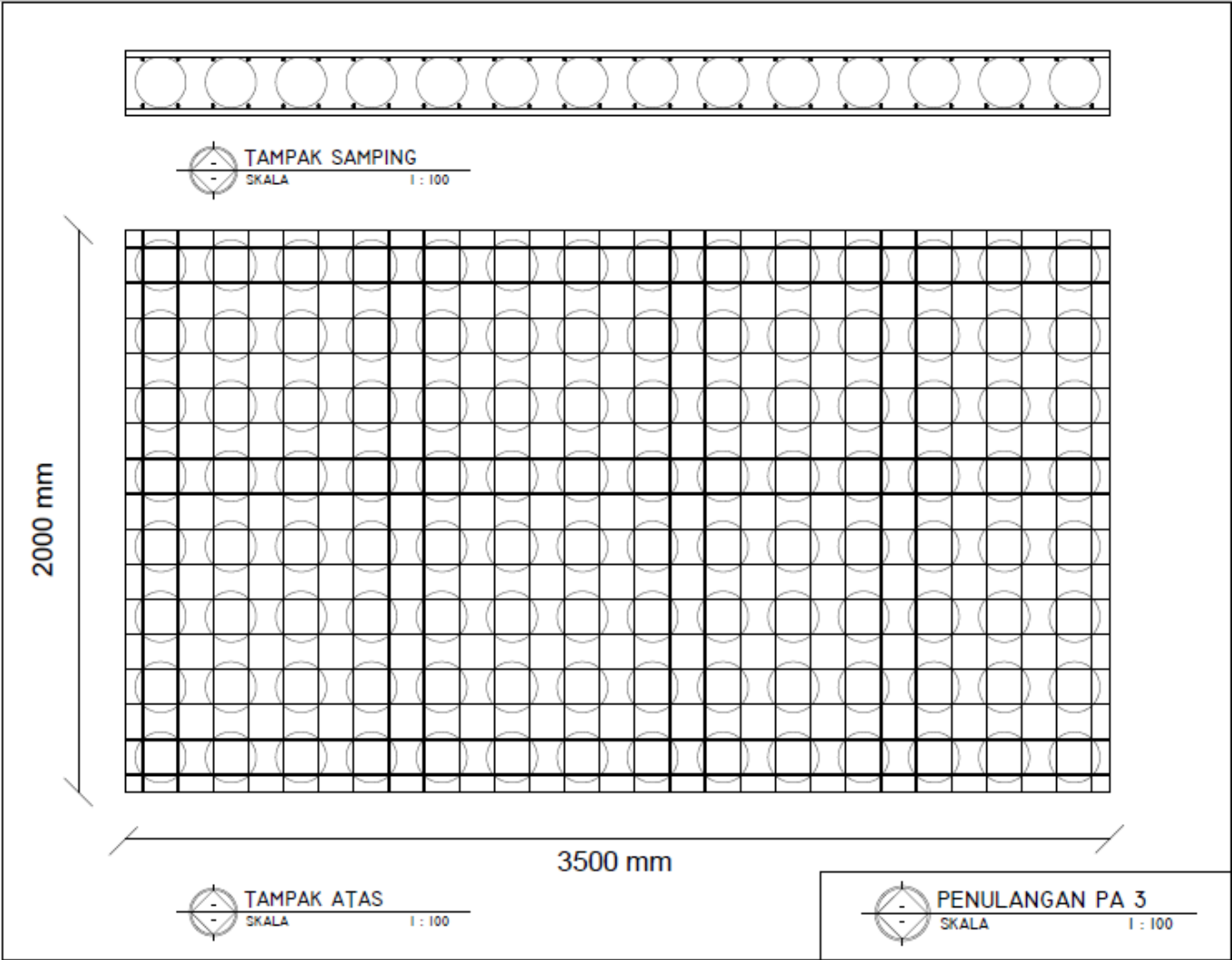
TYPE	PELAT LANTAI PL 4 2000/3500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	

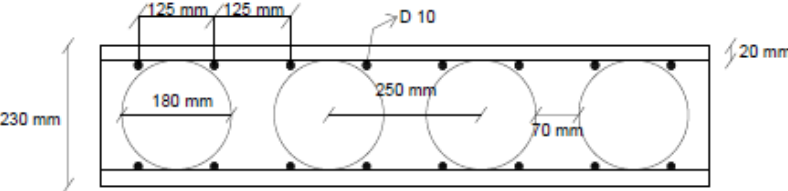


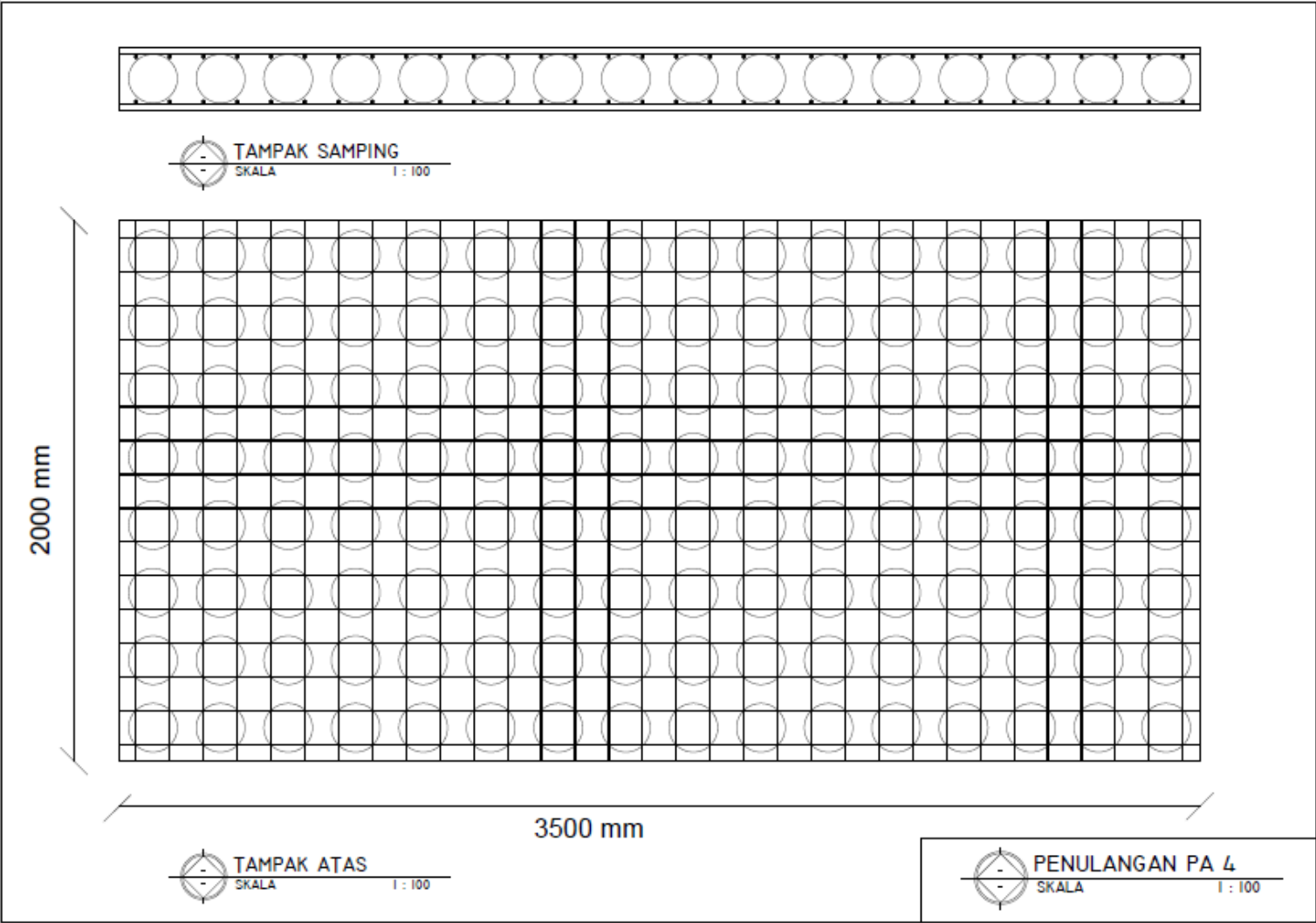
TYPE	PELAT ATAP PA 1 4000/4500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	



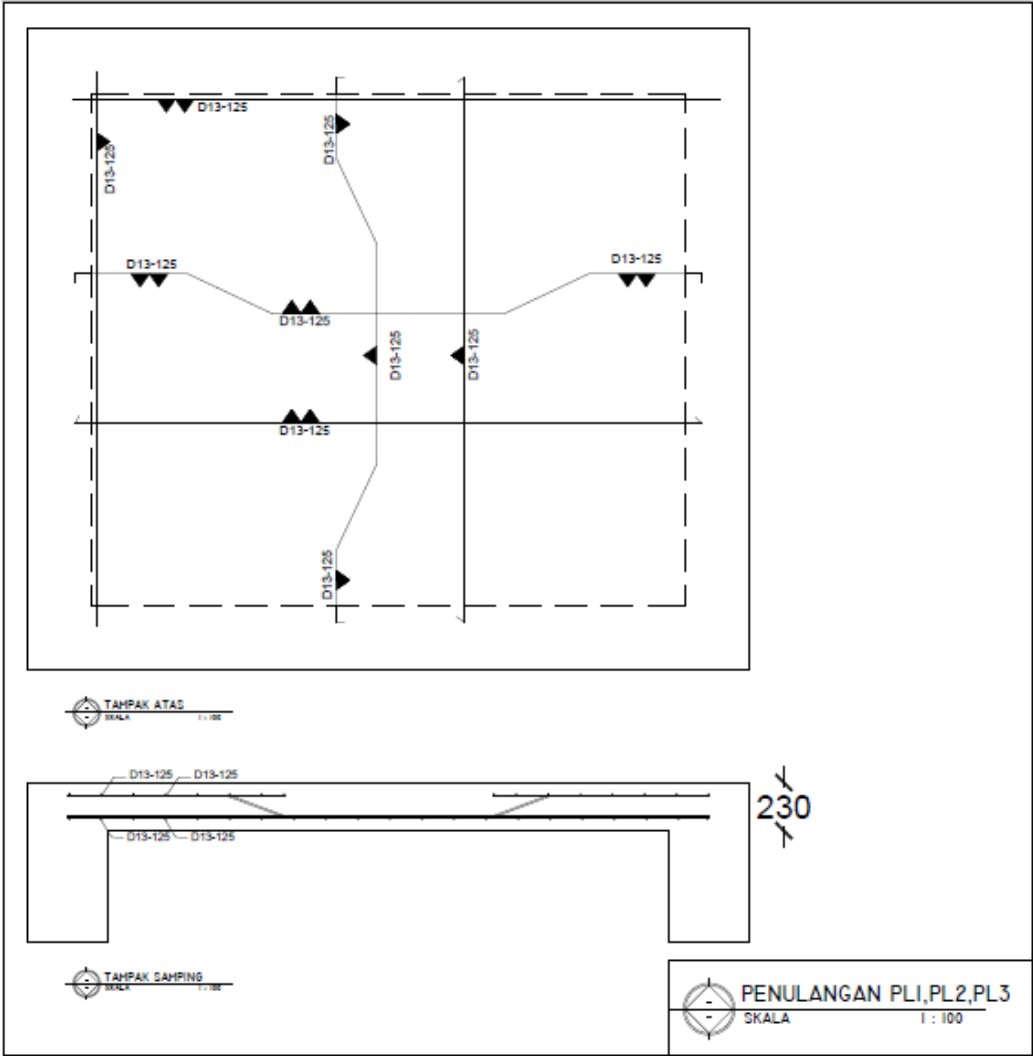
TYPE	PELAT ATAP PA 2 3500/4000	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	

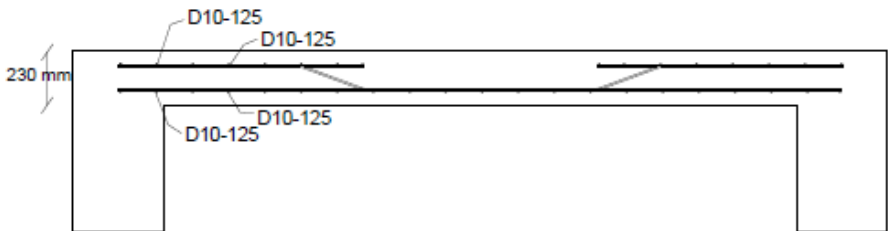


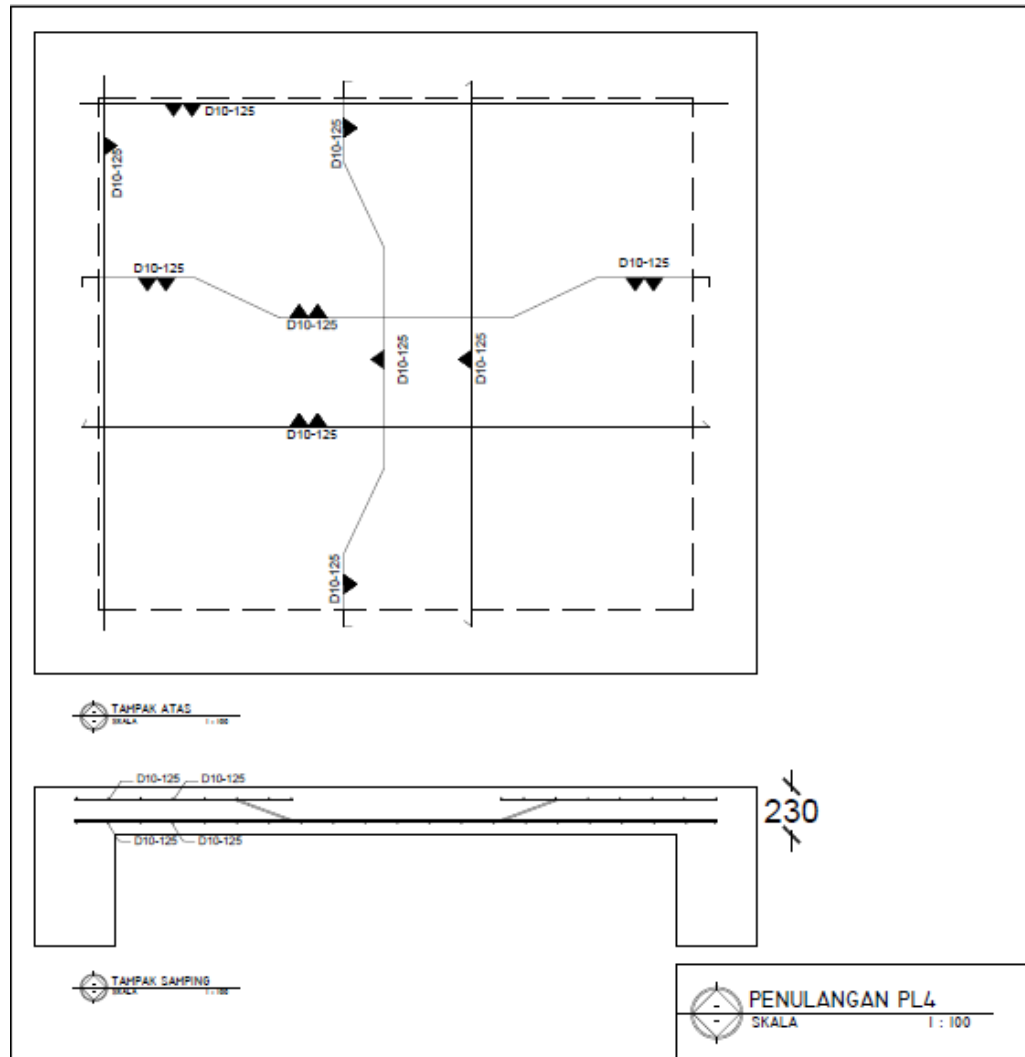
TYPE	PELAT ATAP PA 3 2000/3500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	

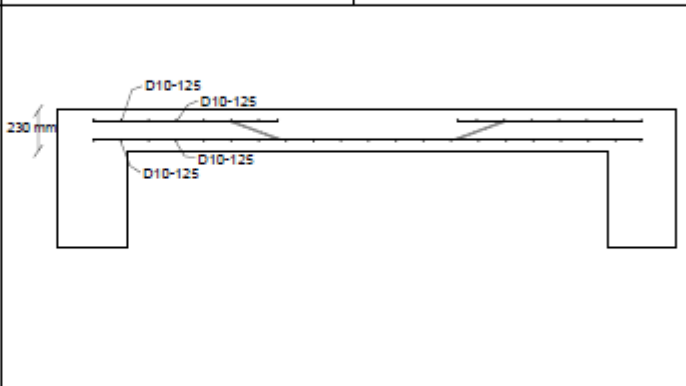


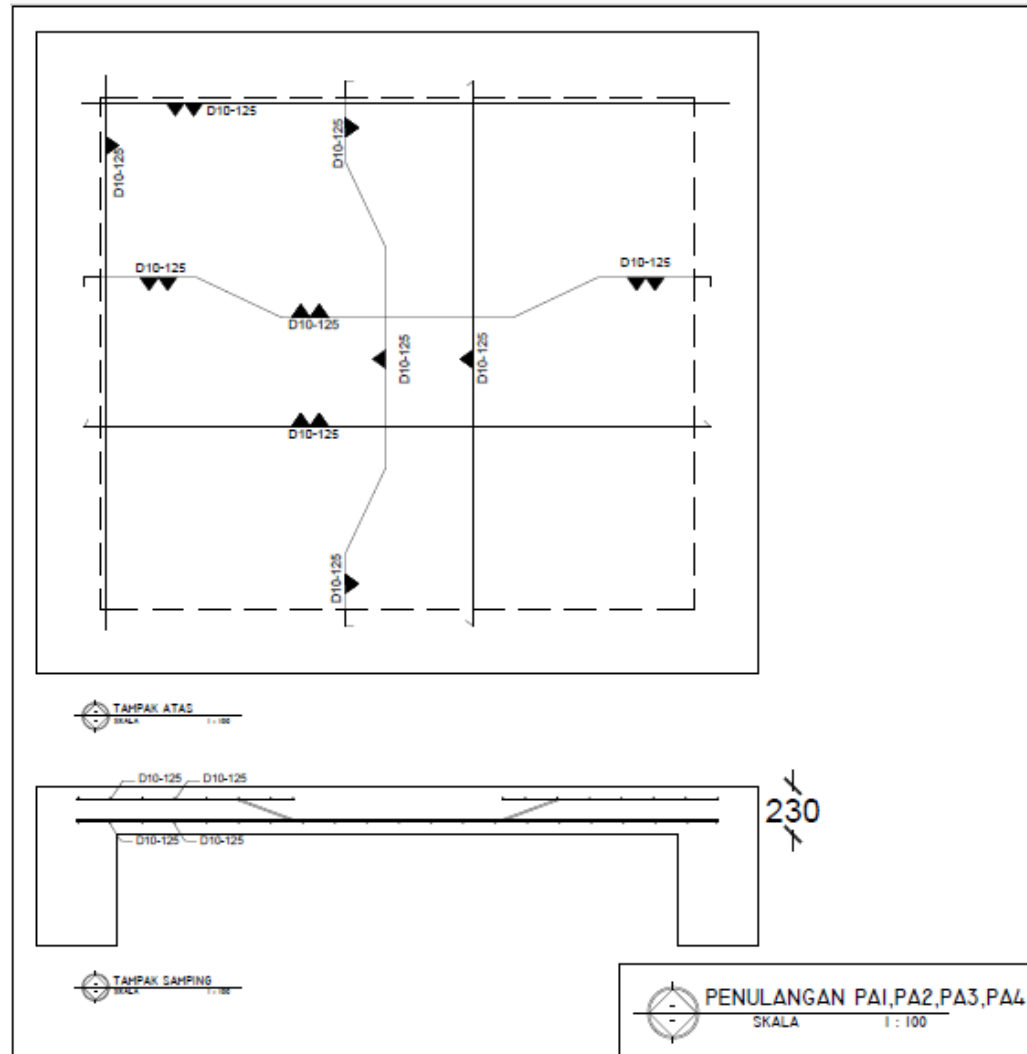
TYPE	PELAT ATAP PA 4 2000/3500	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	
DIAMETER BOLA	180 mm	
AS TO AS BOLA	250 mm	

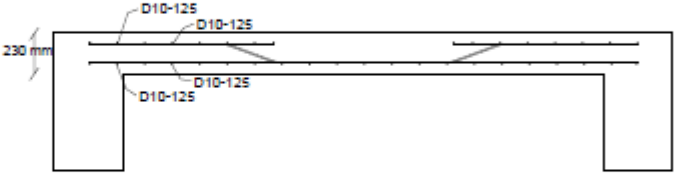


TYPE	PELAT ATAP PL 1, PL 2, PL 3	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	



TYPE	PELAT ATAP PL 4	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	



TYPE	PELAT ATAP PA 1,PA 2,PA 3,PA 4	
POSISI	Lx	Ly
POTONGAN		
TULANGAN ATAS	D10 - 125	D10 - 125
TULANGAN BAWAH	D10 - 125	D10 - 125
H PELAT	230 mm	
SELIMUT BETON	20 mm	