

TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN STRUKTUR GEDUNG PARKIR BENTANG PANJANG TERHADAP BEBAN GEMPA PADA KONDISI TANAH SEDANG DAN LUNAK (STUDY OF LONG-SPAN PARKING BUILDING STRUCTURES COMPARISON DUE TO EARTHQUAKE LOAD IN THE MEDIUM AND SOFT SOIL CONDITIONS)

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



Ichsan Pramono

11511003

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN STRUKTUR GEDUNG BENTANG PANJANG TERHADAP BEBAN GEMPA PADA KONDISI TANAH SEDANG DAN LUNAK (STUDY OF LONG-SPAN PARKING BUILDING STRUCTURES COMPARISON DUE TO EARTHQUAKE LOAD IN THE MEDIUM AND SOFT SOIL CONDITIONS)

Disusun oleh

Ichsan Pramono

11511003

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

diuji pada tanggal

oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Yunalia Muntafi S.T.M.T.

Penguji I

Dr. Ir. Harsoyo M. Sc.

Penguji II

Ir. Helmy Akbar Bale M. T.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D

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, ...2017

Yang membuat pernyataan,



Ichsan Pramono

(11511003)

MOTTO

“Ia percaya bahwa ia adalah salah satu yang terbaik, dan ia pun bertindak dan berkarya sebagai yang terbaik.”

(David J. Schwartz)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamin, atas berkat rahmat dan karunia Allah Subhanahu wa Ta’ala, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada:

Bapak dan Ibu penulis, yang telah berkorban baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, atas berkat rahmat dan karunia Allah Subhanahu wa Ta'ala, skripsi dengan judul “Studi Perilaku Gedung Parkir Bentang Panjang terhadap Beban Gempa pada Kondisi Tanah Sedang dan Lunak” ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu prasyarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapat arahan, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing.
2. Dr. Ir. Harsoyo, M.Sc., selaku dosen penguji I.
3. Ir. Helmy Akbar Bale, M.T., selaku dosen penguji II.
4. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban, baik material maupun spiritual, hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Angga Erlangga, Wibisono, Hindami Hibbatul, Arya Praditya, Abelse Oktanza, Raafi Widya, Bantara Husna, Rizki Raharjo, Anandhika Dwi, Lantika Nur, Disa Citra, dan segenap keluarga besar *Anacondas Kingdom*, atas arahan, bimbingan, motivasi dan inspirasinya.
6. Segenap keluarga besar Teknik Sipil 2011.
7. Semua pihak yang telah memberi arahan, bimbingan dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwasanya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu, agar dalam penyusunan Tugas Akhir kedepannya dapat lebih bermanfaat dan lebih baik

Harapan penulis dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini adalah agar dapat mengantarkan penulis mendapatkan gelar Sarjana Strata Satu Teknik Sipil, yang mana nantinya diharapkan dapat berguna dan bermanfaat bagi dunia konstruksi di masa yang mendatang.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 19 Maret 2017

Penulis,

Ichsan Pramono

11511003

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK DAN ABSTRACT	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	3
1.3. TUJUAN PENELITIAN	3
1.4. BATASAN MASALAH	3
1.5. MANFAAT PENELITIAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. TINJAUAN UMUM	5
2.2. TINJAUAN PENELITIAN TERDAHULU	5
2.2.1. Perancangan Struktur Gedung Parkir Menara Bossowa	5
2.2.2. Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Puncak Permai dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan pada Lantai 15 sebagai Ruang Pertemuan	6
2.2.3. Perencanaan Portal Bangunan Bertingkat 10 dengan Menggunakan <i>Prestressed Concrete</i> Sesuai dengan ACI 318-05	7

2.2.4. Studi Perilaku Struktur Gedung akibat Pengaruh Gempa dengan Mempertimbangkan Efek <i>Soil-Structure Interaction</i>	8
2.2.5. Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang terhadap Beban Gempa	8
2.3. KEASLIAN PENELITIAN	9
BAB III LANDASAN TEORI	8
3.1. PERENCANAAN GEOMETRI GEDUNG PARKIR	9
3.1.1. Gedung Parkir	10
3.1.2. Tempat Parkir	11
3.1.3. Satuan Ruang Parkir	11
3.1.4. Pola Parkir	11
3.1.5. Jalur Gang	12
3.1.6. Ramp	13
3.2. PEMBEBANAN STRUKTUR	13
3.2.1. Beban Mati	13
3.2.2. Beban Hidup	13
3.2.3. Beban Gempa	14
3.3. PEMBEBANAN ULTIMIT	15
3.3.1. Kombinasi Pembebanan	15
3.3.2. Faktor Reduksi Kekuatan	16
3.4. BETON BERTULANG	17
3.4.1. Tulangan Baja Biasa	17
3.5. PELAT BETON BERTULANG	17
3.5.1. Tebal Minimum Pelat	17
3.6. LENTUR BALOK BETON BERTULANG	18
3.6.1. Kekuatan Momen Nominal	18
3.6.2. Penulangan Minimum	18
3.7. GESER BALOK BETON BERTULANG	19
3.8. KOLOM BETON BERTULANG	19
3.8.1. Ketentuan Perencanaan	20
3.9. BETON PRATEGANG	21

3.9.1. Profil Tendon Prategang	21
3.9.2. Metode Dasar Tegangan di Serat Beton	22
3.9.3. Sistem Prategang	23
3.9.4. Kehilangan Prategang	23
3.10. LENTUR BALOK PRATEGANG	24
3.10.1. Kekuatan Momen Nominal	24
3.10.2. Kekuatan Lentur Nominal Penampang Persegi Panjang	25
3.10.3. Kekuatan Lentur Nominal Penampang Bersayap	25
3.10.4. Penentuan Tegangan Gagal Nominal Baja Prategang	26
3.10.5. Batas-Batas Nilai Indeks Penulangan	26
3.10.6. Estimasi Awal Dimensi Penampang	28
3.11. GESER BALOK PRATEGANG	29
3.11.1. Kuat Geser Badan	29
3.12. PERILAKU STRUKTUR	29
3.12.1. Simpangan Struktur	30
3.12.2. <i>Story Drift</i>	31
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	32
4.1. TINJAUAN UMUM	32
4.2. DATA DENAH	32
4.3. DATA STRUKTUR	34
4.4. ANALISIS STRUKTUR	34
4.5. BAGAN PROSES PERHITUNGAN STRUKTUR	34
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	38
5.1. GEOMETRI STRUKTUR	38
5.2. PRELIMINARI STRUKTUR	41
5.2.1. Material	41
5.2.2. Pelat	42
5.2.3. Balok	43
5.2.4. Kolom	44
5.2.5. Pondasi	45

5.3. PEMBEBANAN STRUKTUR	45
5.3.1. Beban Mati	46
5.3.2. Beban hidup	46
5.3.3. Beban Gempa	47
5.4. MODEL STRUKTUR SAP2000	48
5.5. PERHITUNGAN DESAIN PELAT BETON BERTULANG	51
5.5.1. Hasil Analisis Struktur Pelat Tipikal 1	51
5.5.2. Perhitungan Desain Tulangan Pelat Tipikal 1	52
5.5.3. Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur	56
5.5.4. Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal	59
5.6. PERHITUNGAN DESAIN BALOK BETON BERTULANG	63
5.6.1. Hasil Analisis Struktur Balok Tipikal 1	64
5.6.2. Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal Balok Tipikal 1	65
5.6.3. Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Balok Tipikal 1	73
5.6.4. Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur	76
5.6.5. Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal	78
5.6.6. Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Sengkang	92
5.7. PERHITUNGAN DESAIN BALOK BETON PRATEGANG	95
5.7.1. Hasil Analisis Struktur Balok Beton Prategang	95
5.7.2. Perhitungan Desain Lentur Balok Prategang	97
5.7.3. Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Balok Prategang	115
5.8. PERHITUNGAN DESAIN KOLOM BETON BERTULANG	119
5.8.1. Hasil Analisis Struktur Kolom Tipikal 1	119
5.8.2. Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal Kolom Tipikal 1	120
5.8.3. Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Kolom Tipikal 1	129
5.8.4. Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur	132
5.8.5. Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal	134
5.8.6. Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Sengkang	141
5.9. SIMPANGAN STRUKTUR	144
5.9.1. Simpangan Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X	144
5.9.2. Simpangan Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y	146

5.10. <i>STORY DRIFT</i> STRUKTUR	148
5.10.1. <i>Story Drift</i> Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X	149
5.10.2. <i>Story Drift</i> Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y	150
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	152
6.1. KESIMPULAN	152
6.2. SARAN	153

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penentuan Satuan Ruang Parkir (SRP)	11
Tabel 3.2 Lebar jalur gang	12
Tabel 3.3 Klasifikasi situs	14
Tabel 3.4 Faktor reduksi kekuatan (ϕ)	16
Tabel 4.1 Jadwal rencana Tugas Akhir	35
Tabel 5.1 Hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah lunak	51
Tabel 5.2 Hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah sedang	51
Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah lunak	56
Tabel 5.4 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah sedang	56
Tabel 5.5 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 kondisi tanah lunak	57
Tabel 5.6 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 kondisi tanah sedang	57
Tabel 5.7 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 kondisi tanah lunak	59
Tabel 5.8 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 kondisi tanah sedang	60
Tabel 5.9 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 kondisi tanah lunak	61
Tabel 5.10 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 kondisi tanah sedang	61
Tabel 5.11 Hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1	64
Tabel 5.12 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1	76
Tabel 5.13 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 2	76
Tabel 5.14 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 3	77
Tabel 5.15 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah lunak	78
Tabel 5.16 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah sedang	81
Tabel 5.17 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2 kondisi tanah lunak	83
Tabel 5.18 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2 kondisi tanah sedang	85

Tabel 5.19 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3 kondisi tanah lunak	87
Tabel 5.20 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3 kondisi tanah sedang	89
Tabel 5.21 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 1	92
Tabel 5.22 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 2	92
Tabel 5.23 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 3	93
Tabel 5.24 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok prategang	96
Tabel 5.25 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan lentur balok prategang pada kondisi tanah lunak dan sedang	111
Tabel 5.26 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok prategang	118
Tabel 5.27 Hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1	119
Tabel 5.28 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1	132
Tabel 5.29 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 2	133
Tabel 5.30 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 1 pada kondisi tanah lunak dan sedang	135
Tabel 5.31 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 2 pada kondisi tanah lunak dan sedang	138
Tabel 5.32 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang kolom tipikal 1	142
Tabel 5.33 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang kolom tipikal 2	142
Tabel 5.34 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah lunak	145
Tabel 5.35 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah sedang	145
Tabel 5.36 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah lunak	147
Tabel 5.37 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah sedang	147
Tabel 5.38 <i>Story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah lunak	149
Tabel 5.39 <i>Story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah sedang	149
Tabel 5.40 <i>Story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah lunak	150
Tabel 5.41 <i>Story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah sedang	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Pola parkir sudut 90°	12
Gambar 4.1	Denah gedung parkir lantai 1	33
Gambar 4.2	Denah gedung parkir lantai 2-5	33
Gambar 4.3	<i>Flowchart</i> proses perhitungan struktur	35
Gambar 5.1	Gambar geometri gedung parkir lantai 1	39
Gambar 5.2	Gambar geometri gedung parkir lantai 2	39
Gambar 5.3	Gambar geometri gedung parkir lantai 3	40
Gambar 5.4	Gambar geometri gedung parkir lantai 4	40
Gambar 5.5	Gambar geometri gedung parkir lantai 5	41
Gambar 5.6	Pelat tipikal 1 (kiri) dan pelat tipikal 2 (kanan)	42
Gambar 5.7	Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_s)	47
Gambar 5.8	Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_1)	48
Gambar 5.9	Respon spectrum SAP2000 kondisi tanah lunak dan sedang	48
Gambar 5.10	Denah struktur gedung parkir	49
Gambar 5.11	Potongan denah gedung parkir	49
Gambar 5.12	Potongan A-A	50
Gambar 5.13	Potongan B-B	50
Gambar 5.14	Model struktur SAP2000 3D View	50
Gambar 5.15	Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 arah x	58
Gambar 5.16	Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 arah y	58
Gambar 5.17	Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 arah x	58
Gambar 5.18	Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 arah y	59
Gambar 5.19	Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 arah x	62
Gambar 5.20	Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 arah y	62
Gambar 5.21	Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 arah x	63
Gambar 5.22	Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 arah y	63
Gambar 5.23	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1	77

Gambar 5.24	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 2	77
Gambar 5.25	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 3	78
Gambar 5.26	Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 1	91
Gambar 5.27	Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 2	91
Gambar 5.28	Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 3	91
Gambar 5.29	Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 1	94
Gambar 5.30	Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 2	94
Gambar 5.31	Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 3	95
Gambar 5.32	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok prategang	96
Gambar 5.33	Rekapitulasi desain tulangan lentur balok prategang	115
Gambar 5.34	Hasil desain jarak sengkang balok prategang	118
Gambar 5.35	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1	133
Gambar 5.36	Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 2	134
Gambar 5.37	Diagram interaksi Mn-Pn kolom tipikal 1	141
Gambar 5.38	Diagram interaksi Mn-Pn kolom tipikal 2	141
Gambar 5.39	Hasil desain jarak sengkang kolom tipikal 1	143
Gambar 5.40	Hasil desain jarak sengkang kolom tipikal 2	144
Gambar 5.41	Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x	145
Gambar 5.42	Grafik simpangan kolom tepi akibat gempa arah x	146
Gambar 5.43	Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y	146
Gambar 5.44	Grafik simpangan kolom tepi akibat gempa arah y	147
Gambar 5.45	Grafik <i>story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah x	150
Gambar 5.46	Grafik <i>story drift</i> kolom tepi akibat gempa arah y	151

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Analisis pembebanan dengan SAP2000	157
Lampiran 2	Pemodelan struktur gedung parkir	160

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	: tinggi blok tegangan ekivalen (mm)
Ad	: luas tulangan menurut diameter (mm ²)
Ag	: luas bruto penampang beton (mm ²)
Aps	: luas baja prategang (mm ²)
As	: luas tulangan tarik (mm ²)
As'	: luas tulangan tekan (mm ²)
Av	: luas tulangan geser (mm ²)
b	: lebar penampang (mm)
b _w	: lebar penampang sayap (mm)
c	: jarak dari serat tekan terjauh ke sumbu netral (mm)
D	: beban mati
d	: jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (mm)
d'	: jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (mm)
dp	: jarak dari serat tekan terjauh ke pusat baja prategang (mm)
E	: beban gempa
e	: eksentrisitas penampang (mm)
Ec	: modulus elastisitas beton (Mpa)
Es	: modulus elastisitas tulangan (Mpa)
f _c	: kekuatan tekan beton yang disyaratkan (Mpa)
f _{pe}	: tegangan dalam baja prategang setelah semua kehilangan (Mpa)
f _{ps}	: tegangan dalam baja prategang saat kuat lentur nominal (Mpa)
f _{pu}	: kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan (Mpa)
f _{py}	: kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan (Mpa)
f _y	: kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (Mpa)
h	: tinggi penampang (mm)
I	: momen inersia penampang (mm ⁴)

L	: beban hidup
M_n	: momen nominal penampang (N-mm)
M_u	: momen terfaktor penampang (N-mm)
n	: jumlah benda (buah)
P_n	: kekuatan aksial nominal penampang (N)
P_u	: gaya aksial terfaktor penampang (N)
q_u	: beban terfaktor per satuan luas
r	: radius girasi penampang (mm)
s	: spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
V_c	: kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
V_n	: kekuatan geser nominal penampang (N)
V_s	: kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)
V_u	: gaya geser terfaktor pada penampang (N)
β_1	: faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekivalen dengan tinggi sumbu netral
γ_p	: faktor untuk tipe baja prategang
ρ	: rasio A_s terhadap b.d
ρ'	: rasio A_s' terhadap b.d
ρ_b	: rasio A_s terhadap b.d yang menghasilkan kondisi regangan seimbang
ρ_p	: rasio A_{ps} terhadap b.dp
ϕ	: faktor reduksi kekuatan
ω	: indeks tulangan tarik
ω'	: indeks tulangan tekan
ω_p	: indeks baja prategang

ABSTRAK

Jakarta sebagai ibukota Indonesia menjadi kota yang sering dilanda kemacetan, salah satu faktor penyebabnya adalah parkir liar di tepian jalan. Sebagai salah satu solusi konkret yang dapat diusulkan dalam kasus parkir liar ini, adalah dengan pembangunan gedung parkir. Desain gedung, diharapkan dapat memiliki ruang yang cukup luas agar dapat memberi kenyamanan kendaraan mobil yang parkir. Desain seperti ini, akan membutuhkan balok yang mempunyai bentang panjang. Untuk perencanaan balok bentang panjang, dapat menggunakan beton prategang, agar dimensi balok rencana akan lebih kecil dan langsing dibandingkan dengan beton bertulang. Dalam mengidentifikasi kerentanan bangunan terhadap gempa, perlu untuk mempertimbangkan faktor kondisi tanahnya. Pemodelan struktur beserta tanah disekelilingnya, kemudian melihat respon struktur tersebut terhadap gempa, akan lebih mendekati kenyataan, dibandingkan dengan memodelkan perletakan sebagai jepit tanpa memperhatikan efek dari kondisi tanahnya.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka dalam tugas akhir ini, dilakukan penelitian tentang desain gedung parkir bentang panjang yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan sedang, yang kemudian dilihat perilaku strukturnya terhadap beban gempa. Geometri struktur didesain sedemikian, kemudian dimodelkan dengan menggunakan program SAP2000, dimana pondasi dimodelkan sebagai perletakan jepit beserta kondisi tanah di sekelilingnya. Variasi yang dimodelkan mencakup struktur pada kondisi tanah lunak (varian 1) dan struktur pada kondisi tanah sedang (varian 2).

Hasil dari analisis tersebut secara umum dapat diambil kesimpulan bahwa jika berdasarkan hasil gaya-gaya dalam struktur, varian 1 memberikan hasil yang lebih besar daripada varian 2 dengan rasio sebesar 15,3783 %. Jika berdasarkan hasil desain tulangan struktur, varian 1 memberikan hasil yang lebih besar daripada varian 2 dengan rasio sebesar 5,3031 %. Jika berdasarkan perilaku simpangan struktur, varian 1 memberikan nilai yang lebih besar daripada varian 2 dengan rasio sebesar 32,4557 %. Jika berdasarkan perilaku *story drift* yang terjadi, varian 1 memberikan nilai yang lebih besar daripada varian 2 dengan rasio sebesar 31,6908 %. Pengaruh dari kekangan tanah pada kondisi tanah lunak menghasilkan nilai yang lebih besar daripada kondisi tanah sedang. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh dari kondisi tanah terhadap beban gempa pada analisis struktur yang telah dilakukan.

Kata kunci: Struktur Bentang Panjang, Kondisi Tanah, Perilaku Struktur

ABSTRACT

Jakarta as the capital of Indonesia into town frequently hit by congestion, one contributing factor is the illegal parking on the roadside. As one of the concrete solutions that can be proposed in the case of illegal parking, it is with the construction of the parking deck. Design of the building, is expected to have a room that is broad enough to give comfort vehicle parked cars. Designs like this, it would require a beam that has a long spans. Therefore, the design of long-span beams, can use prestressed concrete, so that the dimensions of the beam can plan smaller and slimmer than with reinforced concrete. In identifying the vulnerability of buildings to earthquakes, it is necessary to consider the factor of soil conditions. Modelling structure along with the surrounding land, then see the response of structures to earthquakes, will be closer to reality, as opposed to modeling the placement as flops regardless of the effect of soil conditions.

Based on these considerations, it is in this thesis, conducted research on the design of the parking building long spans are reviewed on soft soil and moderate, who then viewed the behavior of the structure against earthquake loads. Geometry of the structure is designed so, then modeled using SAP2000 program, where the foundation is modeled as a placement flops along with the condition of the soil around. The variations include a structure modeled on soft soil (variant 1) and the structure of the soil conditions were (variant 2).

The results of the analysis in general can be concluded that if based on the results of the forces in the structure, variant 1 provides results greater than variant 2 with ratio of 15,3783 %. If based on the design of the reinforcement structure, variant 1 provides results greater than variant 2 with ratio of 5,3031 %. If the deviation is based on the behavior of the structure, variant 1 provides a value greater than variant 2 with ratio of 32,4557 %. If the story is based on the behavior of drift happens, variant 1 provides a value greater than variant 2 with ratio of 31,6908 %. Influence of soil restraints on soft soil produces a value that is greater than the condition of the soil medium. This shows the influence of soil conditions on earthquake loads in structural analysis that has been done.

Keywords: Long Span Structures, Soil Conditions, Structural Behavior

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Negara Indonesia sebagai negara berkembang menjadi salah satu negara yang mempunyai penduduk terbanyak. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 adalah sebanyak 237.641.326 jiwa, yang bertempat tinggal di daerah perkotaan sebanyak 118.320.256 jiwa (49,79%) dan di daerah perdesaan sebanyak 119.321.070 jiwa (50,21%). Jakarta sendiri sebagai ibukota Indonesia mempunyai jumlah penduduk sebanyak 9.607.787 jiwa, dimana sejumlah 4.309.272 orang diantaranya bekerja. Dikarenakan jumlah penduduk tersebut, Jakarta menjadi salah satu kota paling macet di dunia berdasarkan indeks *Castrol Magnatec Stop-Start Index* yang mengungkapkan nama-nama kota yang sering dilanda kemacetan di dunia.

Jakarta sebagai ibukota Indonesia menjadi kota yang sering dilanda kemacetan, salah satu faktor penyebabnya adalah parkir liar di tepian jalan, sehingga ruas jalan yang seharusnya secara utuh digunakan untuk arus lalu lintas kendaraan, menjadi berkurang satu jalur karena parkir liar. Di Jakarta, penggunaan *on street parking* atau parkir di tepian jalan, saat ini sudah tidak memungkinkan lagi digunakan di daerah bisnis ataupun di daerah pusat perkantoran. Faktor keterbatasan lahan dan kecenderungan harga tanah di Jakarta yang jauh lebih tinggi dibandingkan biaya konstruksi pembuatan gedung parkir, menyebabkan para pemilik bisnis ataupun perkantoran swasta lebih memilih membangun gedung parkir bertingkat.

Sebagai salah satu solusi konkret yang dapat diusulkan dalam kasus parkir liar ini, adalah dengan pembangunan gedung parkir bersama baik oleh para pemilik swasta atau swasta dengan pemerintah. Pembangunan gedung parkir tersebut, diharapkan juga dapat memiliki ruang yang cukup luas agar dapat memberi kenyamanan dengan memudahkan akses kendaraan mobil yang parkir.

Desain gedung parkir yang memiliki ruang yang cukup luas, akan membutuhkan balok yang mempunyai bentang panjang. Apabila balok bentang panjang direncanakan dari beton bertulang, maka tinggi balok rencana akan menjadi berlebihan, yang kemudian menyebabkan luas ruangan parkir akan berkurang dan tidak nyaman. Jadi untuk perencanaan balok bentang panjang, dapat menggunakan material beton prategang, agar diharapkan dimensi balok rencana akan lebih kecil dan langsing dibandingkan dengan beton bertulang.

Di samping itu, mengingat bahwa Indonesia terletak di daerah rawan gempa, untuk mengurangi resiko bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur bangunan yang tahan gempa. Dalam proses desain yang dilakukan, umumnya banyak asumsi-asumsi yang dibuat demi untuk mempermudah proses perhitungan respon gedung terhadap beban gempa. Salah satu asumsi yang sering digunakan konsultan perencana (insinyur) adalah dengan memodelkan perletakan sebagai jepit tanpa memperhatikan efek dari kondisi tanahnya. Proses desain dengan menganggap perletakan sebagai jepit saja adalah kurang tepat, karena akan membuat kekakuan struktur semakin tinggi sehingga hasil desain yang didapatkan akan *overestimate*.

Dalam mengidentifikasi kerentanan bangunan terhadap gempa, perlu untuk mempertimbangkan faktor kondisi tanahnya. Pemodelan struktur beserta tanah disekelilingnya, kemudian melihat respon struktur tersebut terhadap gempa, akan lebih mendekati kenyataan. Di Jakarta sendiri secara umum jenis tanah yang ada, terdiri dari pasir dan lempung, maka untuk mempertimbangkan faktor kondisi tanah tersebut terhadap beban gempa, akan ditinjau kelas situs tanah sedang dan tanah lunak.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan direncanakan gedung parkir yang mempunyai bentang panjang, yang kemudian dilihat respon struktur tersebut terhadap gempa. Zona gempa diasumsikan di wilayah Jakarta yang akan ditinjau pada kondisi tanah sedang dan kondisi tanah lunak. Dalam penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pengetahuan tambahan agar dunia kontruksi di Indonesia semakin maju.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana perbandingan desain elemen struktur gedung parkir dengan balok prategang bentang panjang, yang ditinjau pada kondisi tanah sedang dan tanah lunak?
2. Bagaimana perilaku struktur gedung terhadap beban gempa, yang difokuskan pada simpangan struktur dan *story drift*?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Melihat dari rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui perbandingan desain struktur gedung parkir bentang panjang yang ditinjau pada kondisi tanah sedang dan tanah lunak.
2. Mengetahui perilaku struktur gedung terhadap beban gempa, yang difokuskan pada simpangan struktur dan *story drift*.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini.

1. Gedung yang didesain adalah gedung parkir untuk mobil penumpang yang mempunyai bentang panjang sebesar 18 meter, di zona gempa wilayah Jakarta yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.
2. Perencanaan geometri gedung parkir ini direncanakan dan diasumsikan sendiri secara logis dan proporsional, menurut Peraturan Departemen Perhubungan Darat tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir (1996), dan Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir (1998).
3. Perhitungan pembebanan gedung direncanakan berdasarkan Standar Konstruksi Bangunan Indonesia tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1987).

4. Kombinasi pembebanan menurut peraturan Indonesia SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
5. Perhitungan analisis struktur gedung parkir menggunakan *Structur Analysis Program* (SAP 2000 versi 14).
6. Perencanaan struktur gedung hanya meliputi pelat, balok dan kolom menggunakan material beton bertulang menurut SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, dan pada balok bentang 18 meter direncanakan menggunakan beton prategang.
7. Perencanaan balok prategang pada bentang 18 meter didesain berdasarkan *text book* berjudul Beton Prategang karangan Nawy (2001).
8. Studi perilaku struktur berupa simpangan dan *story drift* struktur pada kolom tepi arah x dan arah y.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Pada penelitian ini, diharapkan dapat memenuhi manfaat sebagai berikut ini.

1. Menambah pengetahuan tentang perencanaan gedung parkir dengan balok bentang panjang dan mengetahui perbedaan hasil desain yang ditinjau pada kondisi tanah sedang dan tanah lunak.
2. Mengetahui kriteria kenyamanan gedung parkir berdasarkan peraturan dari Direktorat Jenderal Perhubungan Darat.
3. Mengetahui perilaku struktur gedung dengan balok prategang bentang panjang, yang difokuskan pada simpangan struktur dan *story drift*.
4. Diharapkan dapat digunakan sebagai acuan kedepannya untuk perencanaan gedung bentang panjang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Perencanaan struktur bangunan gedung merupakan suatu proses desain yang melibatkan unsur seni dan ilmu pengetahuan seorang insinyur teknik sipil yang memerlukan keahlian khusus dalam mengolahnya. Proses desain yang merupakan tata letak struktur, denah bangunan, jarak antar kolom, tinggi lantai, pemilihan bahan material, dan studi perilaku struktur gedung akan dibahas dalam tugas akhir ini.

2.2 TINJAUAN PENELITIAN TERDAHULU

Tinjauan pustaka terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu yang sejenis sehubungan dengan perencanaan dan studi perilaku struktur gedung parkir bentang panjang, akan dijelaskan sebagai berikut ini.

2.2.1 Perancangan Struktur Gedung Parkir Menara Bossowa

Perdana (2009) melakukan perencanaan dengan judul “Perancangan Struktur Gedung Parkir Menara Bossowa” untuk perencanaan struktur bangunan, terutama bangunan gedung bertingkat tinggi yang memerlukan suatu analisis struktur yang mengarah pada perencanaan bangunan tahan gempa. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana merancang elemen-elemen struktur pada bangunan Gedung Parkir *Menara Bossowa*, agar gedung tersebut mampu mendukung beban-beban yang bekerja.. Tujuan dari perencanaan ini adalah merancang elemen-elemen struktur pada bangunan Gedung Parkir *Menara Bossowa*, agar gedung tersebut mampu mendukung beban-beban yang bekerja. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Gedung SNI 03 – 2847 – 2002 dan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03 – 1726 – 2002, digunakan sebagai acuan perencanaan dalam menyusun Tugas Akhir ini. Hasil

perancangan didapatkan kesimpulan hasil perhitungan sebagai berikut : digunakan tebal plat lantai 150 mm untuk lantai 1-6 dan tebal 120 mm untuk lantai 7 dan atap; dimensi Balok yang digunakan untuk balok induk adalah 500 x 900 mm dengan menggunakan tulangan tumpuan 8D22 pada daerah serat tarik dan 4D22 pada daerah tekan ditambahkan tulangan longitudinal tambahan 2D22 pada tiap sisinya serta menggunakan tulangan lapangan 7D22 pada daerah serat tarik dan 4D22 pada daerah tekan ditambahkan tulangan longitudinal tambahan 2D22 pada tiap sisinya; dimensi Kolom yang digunakan adalah 1200 x 1400 mm dengan menggunakan tulangan 36D25 sebagai tulangan utama.

2.2.2 Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Puncak Permai dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan pada Lantai 15 sebagai Ruang Pertemuan

Hermawan (2012) melakukan perencanaan dengan judul “Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Puncak Permai dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan pada Lantai 15 sebagai Ruang Pertemuan” untuk dilakukan modifikasi dengan desain arsitektural yang istimewa untuk memaksimalkan fungsi ruang yaitu pada lantai 15 akan dibuat ruang pertemuan dan ruang seminar yang luas tanpa kolom. Dalam perancangan strukturnya digunakan sistem struktur Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) sesuai dengan peraturan SNI 03 -2847 – 2002. Sebagai solusi dari adanya ruangan yang luas tanpa kolom, maka digunakan struktur balok pratekan. Hasil dari perencanaan ini adalah:

1. Perancangan Gedung Apartemen Puncak Permai Tower C di zona gempa sedang daerah Surabaya Barat memiliki dimensi struktur utama, meliputi:

Kolom = 80x80 cm pada lantai 1-7

= 70x70 cm pada lantai 8-15

Balok induk = 30/50 cm

Balok Lift = 35/50 cm

Balok prategang = 50/80 cm (1 tendon)

Balok Anak = 25/40 cm

2. Perhitungan Gaya gempa menggunakan SNI – 1726 – 2010 dengan mencari grafik gempa response spectrum berdasarkan zona gempa dan data tanah sesuai peraturan SNI – 1726 – 2010.
3. Pemanfaatan beton prategang pada perancangan gedung Apartemen Puncak Permai Tower C dinilai efektif dikarenakan fungsi ruangan yang mengharuskan tanpa penggunaan kolom.

2.2.3 Perencanaan Portal Bangunan Bertingkat 10 dengan Menggunakan Prestressed Concrete Sesuai dengan ACI 318-05

Kelvin (2014) melakukan perencanaan dengan judul “Perencanaan Portal Bangunan Bertingkat 10 dengan Menggunakan Prestressed Concrete Sesuai dengan ACI 318-05” untuk perencanaan gedung bertingkat 10 sebagai tempat parkir menggunakan beton prategang dengan bentang bangunan 12 m berdasarkan ACI 318-05 dan akan dibandingkan dengan penggunaan beton bertulang berdasarkan SNI 1782-2002. Masalah yang akan dibahas dalam penulisan ini adalah cara perencanaan balok pada sebuah bangunan bertingkat 10 dengan menggunakan beton prategang. Di Indonesia, penggunaan beton prategang untuk balok bangunan bertingkat tinggi masih sangat jarang digunakan jika dibandingkan dengan penggunaan beton bertulang. Oleh karena itu pada penulisan ini akan dibahas cara merencanakan balok pada bangunan bertingkat 10 dengan menggunakan beton prategang dan akan dibandingkan dengan balok yang menggunakan beton bertulang biasa.. Perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui cara mendesain balok sebuah bangunan bertingkat tinggi dengan menggunakan beton prategang dan agar hasilnya dapat dibandingkan dengan penggunaan beton bertulang biasa sehingga dapat dilihat efisiensi dan efektivitas yang diperoleh dengan menggunakan beton prategang untuk bentang panjang pada balok bangunan bertingkat tinggi. Hasil dari perencanaan ini adalah:

1. Dimensi balok frame 1 dan 2 beton bertulang adalah 700 mm x 1000 mm dan dimensi balok frame 1 dan frame 2 beton prategang adalah 400 mm x 700 mm

2. Volume balok frame 1 dan frame 2 beton bertulang adalah 11,2 m³ sedangkan balok frame 1 dan frame 2 beton prategang adalah 28 m³ . Perbedaannya adalah 16,8 m³.
3. Berat bangunan yang memakai beton bertulang adalah 18.899.210 kg sedangkan berta bangunan yang menggunakan beton prategang adalah 13.865.530 kg . Perbedaannya adalah 5.033.680 kg (26,6 %).

2.2.4 Studi Perilaku Struktur Gedung akibat Pengaruh Gempa dengan Mempertimbangkan Efek *Soil-Structure Interaction*

Setiadi (2012) melakukan penelitian yang berjudul “Studi Perilaku Struktur Gedung akibat Pengaruh Gempa dengan Mempertimbangkan Efek *Soil-Structure Interaction*.” Pada penelitian ini, struktur akan dimodelkan beserta tanah disekelilingnya dengan program SAP2000 dimana tanah dimodelkan sebagai linier *solid 3D element*. Analisis gempa yang digunakan berupa analisa *linear time history*. Variasi yang model mencakup ketinggian struktur dan juga variasi perletakan, yaitu berupa perletakan jepit dan perletakan tanah dengan nilai modulus elastisitas yang dibeda-bedakan pada lapisan tanah dimana pondasi berada. Hasil dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa efek pengaruh dari SSI tidak terlalu banyak berbeda dengan struktur perletakan jepit baik untuk periode getar struktur maupun respon linear struktur.

2.2.5 Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang terhadap Beban Gempa

Nobel (2012) melakukan studi yang berjudul “Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang terhadap Beban Gempa.” Gedung auditorium adalah sebuah bangunan besar yang digunakan untuk pertemuan umum, pertunjukan dan sebagainya. Atap gedung auditorium Universitas Negeri “x” direncanakan menggunakan empat pasang kolom miring beton bertulang bentang panjang yang bertemu pada satu titik sehingga membentuk bangun ruang prisma (*pyramid*). Menurut SNI-1726-2002, lokasi

bangunan terletak di Manado berada pada zona gempa wilayah 5 yang merupakan wilayah gempa dengan resiko tinggi. Oleh karena itu, dalam merencanakan struktur kolom miring beton bertulang bentang panjang pada bangunan tersebut, perlu kiranya mengetahui perilaku kolom tersebut terhadap beban gempa.

Dari gambar arsitektur yang tersedia, dilakukan pemodelan struktur dan analisa menggunakan *software* komputer SAP V 11.0.0 dengan memodelkan struktur menjadi empat varian. Perbedaan antar keempat kolom tersebut terletak pada penampang kolom dan jenis pengaku yang digunakan. Dari analisa diperoleh keuntungan dan kerugian masing-masing varian kolom.

Jika dievaluasi berdasarkan volume beton dan luas tulangan penampang, maka varian 1 lebih menguntungkan. Jika dievaluasi berdasarkan aspek arsitektural bangunan, maka varian 1 dan varian 3 lebih menguntungkan. Jika dievaluasi berdasarkan kemudahan pengerjaan di lapangan, maka varian 1 dan varian 2 lebih menguntungkan. Jika dievaluasi berdasarkan struktur bawah yang akan digunakan, maka varian 1 dan varian 2 lebih menguntungkan. Jika dievaluasi berdasarkan lendutan puncak terkecil, maka varian 4 lebih menguntungkan. Berdasarkan semua pertimbangan tersebut, maka dipilihlah varian 1.

2.3 KEASLIAN PENELITIAN

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dapat diambil beberapa indikator pembeda, yaitu bahan material yang digunakan, dimensi struktur, desain tata letak ruang parkir, metode desain struktur prategang, jumlah lantai gedung, jarak bentang antar kolom, dan perilaku struktur gedung yang ditinjau. Dari beberapa indikator permasalahan yang diambil tersebut, dapat dikatakan bahwa penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, sepenuhnya berbeda dari penelitian yang akan dilakukan di dalam tugas akhir ini. Maka dari itu, penelitian yang dilakukan ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 PERENCANAAN GEOMETRI GEDUNG PARKIR

Gedung parkir adalah gedung yang khusus direncanakan untuk tempat parkir kendaraan. Dengan demikian perencanaan denah dan tata letak kendaraan serta arus kendaraan perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memberikan kenyamanan bagi kendaraan yang parkir. Untuk perencanaan denah dan tata letak parkir dalam tugas akhir ini digunakan 2 peraturan dari Direktur Jenderal Perhubungan Darat sebagai berikut ini.

1. Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir (1996), dan
2. Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir (1998).

3.1.1 Gedung Parkir

Gedung Parkir merupakan salah satu fasilitas transportasi untuk meningkatkan kelancaran lalu lintas sebagai tempat parkir kendaraan, terutama di kota-kota besar yang memiliki tingkat kesibukan yang tinggi. Menurut Direktur Jenderal Perhubungan Darat tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas (1996), penentuan kebutuhan parkir sebagai kegiatan parkir yang tetap adalah sebagai berikut ini.

1. Pusat perdagangan
2. Pusat perkantoran swasta atau pemerintahan
3. Pusat perdagangan eceran atau pasar swalayan
4. Pasar
5. Sekolah
6. Tempat rekreasi
7. Hotel dan tempat penginapan
8. Rumah sakit

3.1.2 Tempat Parkir

Tempat parkir merupakan lokasi yang telah ditentukan sebagai tempat pemberhentian sementara kendaraan yang ditinggalkan pengemudinya untuk suatu kegiatan tertentu. Tempat parkir yang dimaksud adalah tempat parkir untuk sepeda motor, mobil penumpang, atau truk.

3.1.3 Satuan Ruang Parkir

Satuan ruang parkir (SRP) adalah ukuran luas efektif untuk meletakkan satu buah kendaraan, termasuk ruang bebas di kanan dan di kiri kendaraan dengan pengertian pintu dapat dibuka untuk naik turun penumpang kendaraan. Bila tanpa penjelasan, SRP adalah SRP untuk mobil penumpang. Menurut Direktur Jenderal Perhubungan Darat tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas (1996), penentuan SRP mobil penumpang terbagi menjadi 3 golongan sebagai berikut ini.

1. Golongan I untuk karyawan/pekerja kantor dan tamu/pengunjung pusat kegiatan perkantoran, perdagangan, pemerintahan, universitas,
2. Golongan II untuk pengunjung tempat olahraga, pusat hiburan/rekreasi, hotel, pusat perdagangan eceran/swalayan, rumah sakit, bioskop, dan
3. Golongan III untuk orang cacat.

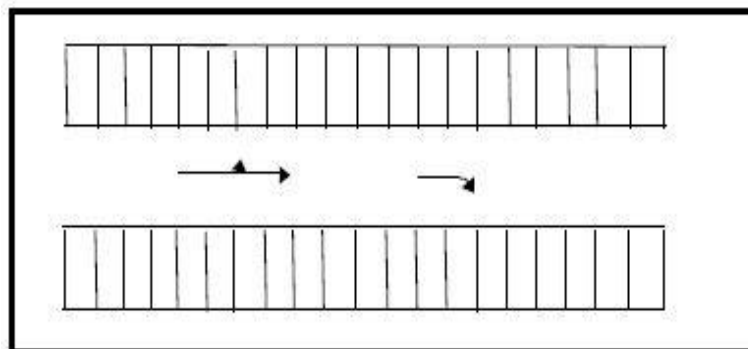
Tabel 3.1 Penentuan Satuan Ruang Parkir (SRP)

Jenis Kendaraan	Satuan Ruang Parkir (m^2)
1. a. Mobil penumpang untuk gol. I	2,30 x 5,00
b. Mobil penumpang untuk gol. II	2,50 x 5,00
c. Mobil penumpang untuk gol. III	3,00 x 5,00
2. Bus/truk	3,40 x 12,50
3. Sepeda Motor	0,75 x 2,00

3.1.4 Pola Parkir

Pola parkir merupakan bentuk denah Satuan Ruang Parkir yang mempunyai sudut tertentu. Menurut Direktur Jenderal Perhubungan Darat tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas (1996), parkir kendaraan dua sisi yang

membentuk sudut 90° memiliki arah gerakan lalu lintas kendaraan dapat satu arah atau dua arah, dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pola parkir sudut 90°

3.1.5 Jalur Gang

Jalur gang merupakan jalur antara dua deretan ruang parkir yang berdekatan dengan jarak yang telah ditentukan, sebagai jalan masuk dan keluar kendaraan dari ruang parkir. Menurut Direktorat Jenderal Perhubungan Darat tentang Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas (1996), patokan umum yang dipakai adalah sebagai berikut ini.

1. Panjang sebuah jalur gang tidak lebih dari 100 meter, dan
2. Jalur gang yang ini dimaksudkan untuk melayani lebih dari 50 kendaraan dianggap sebagai jalur sirkulasi.

Tabel 3.2 Lebar jalur gang

S R P	Lebar Jalur Gang (m)							
	$< 30^\circ$		$< 45^\circ$		$< 60^\circ$		90 %	
	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah	1 arah	2 arah
a. SRP mobil pnp 2,5 m x 5,0 m	3,0*	6,00*	3,00	6,00*	5,1*	6,00*	6, *	8, 0 *
b. SRP mobil pnp 2,5 m x 5,0 m	3,0*	6,00*	3,00	6,00*	4,60*	6,00*	6, *	8, 0 *
c. SRP sepeda motor 0,75 x 30 m	3,50**	6,50**	3,50**	6,50**	4,60**	6,50**	6,5 **	8,0 **
d. SRP bus/ truk 3,40 m x 12,5 m								1,6 *
								1,6 **
								9,5

Keterangan : * = lokasi parkir tanpa fasilitas pejalan kaki

** = lokasi parkir dengan fasilitas pejalan kaki

3.1.6 Ramp

Ramp adalah lantai bidang miring yang digunakan untuk jalur berpindahannya kendaraan dari lantai bawah ke lantai atas pada gedung parkir. Menurut Direktur Jenderal Perhubungan Darat tentang Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir (1998), patokan yang dipakai sebagai berikut:

1. Tinggi minimal ruang bebas lantai gedung parkir adalah 2,50 m,
2. Besarnya tanjakan maksimum pada ramp naik gedung parkir adalah 15%, walaupun tanjakan sebesar maksimum 20% dapat diterapkan, dan
3. Ramp untuk satu arah cukup disediakan lebar jalur sebesar 3,5 m.

3.2 PEMBEBANAN STRUKTUR

3.2.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Pembebanan gedung akibat beban mati direncanakan berdasarkan Standar Konstruksi Bangunan Indonesia tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1987).

3.2.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan pada SKBI-1987.

Menurut SKBI-1987, beban hidup merata pada lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah sebesar 800 kg/m^2 dan untuk lantai tingkat lainnya sebesar 400 kg/m^2 . Ketentuan tersebut boleh direduksi dengan koefisien reduksi 0,90 untuk perencanaan balok induk dan portal.

3.2.3 Beban Gempa

Gedung parkir direncanakan dibangun di kota Jakarta. Jenis tanah tempat pembangunan yang akan ditinjau adalah jenis tanah sedang dan jenis tanah lunak. Perhitungan beban gempa menggunakan program SAP2000, dengan metode respon spektrum. Penentuan kelas situs tanah dan perhitungan gaya gempa adalah sebagai berikut ini.

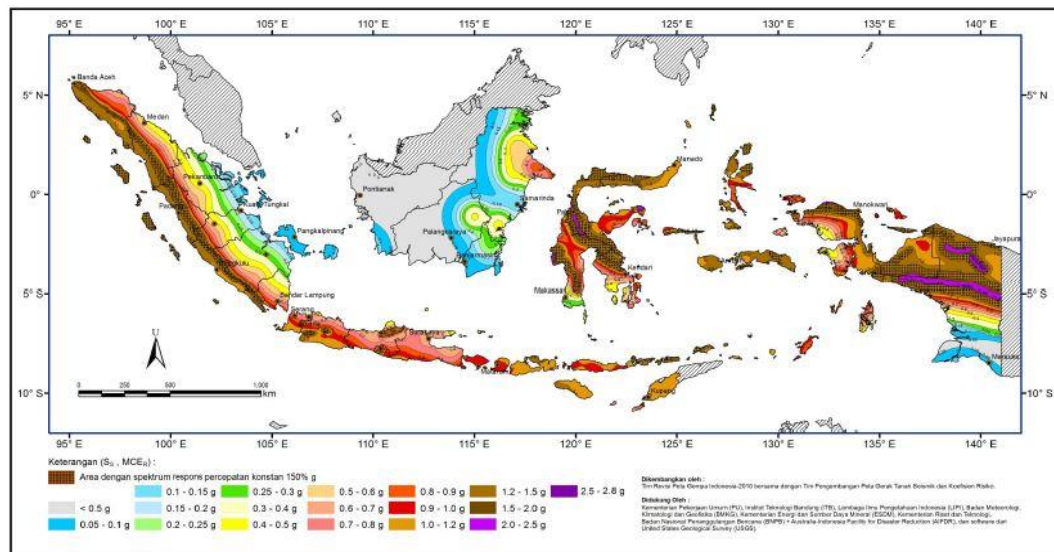
a. Penentuan kelas situs

Menurut peraturan SNI 1726 2012, dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah, besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk situs tanah yang ditinjau, harus diklasifikasikan sesuai tabel berikut ini.

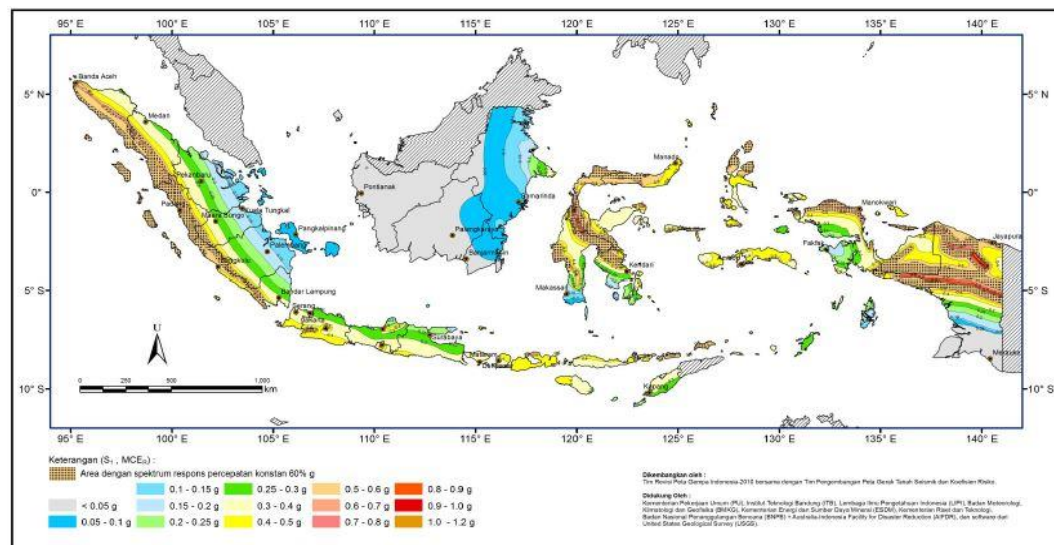
Tabel 3.3 Klasifikasi situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40 \%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		

b. Perhitungan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_s) dan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_1):



Gambar 5.7 Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_s)



Gambar 5.8 Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_1)

3.3 PEMBEBANAN ULTIMIT

3.3.1 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi dasar pembebanan gravitasi secara vertikal adalah beban mati ditambah dengan beban hidup. Beban mati yang terdiri atas berat struktur dan beban-beban lain yang relatif permanen, dapat diestimasi secara lebih akurat dibandingkan dengan beban hidup. Beban hidup diestimasi dengan menggunakan

berat beban-beban yang tidak permanen, misalnya orang. Sifat sementara pada beban hidup menyebabkan sulit untuk diestimasi secara lebih akurat.

Berdasarkan SNI 1726-2012, beban ultimit yang terbesar diantara kombinasi berikut ini harus ditinjau untuk pembebanan akibat gempa bumi.

$$U = 1,4D \quad (3.5)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.6)$$

$$U = 1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3.7)$$

$$U = 1,2D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R) \quad (3.8)$$

$$U = 1,2D + 1,0E + L \quad (3.9)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (3.10)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (3.11)$$

dengan:

D = Beban mati,

L = Beban hidup,

E = Beban gempa,

R = Beban air hujan, dan

W = Beban angin.

3.3.2 Faktor Reduksi Kekuatan

Kekuatan unit struktur tertentu yang dihitung dengan menggunakan prosedur yang berlaku disebut kekuatan nominal. Sebagai contoh, dalam hal balok, kapasitas momen tahanan penampang yang dihitung dengan menggunakan persamaan keseimbangan dan besaran-besaran beton dan baja disebut momen kekuatan nominal M_n penampang tersebut. Kuat nominal ini dikurangi dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk memperhitungkan ketidaktepatan dalam pelaksanaan, seperti dimensi atau posisi penulangan atau variasi pada besaran-besaran penampang. Kekuatan tereduksi pada komponen struktur tersebut didefinisikan sebagai kuat desain (kuat rencana) komponen struktur tersebut.

Kuat momen desain ϕM_n harus sedikitnya sama atau sedikit lebih besar dari momen terfaktor M_u . Tabel dibawah ini menunjukkan faktor reduksi kekuatan ϕ berdasarkan SNI 2847 2013.

Tabel 3.4 Faktor reduksi kekuatan (ϕ)

Komponen struktur	Faktor reduksi kekuatan ϕ
Balok atau slab lentur yang mengalami lentur	0,80
Kolom bersengkang	0,65
Kolom berspiral	0,75
Geser dan torsi	0,75

3.4 BETON BERTULANG

Beton adalah suatu campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan bahan ikat yang terbuat dari semen dan air. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah, sehingga diperlukan tulangan baja yang berfungsi untuk menyediakan kuat tarik pada beton. Hal inilah yang disebut sebagai beton bertulang.

3.4.1 Tulangan Baja Biasa

Tulangan yang digunakan pada struktur beton terdapat dalam bentuk batang atau anyaman kawat yang dilas. Batang tulangan terdiri dari tulangan polos (*plain bar*) atau tulangan ulir (*deformed bar*). Tulangan ulir akan mendapatkan ikatan yang lebih baik antara beton dengan baja daripada tulangan polos.

3.5 PELAT BETON BERTULANG

Pelat lantai biasanya terbuat dari beton bertulang, pelat lantai disebut pelat dua arah apabila perbandingan antara panjang dan lebarnya lebih kecil atau sama dengan dua. Analisis pelat dua arah dapat digunakan dengan cara pendekatan semielastis, yaitu metode desain langsung atau metode portal ekuivalen.

3.5.1 Tebal Minimum Pelat

Peraturan SNI 2847 2013 menentukan ukuran tebal minimum (h) untuk pelat yang ditumpu dengan balok pada keempat sisinya, tebal minimum (h) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut ini.

- a. Untuk α_{fm} yang sama atau lebih kecil dari 0,2, harus menggunakan 9.5.3.2
- b. Untuk α_{fm} lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, tebal minimum (h):

$$h = \frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)} \quad (3.2)$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm,

- c. Untuk α_{fm} lebih besar dari 2,0, tebal minimum (h):

$$h = \frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (3.3)$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

3.6 LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Beban yang terjadi pada struktur penampang balok menyebabkan terjadinya lentur dan deformasi. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul akibat adanya beban tersebut. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi tambahan deformasi dan regangan yang menyebabkan retak lentur di sepanjang bentang balok, dan jika beban mencapai kapasitas elemen maka pada akhirnya menyebabkan keruntuhan elemen struktur balok.

3.6.1 Kekuatan Momen Nominal

Momen Nominal (M_n) didefinisikan sebagai momen penahan teoritis atau momen penahan nominal sebuah penampang. Momen lentur balok yang digunakan adalah momen nominal tersebut dikalikan faktor reduksi kekuatan. Menurut Nawy (1990), nilai momen nominal (M_n) pada penampang bertulangan rangkap sebagai berikut ini.

$$M_n = (A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s f_y (d - d') \quad (3.4)$$

3.6.2 Penulangan Minimum

Peraturan SNI 2847 2013 menyebutkan jumlah minimum tulangan yang harus digunakan pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan dari analisis yang dilakukan. Tulangan yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan sebagai berikut ini.

$$A_{s,min} = \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d \quad (3.5)$$

dan tidak lebih kecil dari $1,4b_w d/f_y$

3.7 GESER BALOK BETON BERTULANG

Kekuatan geser untuk komponen struktur yang didesain harus didasarkan pada $\phi V_n \geq V_u$, dimana V_u gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan V_n adalah kekuatan geser nominal yang dihitung dengan $V_n = V_c + V_s$. Peraturan SNI 2847 2013 menetapkan untuk komponen struktur yang dikenai geser dan lentur saja, V_c dihitung sebagai berikut ini.

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3.6)$$

3.8 KOLOM BETON BERTULANG

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang menerima beban lentur dan aksial. Dengan asumsi bahwa kolom tidak dibebani secara aksial sempurna, maka perencanaan kolom dengan beban eksentris perlu ditinjau. Selain menerima beban aksial, kolom juga menerima lentur akibat momen, dan momen tersebut akan cenderung menimbulkan tekanan pada satu sisi kolom dan tarikan pada sisi lainnya. Keruntuhan pada suatu kolom dapat terjadi oleh banyak kasus. Menurut McCormac (2003), ada enam kasus keruntuhan kolom akibat beban aksial dan momen lentur yang akan dibahas sebagai berikut ini.

- a. Beban aksial besar dan momen diabaikan. Untuk situasi ini, keruntuhan akan terjadi oleh hancurnya beton, dengan semua tulangan dalam kolom mencapai tegangan leleh dalam tekan.
- b. Beban aksial besar dan momen kecil sehingga seluruh penampang tertekan. Jika suatu kolom menerima momen lentur kecil, yaitu jika eksentrisitas kecil, maka seluruh kolom akan tertekan tetapi tekanan disatu sisi akan lebih besar dari sisi lainnya. Tegangan tekan maksimum dalam kolom akan sebesar $0,85f'_c$ dan keruntuhan akan terjadi oleh runtuhnya beton dan semua tulangan tertekan.
- c. Eksentrisitas lebih besar dari kasus b sehingga tarik mulai terjadi pada satu sisi kolom. Jika eksentrisitas ditingkatkan dari kasus sebelumnya, gaya tarik akan mulai terjadi pada satu sisi kolom dan baja tulangan pada sisi tersebut akan menerima gaya tarik yang lebih kecil dari tegangan leleh. Pada sisi yang lain tulangan mendapat gaya tekan. Keruntuhan akan terjadi karena hancurnya beton pada sisi yang tertekan.
- d. Kondisi beban berimbang. Saat kita terus menambah eksentrisitas, akan dicapai suatu kondisi dimana tulangan pada sisi tarik mencapai leleh dan pada saat bersamaan beton pada sisi lainnya mencapai tekan maksimum $0,85f'_c$. Situasi ini disebut kondisi pada beban berimbang.
- e. Momen besar, beban aksial relatif kecil. Jika eksentrisitas terus ditambah, keruntuhan terjadi akibat tulangan meleleh sebelum hancurnya beton.
- f. Momen lentur besar. Pada kondisi ini, keruntuhan terjadi seperti halnya pada sebuah balok.

3.8.1 Ketentuan Perencanaan

Beberapa ketentuan yang penting untuk perencanaan kolom beton bertulang meliputi hal-hal sebagai berikut ini.

a. Luas Tulangan total (A_{st})

Menurut SNI 2847-2013, luas tulangan longitudinal (A_{st}) untuk komponen struktur tekan non komposit tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,08A_g$.

b. Diameter tulangan geser (begel atau sengkang)

Diameter begel kolom ($\emptyset$ begel) disyaratkan $10 \text{ mm} < \emptyset\text{begel} < 16 \text{ mm}$

c. Gaya tarik dan gaya tekan pada penampang kolom

Kolom yang sering kita jumpai/digunakan pada bangunan gedung yaitu kolom dengan penampang segiempat. Jika kolom menahan beban eksentris P_n , maka pada penampang kolom sebelah kiri menahan beban tarik yang akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan sebelah kanan menahan beban tekan yang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan.

Gaya tarik bagian kiri yang ditahan oleh tulangan, adalah sebesar:

$$T_s = A_s \cdot f_s \quad (3.7)$$

Gaya tekan yang ditahan beton bagian kanan, sebesar:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.8)$$

Sedangkan gaya tekan yang ditahan oleh tulangan kanan (C_s), yaitu:

1) Jika luas beton diperhitungkan, maka:

$$C_s = A'_s \cdot (f'_s - 0,85 \cdot f'_c) \quad (3.9)$$

2) Jika Luas beton tekan diabaikan, maka:

$$C_s = A'_s \cdot f'_s \quad (3.10)$$

Dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal, diperoleh gaya aksial:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (3.11)$$

3.9 BETON PRATEGANG

Beton merupakan material yang kuat terhadap kuat tekan, tetapi lemah terhadap kuat tarik. Karena beton lemah terhadap kuat tarik, maka bagian beton

yang mengalami tarik diberikan tulangan arah longitudinal. Hal ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengurangi gaya tarik pada bagian tumpuan dan daerah kritis, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur dan geser penampang beton. Cara seperti di atas disebut gaya prategang. Gaya prategang adalah gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup. Jadi ketidakmampuan beton untuk menahan gaya tarik digantikan oleh gaya tekan pada baja (tendon) prategang.

3.9.1 Profil Tendon Prategang

Perubahan eksentrisitas dari penampang tengah bentang ke tumpuan diperoleh dengan menaikkan tendon prategang, baik dari tengah bentang ke tumpuan, yang disebut harping, atau secara perlahan-lahan dalam bentuk parabolic, yang disebut draping. Profil tendon harped biasanya digunakan untuk balok pratarik dan tendon draped biasanya digunakan pada balok pascatarik.

3.9.2 Metode Dasar Tegangan di Serat Beton

Untuk mendesain elemen beton prategang, tegangan serat beton dihitung dari gaya luar yang bekerja di beton akibat pemberian prategang longitudinal dan beban luar transversal. Tegangan serat beton dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

Tegangan di serat atas:

$$f^t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^t} \quad (3.12)$$

Tegangan di serat bawah:

$$f^b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) + \frac{M_T}{S^b} \quad (3.13)$$

dengan:

P_e = Gaya prategang sesudah kehilangan,

A_c = $b \times h$, yaitu luas penampang yang lebarnya b dan tinggi totalnya h ,

e = Eksentrisitas dari pusat berat penampang,

c_t = Jarak dari pusat berat penampang (garis cg_c) ke serat atas,

c_b = Jarak dari pusat berat penampang (garis cg_c) ke serat bawah,

r = Radius girasi penampang,

S^t = Modulus penampang untuk serat atas, dan

S_b = Modulus penampang untuk serat bawah.

$$M_T = M_D + M_{SD} + M_L \quad (3.14)$$

dengan:

M_D = Momen akibat berat sendiri,

M_{SD} = Momen akibat beban mati tambahan, seperti lantai, dan

M_L = Momen akibat beban hidup, termasuk beban gempa jika ada.

3.9.3 Sistem Prategang

Menurut Lin (1982), sistem prategang adalah cara menegangkan/menarik baja yang dikombinasikan dengan cara mengangkurnya ke beton. Pemberian prategang dapat dilakukan dengan memberi prategang pada strand secara individual atau semua strand pada satu operasi pendongkrakan. Pemberian sistem prategang ada dua metode yaitu sebagai berikut ini.

1. Pemberian pratarik

Baja prategang diberi pratarik terhadap pengangkeran independen sebelum pengecoran beton di sekitarnya. Penjangkaran seperti ini ditumpu oleh bulkheads yang stabil dan besar untuk memikul gaya terpusat yang sangat besar yang diberikan pada masing-masing tendon. Lebih ringkas baja prategang ditarik sebelum dicor.

2. Pemberian pascatarik

Di dalam pemberian pascatarik, *strand* ditarik sesudah beton mengeras. *Strand* diletakkan di dalam saluran longitudinal di dalam elemen beton pracetak. Gaya prategang ditransfer melalui penjangkaran ujung seperti *chucks* dari

Supreme Products. Tendon tidak boleh dilekatkan atau disuntik sebelum terjadinya prategang penuh.

3.9.4 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang merupakan suatu proses reduksi gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton yang mengalami proses reduksi yang bergantung pada waktu. Menurut Nawy (2001), kehilangan total prategang dapat dihitung untuk komponen struktur pascatarik sebagai berikut ini.

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \quad (3.15)$$

dengan:

Δf_{pA} = Kehilangan prategang akibat dudukan angker,

Δf_{pF} = Kehilangan prategang akibat friksi,

Δf_{pES} = Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton,

Δf_{pR} = Kehilangan prategang akibat relaksasi baja,

Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkai, dan

Δf_{pSH} = Kehilangan prategang akibat susut.

Dimana Δf_{pES} hanya berlaku apabila tendon didongkrak secara sekuensial, dan bukan secara simultan. Dalam hal pascatarik, perhitungan kehilangan akibat relaksasi dimulai antara waktu transfer $t_1 = t_{tr}$ dan akhir selang waktu t_2 yang sedang ditinjau sebagai berikut ini.

$$f_{pi} = f_{pJ} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF} \quad (3.16)$$

dengan:

f_{pi} = Tegangan segera setelah transfer prategang, dan

f_{pJ} = Tegangan akibat gaya pendongkrakan.

3.10 LENTUR BALOK PRATEGANG

Persamaan dasar pada perhitungan momen lentur di balok beton bertulang sama dengan perhitungan momen lentur di balok beton prategang, tetapi diperlukan modifikasi untuk merefleksikan karakteristik yang ada pada material dan geometri yang ada pada beton prategang.

3.10.1 Kekuatan Momen Nominal

Menurut Nawy (2001), kekuatan cadangan pada balok prategang sampai terjadinya kegagalan perlu dievaluasi, asumsi berikut ini diambil dalam mendefinisikan perilaku penampang pada beban ultimit.

1. Distribusi regangan diasumsikan linier. Asumsi ini didasarkan atas hipotesis Bernoulli bahwa bidang penampang yang semula datar sebelum melentur, tetap datar setelah melentur.
2. Regangan di baja dan beton di sekelilingnya sama, sebelum terjadinya retak beton atau leleh baja, begitu pula sesudah retak atau leleh.
3. Beton lemah dalam memikul tarik. Beton akan retak pada tahap pembebanan rendah, sekitar 10 persen dari limit kekuatan tekannya. Dengan demikian, beton yang berada pada zona tarik pada suatu penampang diabaikan dalam perhitungan desain dan analisis lentur, dan penulangan tarik diasumsikan memikul gaya tarik total.

Untuk memenuhi keseimbangan gaya-gaya horisontal, gaya tekan C di beton dan gaya tarik T di baja harus saling mengimbangi, yaitu:

$$C = T \quad (3.17)$$

3.10.2 Kekuatan Lentur Nominal Penampang Persegi Panjang

Menurut Nawy (2001), untuk penampang persegi panjang kuat lentur nominal adalah sebagai berikut:

$$M_n = A_{ps}f_{ps}\left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_y \left(\frac{a}{2} - d'\right) \quad (3.18)$$

3.10.3 Kekuatan Lentur Nominal Penampang Bersayap

Menurut Nawy (2001), untuk penampang bersayap kuat lentur nominal adalah sebagai berikut:

$$M_n = A_{pw} f_{ps} (d_p - \frac{a}{2}) + A_s f_y (d - d_p) + 0,85 f_c' (b - b_w) h_f (d_p - \frac{h_f}{2}) \quad (3.19)$$

Momen desain dalam semua kasus haruslah:

$$M_u = \phi M_n \quad (3.20)$$

dengan $\phi = 0,90$ untuk lentur

3.10.4 Penentuan Tegangan Gagal Nominal Baja Prategang

Penentuan tegangan gagal nominal pada penulangan prategang adalah sebagai berikut ini.

1. Bonded tendon (tendon terlekat)

$$f_{ps} = f_{pu} (1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} [\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega')]) \quad (3.21)$$

dengan:

$\gamma_p = 0,55$ untuk f_{py}/f_{pu} tidak kurang dari 0,80,

$\gamma_p = 0,40$ untuk f_{py}/f_{pu} tidak kurang dari 0,85, dan

$\gamma_p = 0,28$ untuk f_{py}/f_{pu} tidak kurang dari 0,90.

2. Unbonded tendon (tendon tak terlekat)

a. Untuk rasio bentang/tinggi 35 atau kurang:

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_c}{100 \rho_p} \quad (3.22)$$

dengan f_{ps} tidak boleh melebihi f_{py} atau $(f_{pe} + 420)$

b. Untuk rasio bentang/tinggi lebih besar daripada 35:

$$f_{ps} = f_{pe} + 70 + \frac{f_c}{300\rho_p} \quad (3.23)$$

dengan f_{ps} tidak boleh melebihi f_{py} atau $(f_{pe} + 210)$

3.10.5 Batas-Batas Nilai Indeks Penulangan

Menurut Nawy (2001), indeks penulangan ω_p suatu ukuran persentase penulangan di suatu penampang, dinyatakan dengan:

$$\omega_p = \frac{A_{ps}f_{ps}}{bd_p f'_c} = \rho_p \frac{f_{ps}}{f'_c} \quad (3.24)$$

1. Penulangan minimum

Jika persentase penulangan terlalu kecil, maka penampang beton akan menjadi terlalu lemah untuk menahan taraf tegangan tarik.

Luas minimum tulangan non prategang di balok:

$$A_{smin} = 0,004 A \quad (3.25)$$

dengan A adalah bagian dari penampang di antara muka tarik lentur dan pusat berat cgc penampang bruto (in^2).

2. Penulangan maksimum

Jika persentase penulangan terlalu besar, akibatnya kegagalan non daktil dapat terjadi dengan didahului hancurnya beton di serat tekan karena penulangan di sisi tarik tidak dapat leleh terlebih dahulu.

Untuk menjamin perilaku daktil, dibatasi persentase penulangan sedemikian hingga indeks penulangan tidak melebihi $0,36\beta_1$, sebagai ukuran berperilaku kurang, dimana efek kekuatan beton:

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 4000)}{1000} \geq 0,65 \quad (3.26)$$

a. Untuk penampang persegi panjang dengan baja prategang saja:

$$\omega_p = \rho_p \frac{f_{ps}}{f_c} \leq 0,36\beta_1 \quad (3.27)$$

b. Untuk penampang persegi panjang dengan tulangan tarik dan tekan dari baja lunak:

$$[\omega_p + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega')] \leq 0,36\beta_1 \quad (3.28)$$

dengan:

$$\omega = \frac{A_s f_y}{b d f_c} \quad (3.29)$$

dan

$$\omega' = \frac{A'_s f_y}{b d f_c} \quad (3.30)$$

c. Untuk penampang bersayap:

$$[\omega_{pw} + \frac{d}{d_p} (\omega_w - \omega'_w)] \leq 0,36\beta_1 \quad (3.31)$$

3.10.6 Estimasi Awal Dimensi Penampang

Menurut Andri (2008), dalam banyak situasi desain, panjang bentang adalah hal pertama yang ditetapkan, karena menyangkut banyak faktor. Untuk balok dengan penampang persegi, lebar balok dapat diambil $1/2 - 2/3$ kali tingginya.

Dari Lin (1982) untuk balok I dengan tumpuan sederhana dan panjang bentang sampai 60 meter, rasio panjang bentang terhadap tinggi penampang adalah antara 20 – 28.

Menurut Nawy (2001), sebagai patokan sederhana, tinggi rata-rata balok prategang sekitar 75 persen dari tinggi balok beton bertulang yang dibebani

serupa. Petunjuk lain untuk coba-coba awal adalah dengan menggunakan tinggi 0,6 in untuk setiap panjang bentang (ft) sesudah menghitung kuat nominal yang diperlukan ($M_n = M_u/\phi$).

Untuk tebal sayap coba-coba sedemikian hingga luas sayap beton total $A'_c = M_n/0,68f'_c h$ yang didasarkan atas pemilihan lebar sayap menurut persyaratan denah dan jarak antar balok.

Untuk lebar badan asumsikan sedemikian yang nantinya akan diselidiki cukup tidaknya terhadap persyaratan geser.

3.11 GESER BALOK PRATEGANG

Pada umumnya tegangan geser pada balok biasa disebabkan, bukan oleh geser langsung atau torsi murni, melainkan oleh kombinasi momen dan beban eksternal. Menurut Lin (1982), desain untuk retak akibat geseran di badan pada balok beton prategang didasarkan pada perhitungan tegangan tarik utama pada badan dan batas tegangan itu sampai pada nilai yang ditentukan.

3.11.1 Kuat Geser Badan

Retak geser badan pada balok prategang disebabkan oleh tegangan tak tertentu yang dapat dengan baik dievaluasi dengan menghitung tegangan tarik utama di bidang kritis. Standar ACI (2011) memberikan ketentuan sebagai berikut ini.

$$V_c = \left(0,6\lambda\sqrt{f'_c} + 700\frac{V_u d_p}{M_u}\right) b_w d_p \geq 1,7\lambda\sqrt{f'_c} b_w d_p \leq 5\lambda\sqrt{f'_c} b_w d_p \quad (3.32)$$

Nilai $V_u d_p/M_u$ tidak boleh melebihi 1,0.

dengan:

- $\lambda = 1,0$ untuk beton berbobot normal,
- $= 0,85$ untuk beton berbobot ringan pasir,
- $= 0,75$ untuk beton berbobot ringan,
- b_w = Lebar badan (in), dan

d_p = Jarak dari serat tekan ekstrim ke pusat berat baja prategang, atau $0,8h$, manapun yang terkecil (in).

3.12 PERILAKU STRUKTUR

Perilaku struktur dapat ditinjau dari segi nilai simpangan struktur, *story drift* yang terjadi, ataupun perilaku struktur lainnya. Gedung yang didesain sudah tentu dikehendaki mempunyai perilaku struktur yang baik. Untuk itu perlu adanya suatu kriteria desain yang memungkinkan bangunan mempunyai ketahanan yang baik terhadap beban rencana. Beberapa kriteria desain, yang secara umum memungkinkan dapat tercapainya performa yang diinginkan, adalah sebagai berikut ini.

1. Kekuatan (*strength*)

Bangunan haruslah mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan semua jenis kombinasi beban, yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban lainnya. Batas kekuatan desain haruslah ditentukan sedemikian agar tercapai desain bangunan yang diinginkan.

2. Kekakuan (*stiffness*)

Kriteria desain tidak cukup hanya pada kekuatan bangunan, tetapi ada kemungkinan lain yang juga harus dipenuhi, yaitu kekakuan. Kekakuan suatu bangunan didapat dari besarnya nilai simpangan struktur yang terjadi. Jika nilai simpangan terlalu kecil maka struktur akan menjadi getas dan jika simpangan terlalu besar maka bangunan menjadi tidak nyaman untuk dihuni. Maka dari itu, desain suatu struktur bangunan haruslah bersifat daktil/liat.

3. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas juga menjadi salah satu kriteria yang penting yang seterusnya akan berhubungan erat dengan sifat daktilitas suatu bangunan. Struktur yang stabil adalah apabila bangunan mampu bertahan pada simpangan yang cukup besar tanpa adanya penurunan kekuatan yang berarti.

3.12.1 Simpangan Struktur

Simpangan dari suatu titik pada suatu tingkat ditentukan sebagai simpangan horizontal titik tersebut relatif terhadap titik yang sesuai pada tingkat dibawahnya.

Simpangan struktur terhadap gaya gempa harus dikontrol untuk membatasi terjadinya peretakan beton yang berlebihan, untuk mencegah kerusakan non struktural dan untuk mencegah ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar tingkat ini, dihitung dari nilai simpangan gedung tersebut akibat pengaruh gempa, yang diperoleh dari hasil analisa struktur.

Pada SNI 1726-2013, simpangan struktur bangunan dibatasi sebesar $0,020.H$, dimana H adalah tinggi bangunan. Pembatasan ini bertujuan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan mencegah benturan berbahaya antar bangunan.

3.12.2 *Story Drift*

Story drift dari suatu titik pada suatu tingkat ditentukan sebagai selisih simpangan horizontal titik tersebut relatif terhadap titik yang sesuai pada tingkat dibawahnya.

Didalam analisis struktur nanti akan diketahui bahwa momen yang terjadi pada kolom yang mengalami goyangan akibat beban gempa nilainya merupakan fungsi langsung dari *story drift*. Apabila berhasil mengendalikan simpangan antar tingkat (*story drift control*), maka keberhasilan dalam desain bangunan tahan gempa dapat dicapai.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 TINJAUAN UMUM

Denah dan geometri tata letak parkir direncanakan dan diasumsikan sendiri secara logis dan proporsional berdasarkan tinjauan-tinjauan pustaka terdahulu dan survei ke beberapa lokasi gedung parkir. Perencanaan denah gedung parkir berpedoman pada 2 peraturan dari Direktur Jenderal Perhubungan Darat sebagai berikut ini.

1. Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir (1996), dan
2. Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir (1998).

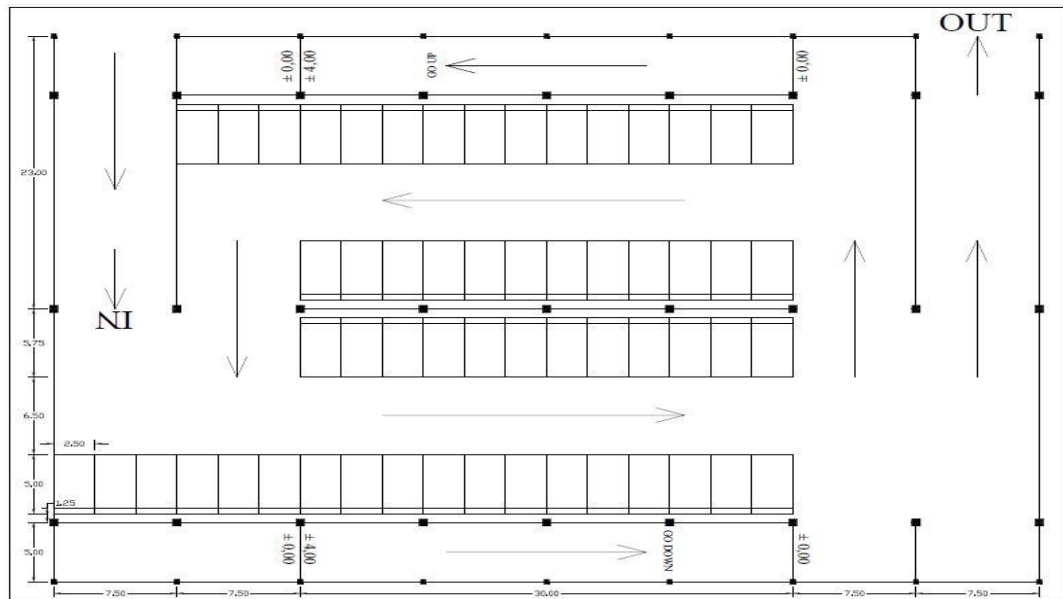
Gedung parkir akan direncanakan menahan gempa rencana dan akan ditinjau pada kondisi tanah sedang dan kondisi tanah lunak berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012). Perhitungan struktur pelat, balok dan kolom menggunakan beton bertulang didesain menurut Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013). Sedangkan perhitungan struktur balok prategang bentang 18 m didesain menurut *handbook* berjudul Beton Prategang karangan Nawy (2001) Jilid 1 dan Jilid 2.

4.2 DATA DENAH

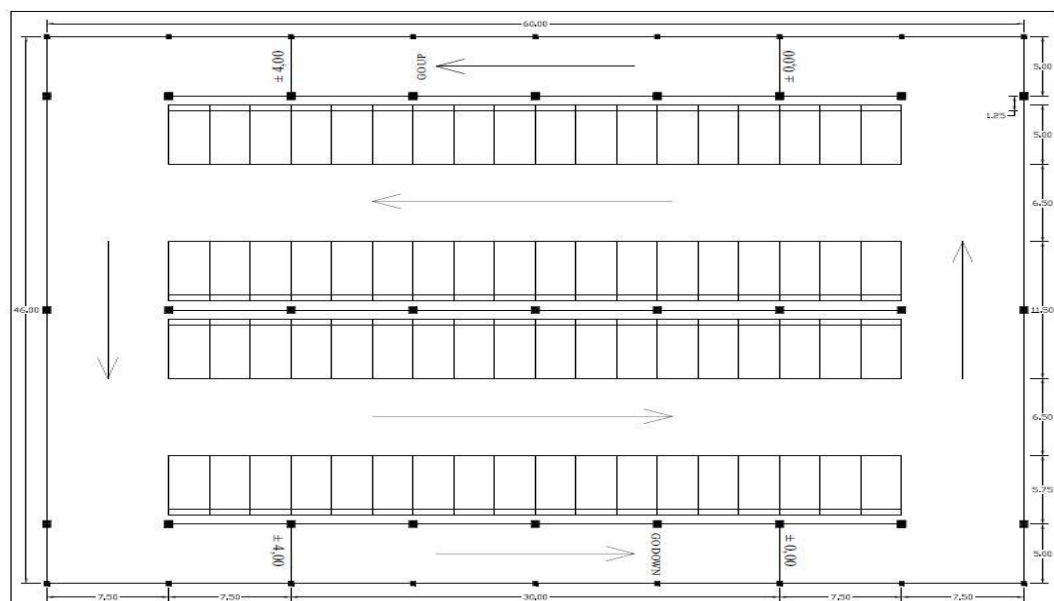
Dalam melakukan perencanaan gedung parkir ini perencanaan denah gedung parkir memiliki luas 46 m x 60 m yang meliputi:

- a. Dimensi Satuan Ruang Parkir (SRP) untuk mobil penumpang, diambil 2,5 m x 5 m dengan tebal penahan roda 15 cm.
- b. Lebar Ramp as ke as sebesar 5 m dengan kemiringan 13,33 %.
- c. Tinggi per lantai sebesar 4 m dan tinggi total bangunan sebesar 16 m.
- d. Lebar gang 6,5 m dengan arah lajur kendaraan satu arah.
- e. Total kapasitas mobil gedung parkir adalah 345 buah kendaraan.

Perlu diketahui bahwa gambar denah lantai 3, lantai 4 dan lantai 5 sama dengan gambar denah lantai 2, hanya berbeda elevasi tinggi bangunannya saja, yaitu 4 m. Gambar denah dan tata letak parkir yang direncanakan adalah sebagai berikut ini.



Gambar 4.1 Denah gedung parkir lantai 1



Gambar 4.2 Denah gedung parkir lantai 2-5

4.3 DATA STRUKTUR

Gedung parkir direncanakan menggunakan bahan material beton bertulang dan beton prategang, adapun spesifikasi bangunan sebagai berikut ini.

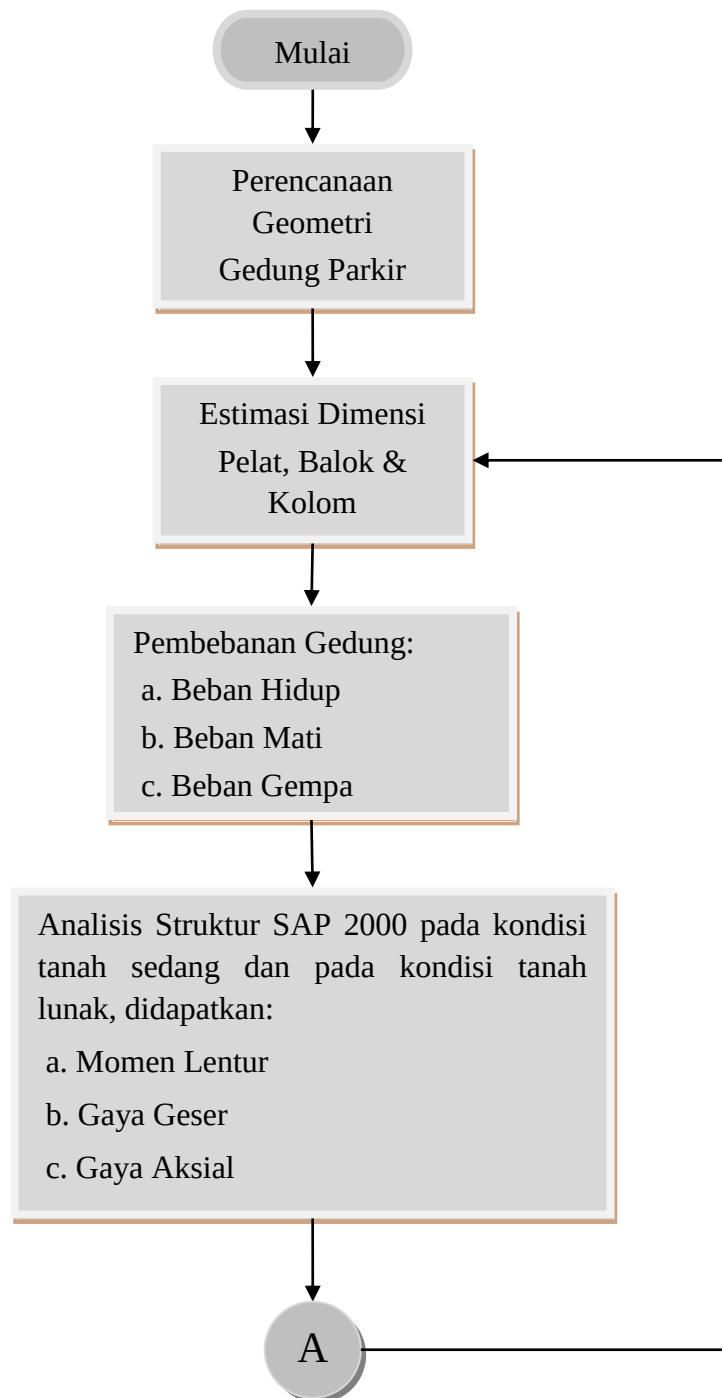
1. Gedung parkir yang direncanakan merupakan bangunan yang terdiri 5 lantai yang digunakan untuk mobil penumpang saja. Untuk pembebanan struktur menggunakan beban hidup terbagi merata 400 kg/m^2 sesuai dengan Peraturan Indonesia tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1987).
2. Mutu bahan material yang digunakan sebagai berikut ini.
 - a. Baja Tulangan Deform (BJTD) untuk $\phi \leq 12 \text{ mm}$, $f_y = 240 \text{ MPa}$.
 - b. Baja Tulangan Deform (BJTD) untuk $\phi > 12 \text{ mm}$, $f_y = 400 \text{ MPa}$.
 - c. Mutu beton bertulang $f'_c = 30 \text{ MPa}$.
 - d. Mutu beton prategang $f'_c = 40 \text{ MPa}$.
3. Mutu *strands* prategang yang digunakan:
 - a. $f_{pu} = 270 \text{ ksi}$ untuk strand 7 kawat melingkar dengan diameter 0,5 inchi.
 - b. $f_{pu} = 240 \text{ ksi}$ untuk satu kawat diameter 0,25 inchi.

4.4 ANALISIS STRUKTUR

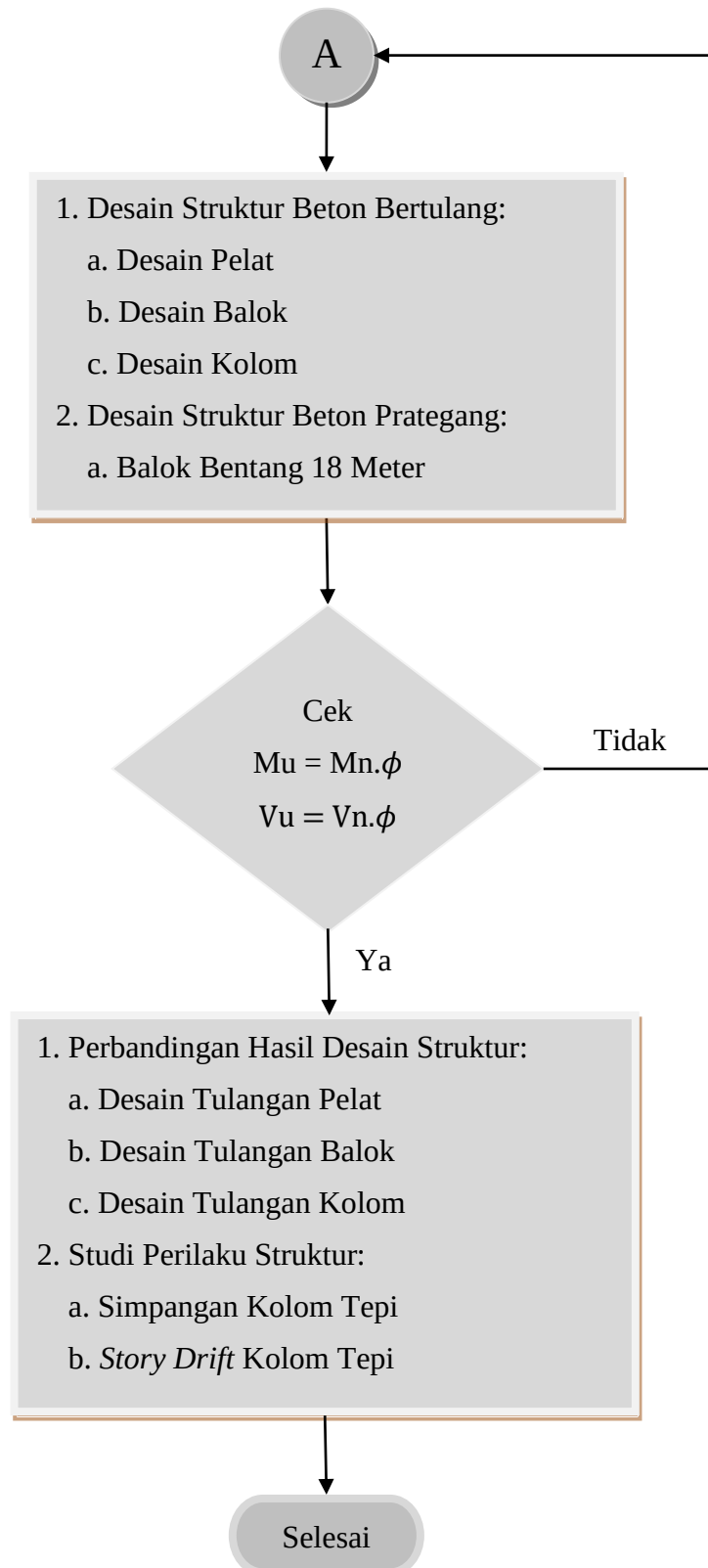
Analisis struktur dalam tugas akhir ini menggunakan software SAP 2000 versi 14 dan output yang diharapkan dari analisis tersebut adalah momen lentur, gaya geser dan gaya aksial. Hasil dari output tersebut akan dipakai untuk analisis desain struktur yang meliputi pelat, balok dan kolom. Dari hasil desain struktur tersebut akan dievaluasi perilaku struktur berupa simpangan dan *story drift*.

4.5 BAGAN PROSES PERHITUNGAN STRUKTUR

Bagan proses perhitungan struktur gedung parkir secara keseluruhan dapat dilihat dalam gambar sebagai berikut ini.



Gambar 4.3 *Flowchart* proses perhitungan struktur



Gambar 4.3 Lanjutan *Flowchart* proses perhitungan struktur

Tabel 4.1 Jadwal rencana Tugas Akhir

Bulan ke		1				2				3				4				5				6			
Minggu ke		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Kegiatan	Bobot																								
Persiapan																									
Perencanaan denah	5	5																							
Estimasi dimensi	5		5																						
Pembebanan	5		5																						
Analisis struktur SAP																									
Kondisi tanah sedang	10			5	5																				
Kondisi tanah lunak	10					5	5																		
Desain beton bertulang																									
Desain pelat	10							5	5																
Desain balok	15								5	5	5														
Desain Kolom	20											5	5	5	5										
Desain beton prategang																									
Desain balok 18 m	20															5	5	5	5						
Perbandingan struktur																									
Kondisi tanah sedang	5																			5					
Kondisi tanah lunak	5																				5				
Penyusunan Laporan																									
Laporan sementara	10																					5	5		
Laporan akhir	10																							5	5
Jumlah Bobot	130	5	10	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Jumlah Bobot		5	15	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130
Kumulatif Bobot		3.8	12	15	19	23	27	31	38	42	46	50	54	58	62	65	69	73	77	81	85	88	92	96	100

BAB V

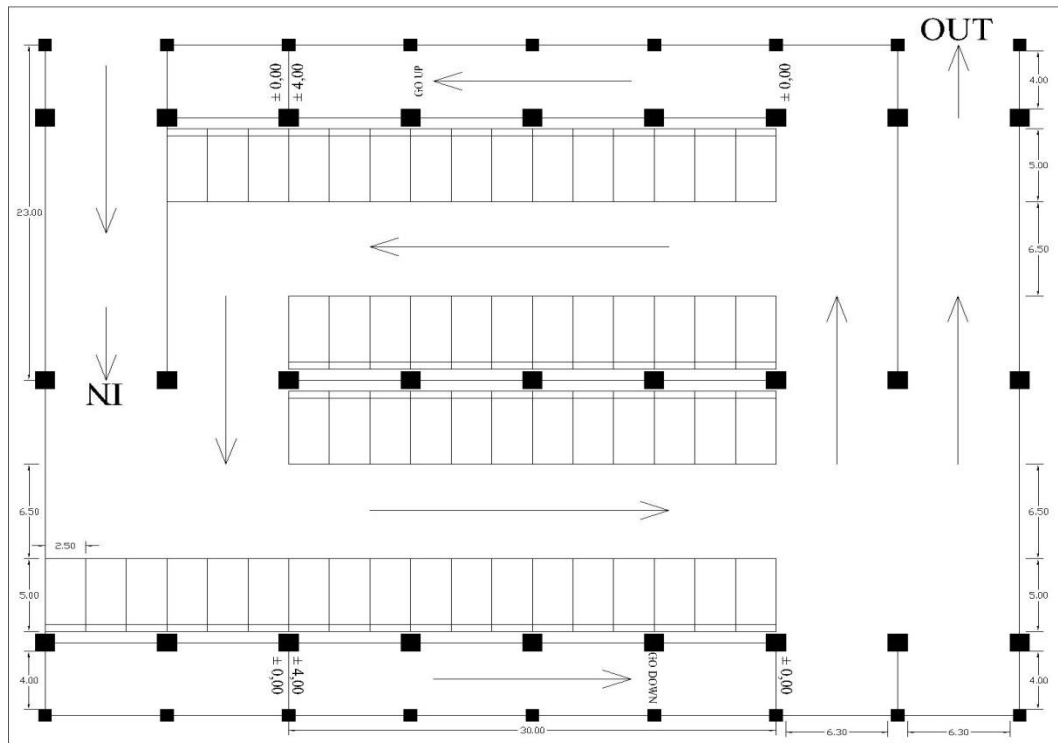
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 GEOMETRI STRUKTUR

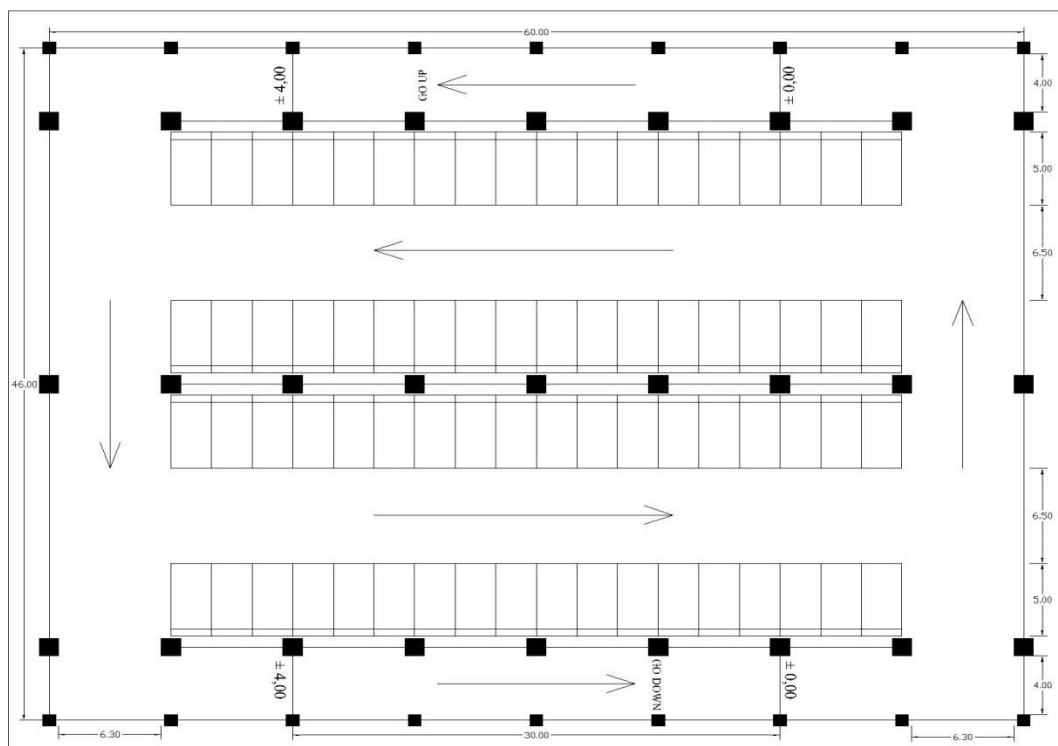
Pada studi ini akan dilakukan analisis struktur pada bangunan parkir yang direncanakan dan diasumsikan sendiri menurut Peraturan PU, yaitu Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir (1996), dan Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir (1998).

Geometri denah bangunan direncanakan sedemikian, dengan harapan untuk memberikan kenyamanan bagi pengguna fasilitas parkir. Gedung direncanakan hanya dapat menampung kendaraan mobil penumpang yang mempunyai berat tidak lebih dari 3500 kg termasuk berat penumpang. Perencanaan geometri gedung parkir adalah sebagai berikut ini.

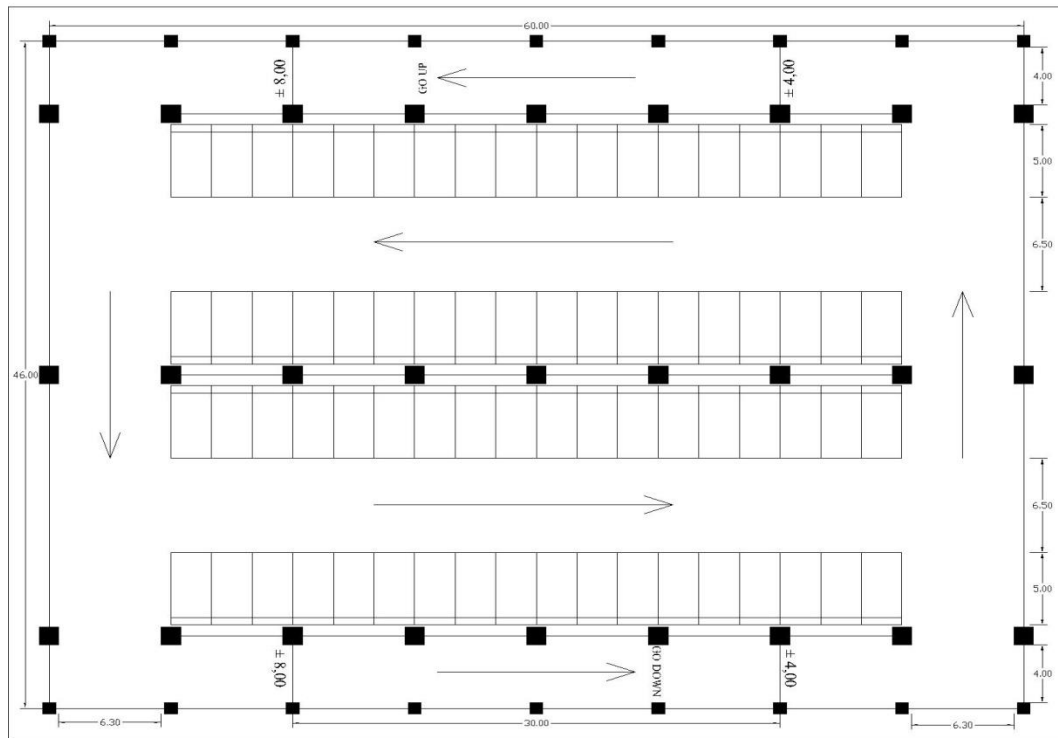
1. Luas bangunan 60 m x 46 m.
2. Lebar dinding 15 cm dengan tinggi 1 meter.
3. Jumlah tingkat 5 tanpa atap.
4. Tinggi per tingkat sebesar 4 m dan tinggi total bangunan sebesar 16 m.
5. Tinggi ruang kendaraan 2,9 meter
6. Panjang pintu masuk 23 meter.
7. Lebar pintu masuk 6 meter.
8. Dimensi Satuan Ruang Parkir (SRP) 2,5 m x 5 m.
9. Sudut pola parkir sebesar 90°.
10. Lebar Ramp sebesar 4 m dengan kemiringan 13,33 %.
11. Lebar gang 6,5 m dengan arah lajur kendaraan satu arah.
12. Total kapasitas mobil gedung parkir adalah 345 buah kendaraan.



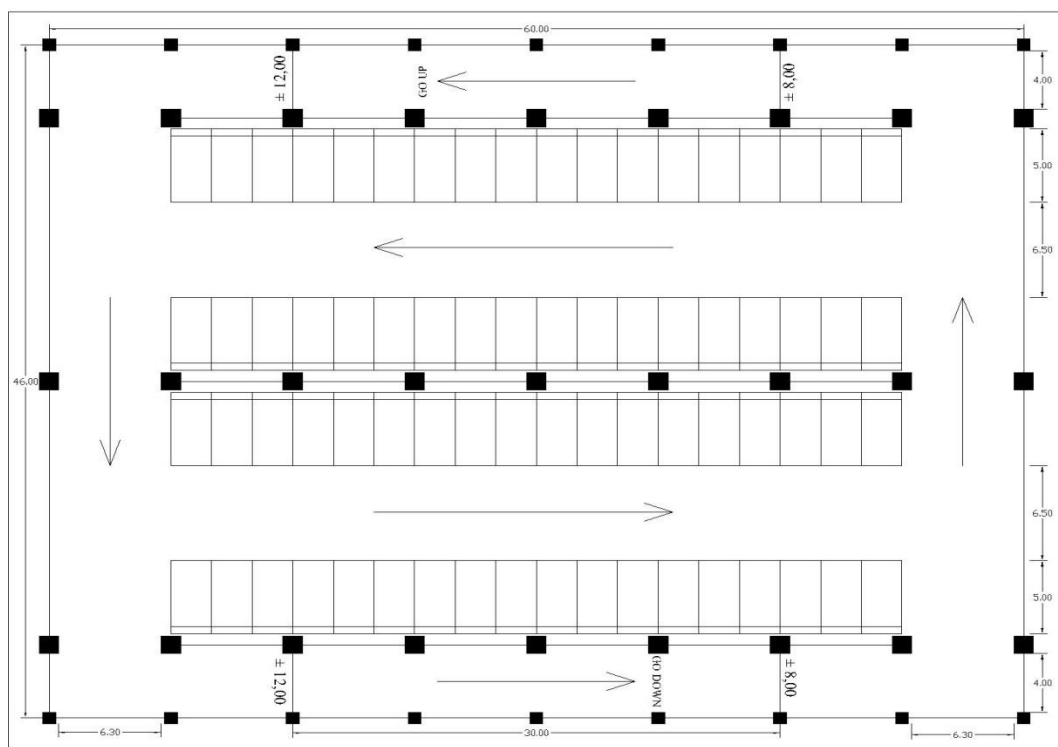
Gambar 5.1 Gambar geometri gedung parkir lantai 1



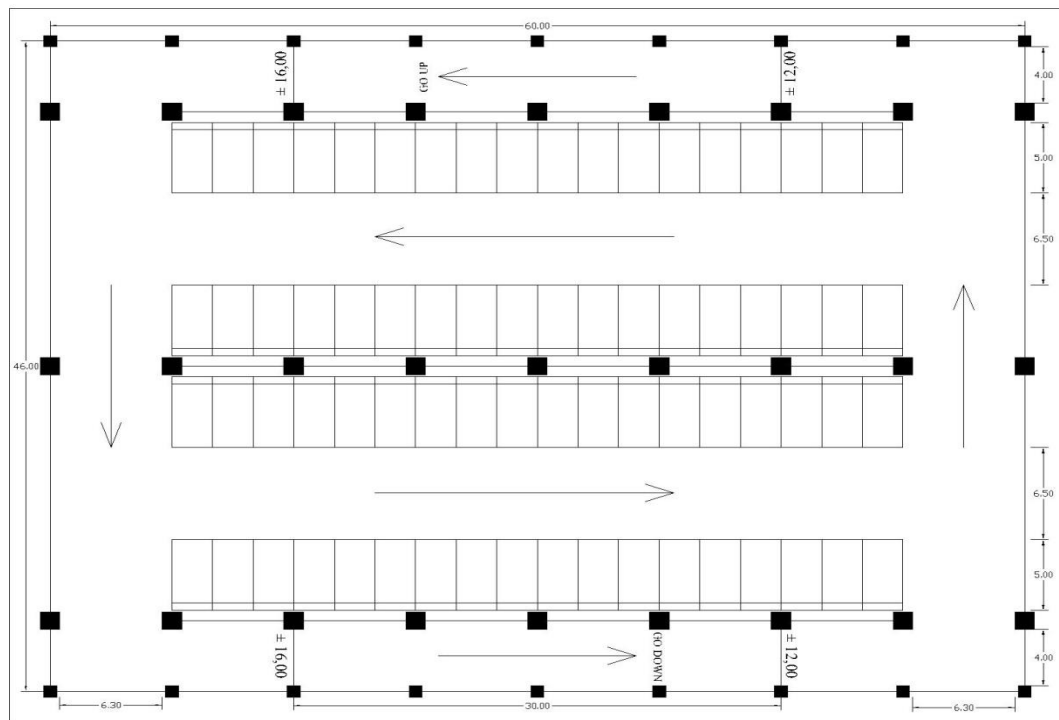
Gambar 5.2 Gambar geometri gedung parkir lantai 2



Gambar 5.3 Gambar geometri gedung parkir lantai 3



Gambar 5.4 Gambar geometri gedung parkir lantai 4



Gambar 5.5 Gambar geometri gedung parkir lantai 5

5.2 PRELIMINARI STRUKTUR

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi pelat, balok dan kolom, yang akan direncanakan terlebih dahulu dimensi awal dari komponen struktur tersebut (pra perencanaan).

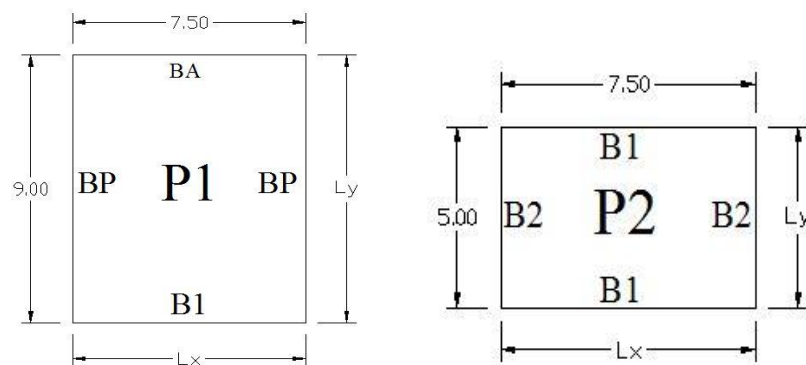
5.2.1 Material

Material yang digunakan dalam merencanakan bangunan parkir ini adalah material beton bertulang dan material beton prategang. Berikut ini merupakan data material yang digunakan.

1. Material beton bertulang
 - a. Mutu beton (f'_c) = 30 Mpa
 - b. Mutu tulangan $D \leq 12$ mm (f_y) = 240 Mpa
 - c. Mutu tulangan $D > 12$ mm (f_y) = 400 Mpa
2. Material beton prategang
 - a. Mutu beton (f'_c) = 40 Mpa
 - b. Mutu strands 7 kawat 0,5 in (f_{pu}) = 1862 Mpa

5.2.2 Pelat

Pelat yang digunakan pada model struktur bangunan ini menggunakan material beton bertulang. Pelat beton bertulang terdapat 2 tipikal, yaitu terdiri dari pelat tipikal 1 dan pelat tipikal 2. Perhitungan untuk ketebalan pelat tipikal 1 pra perencanaan dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.



Gambar 5.6 Pelat tipikal 1 (kiri) dan pelat tipikal 2 (kanan)

$$l_n = 9000 - 0,5 \times 400 - 0,5 \times 400$$

$$= 8600 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,84$$

$$\alpha_m = 11,2278$$

$$\begin{aligned} h_1 &= \frac{l_n \times \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5 \times \beta \times (\alpha_m - 0,2)} \\ &= \frac{8600 \times \left(0,8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 5 \times 0,84 \times (11,2278 - 0,2)} \\ &= 101,7816 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= \frac{l_n \times \left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9 \times \beta} \\ &= \frac{8600 \times \left(0,8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 9 \times 0,84} \\ &= 178,8436 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi pada pelat tipikal 1 digunakan tebal 200 mm. Dan dengan perhitungan yang sama pada pelat tipikal 2 digunakan tebal 150 mm.

5.2.3 Balok

Balok yang akan direncanakan pada studi ini, terdiri dari balok beton bertulang dan balok prategang. Dimensi balok beton bertulang disesuaikan agar dapat menahan beban yang diberikan pada bangunan ini, dan tidak kurang dari yang disyaratkan SNI 2847 2013, yaitu tinggi minimal $1/16$ bentang. Sedangkan dimensi balok prategang dihitung berdasarkan asumsi Nawy (2001), yaitu tinggi 0,6 in untuk setiap panjang bentang (ft). Perhitungan dimensi awal balok dapat dilihat dibawah ini.

1. Balok induk tipikal 1 (BI1)

$$\begin{aligned} h &= 1/13 \times L \\ &= 1/13 \times 7500 \\ &= 576,9231 \approx 600 \text{ mm} \\ b &= 0,5 \times h \\ &= 0,5 \times 600 \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Balok induk tipikal 2 (BI2)

$$\begin{aligned} h &= 1/13 \times L \\ &= 1/13 \times 5000 \\ &= 384,6154 \approx 400 \text{ mm} \\ b &= 0,5 \times h \\ &= 0,5 \times 400 \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Balok anak (BA)

$$\begin{aligned} h &= 1/15 \times L \\ &= 1/15 \times 7500 \\ &= 500 \text{ mm} \\ b &= 0,5 \times h \\ &= 0,5 \times 500 \end{aligned}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

4. Balok prategang (BP)

$$L = 18/0,3048$$

$$= 59,0551 \text{ ft}$$

$$h = 0,6 \times 59,0551$$

$$= 35,4331 \text{ in}$$

$$h = 35,4331 \times 0,0254$$

$$= 0,9 \text{ m}$$

$$= 900 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

5.2.4 Kolom

Kolom yang digunakan pada studi ini adalah kolom bersengkang dengan bahan material beton bertulang. Kolom yang direncanakan terdiri dari 2 tipikal. Dimensi awal pada kolom tipikal 1 disesuaikan dengan pembebanan dan geometri bangunan yang direncanakan, yaitu 1200 mm x 1200 mm. Sedangkan estimasi awal dimensi kolom tipikal 2 dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini.

$$\text{Jumlah lantai (n)} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Luas pelat 2 (P2)} = p \times l$$

$$= 7,5 \times 5$$

$$= 37,5 \text{ m}^2$$

Beban mati (q_d pelat)

$$\text{Beban pelat} = \text{tebal P2} \times \text{bj beton}$$

$$= 0,15 \times 23,5359 = 3,5304 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 21/101,972 = 0,2059 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penggantung} = 7/101,972 = 0,0686 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total beban (} q_d \text{ pelat)} = 3,8050 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup (} q_l) = 3,9226 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_u = 1,2 \times q_d + 1,6 \times q_l$$

$$= 1,2 \times 3,8050 + 1,6 \times 3,9226$$

$$= 10,842 \text{ kN/m}^2$$

$$P_u = n \times \text{luas pelat} \times Q_u$$

$$= 4 \times 37,5 \times 10,842$$

$$= 1626,3288 \text{ kN}$$

$$= 1626328,8 \text{ N}$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,1 \times f_c}$$

$$= \frac{1626328,8}{0,1 \times 30}$$

$$= 542109,6 \text{ mm}^2$$

$$b = \sqrt{A_g}$$

$$= \sqrt{542109,6}$$

$$= 736,2809 \approx 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

5.2.5 Pondasi

Pemodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi memberikan kekangan translasi dan rotasi yang cukup ke semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut, pondasi dimodelkan sebagai perletakan jepit pada lantai dasar bangunan, yaitu pada ujung-ujung bawah kolom lantai dasar. Sedangkan kondisi tanah ditinjau pada daerah tanah lunak dan daerah tanah sedang.

5.3 PEMBEBANAN STRUKTUR

Pembebanan struktur yang dimaksud adalah pendefinisian beban-beban yang bekerja pada struktur sesuai dengan Pedoman Perencanaan untuk Rumah dan Gedung (SKBI 1.3.53.1987). Seluruh beban yang telah didefinisikan akan

diinput ke program SAP2000 yang nantinya akan dihitung secara otomatis oleh program tersebut. Beban-bekan yang bekerja pada struktur bangunan ini adalah sebagai berikut ini.

5.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua unsur bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, finishing, mesin-mesin, serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari bangunan. Dalam studi ini, beban mati yang digunakan sebagai berikut ini.

1. Pembebanan SKBI 1987:

- a. Berat beton bertulang = 2400 kg/m^3
- b. Berat spesi = 1800 kg/m^3
- c. Berat penggantung = 7 kg/m^2

2. Pembebanan yang digunakan:

a. Beban tambahan pada pelat (q_{sd} pelat)

$$\text{Spesi} = 0,02 \times (1800/101,972) = 0,3531 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penggantung} = 7/101,972 = 0,0686 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total beban } (q_{sd} \text{ pelat}) = 0,4217 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban dinding (q_{sd} dinding)

$$\text{Bata merah} = 1700/101,972 = 16,6712 \text{ kN/m}^3$$

$$q_{sd} \text{ dinding} = b \times h \times \text{berat}$$

$$= 0,15 \times 1 \times 16,6712 = 2,5007 \text{ kN/m}^2$$

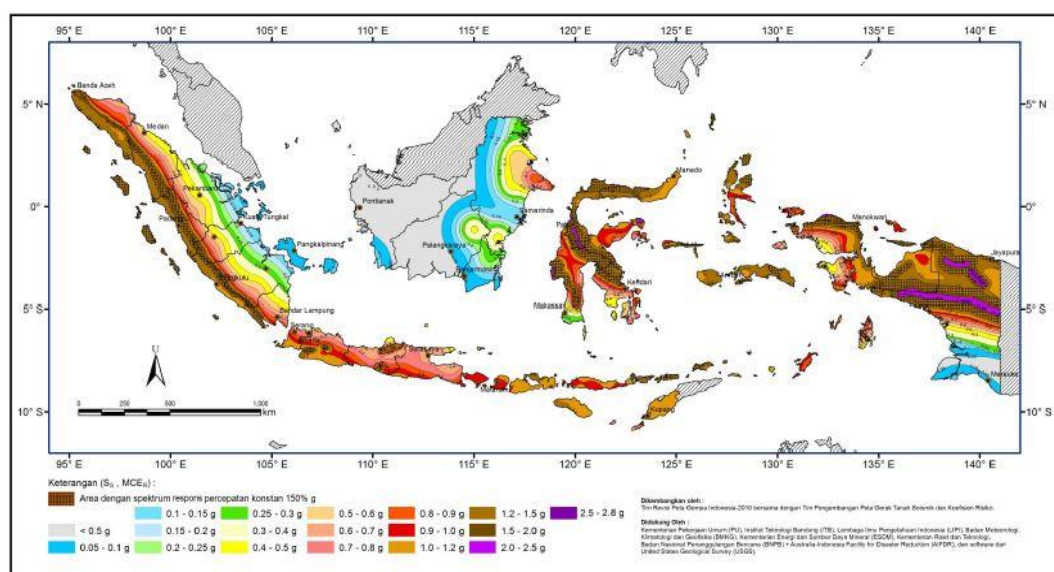
5.3.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penggunaan suatu bangunan, yang terdiri dari penghuni gedung dan unsur-unsur yang letaknya tidak tetap atau dapat berpindah-pindah. Beban hidup merata pada lantai gedung parkir bertingkat untuk lantai bawah sebesar 800 kg/m^2 dan untuk lantai tingkat lainnya sebesar 400 kg/m^2 . Pada studi ini hanya akan ditinjau struktur lantai atas, jadi beban hidup merata yang digunakan adalah sebesar 400 kg/m^2 .

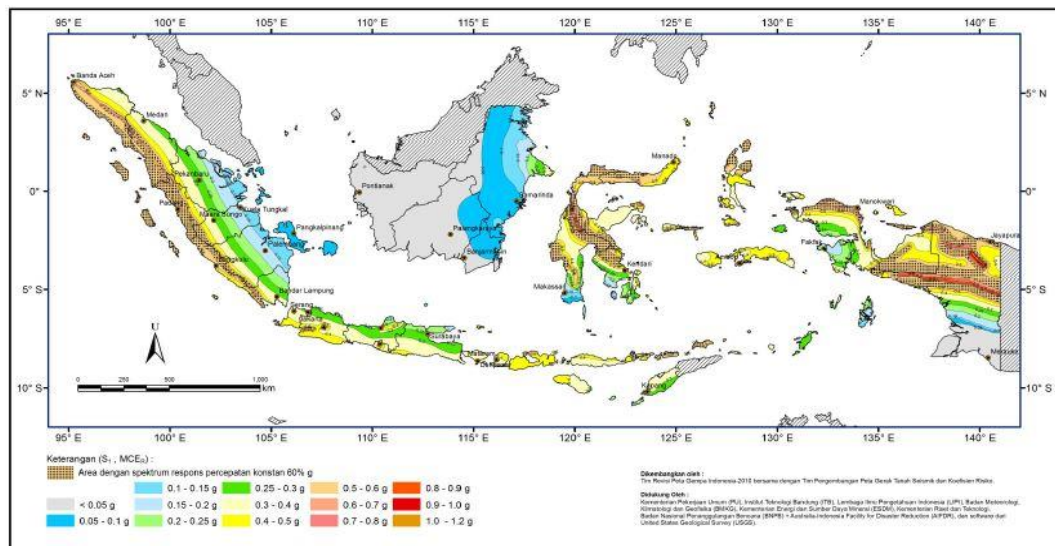
5.3.3 Beban Gempa

Pada studi ini, akan dilakukan analisis struktur terhadap beban gempa, dengan menggunakan respon spektrum. Daerah gempa diasumsikan berada di zona gempa wilayah Jakarta dan ditinjau terletak di atas tanah lunak dan tanah sedang. Model *respons spectrum* pada SAP2000 menggunakan cara IBC2006 dengan memasukkan data sesuai dengan daerah yang ditinjau. Data gempa yang dimasukkan sesuai dengan SNI 1726-2012, yaitu sebagai berikut ini.

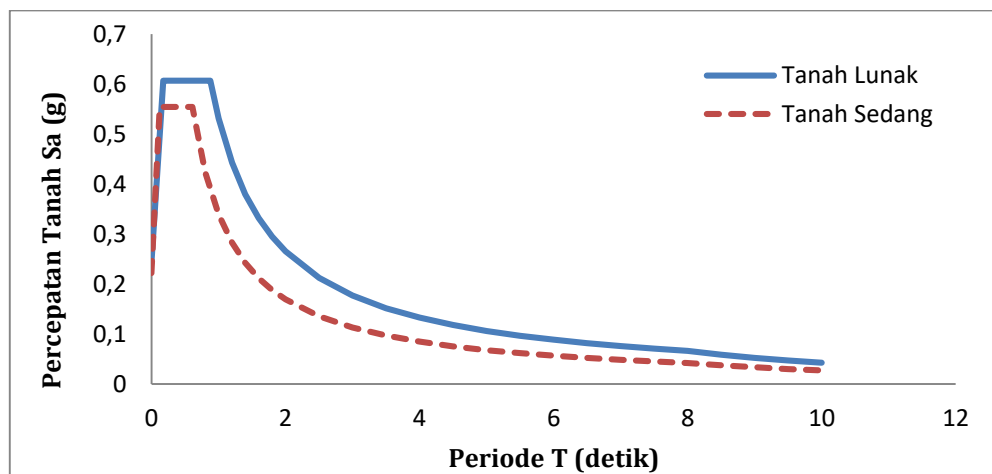
1. $S_s = 0,60g - 0,70g$, diambil $S_s = 0,65g$
2. $S_1 = 0,25g - 0,30g$, diambil $S_1 = 0,275g$
3. Kelas situs tanah sedang = kelas D
4. Kelas situs tanah lunak = kelas E
5. Faktor skala gempa $SF = \frac{I_g}{R} = \frac{1 \times 9,81}{8} = 1,22625$
6. Diasumsikan pada arah x terjadi gempa 2 arah, yaitu:
 - a. arah x sebesar $100\% = 100\% \cdot 1,22625 = 1,22625$
 - b. arah y sebesar $30\% = 30\% \cdot 1,22625 = 0,367875$
7. Diasumsikan pada arah y terjadi gempa 2 arah, yaitu:
 - a. arah y sebesar $100\% = 100\% \cdot 1,22625 = 1,22625$
 - b. arah x sebesar $30\% = 30\% \cdot 1,22625 = 0,367875$



Gambar 5.7 Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_s)



Gambar 5.8 Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tertarget (S_1)



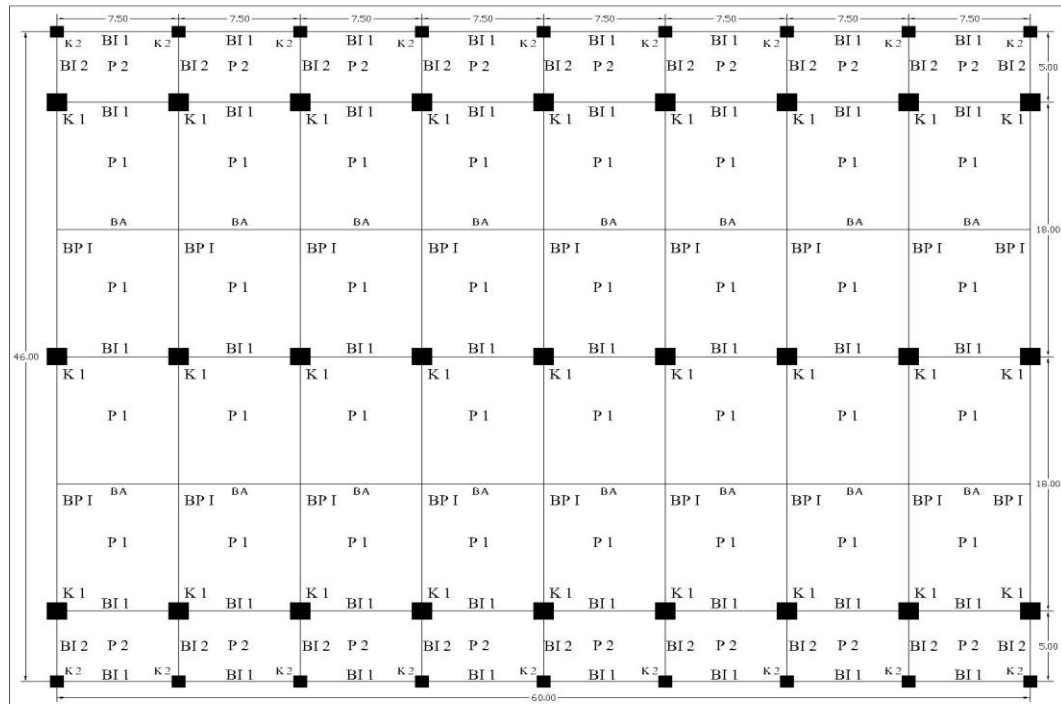
Gambar 5.9 Respon spektrum SAP2000 kondisi tanah lunak dan sedang

5.4 MODEL STRUKTUR SAP2000

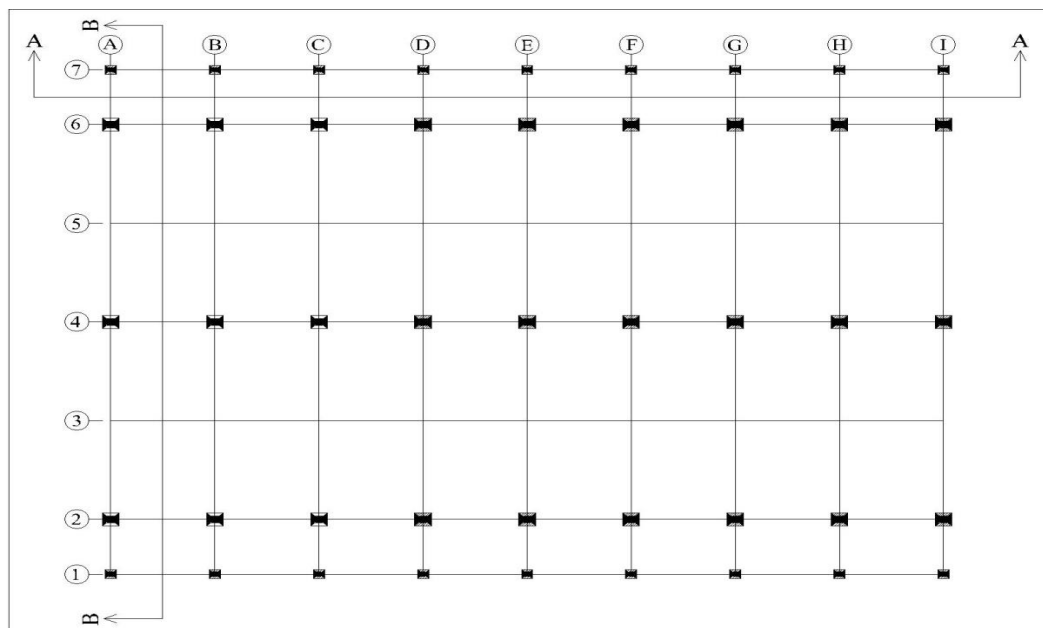
Pada studi ini akan dilakukan analisis struktur dari keluaran program SAP2000. Analisis tersebut mencakup perhitungan desain tulangan longitudinal dan tulangan geser penampang, analisa perilaku simpangan struktur dan analisa perilaku *story drift* yang terjadi.

Geometri bangunan, preliminari penampang, dan pembebanan struktur yang telah direncanakan, selanjutnya diinput dan dianalisis sedemikian dengan program SAP2000. Kemudian dari hasil analisis SAP2000 tersebut, dihitung dan

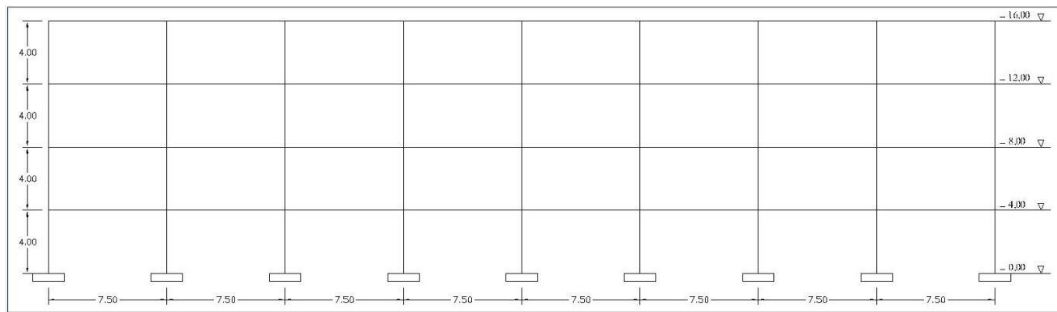
diolah secara manual dengan program *Microsoft Excel*. Model struktur SAP2000 yang dimaksud, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



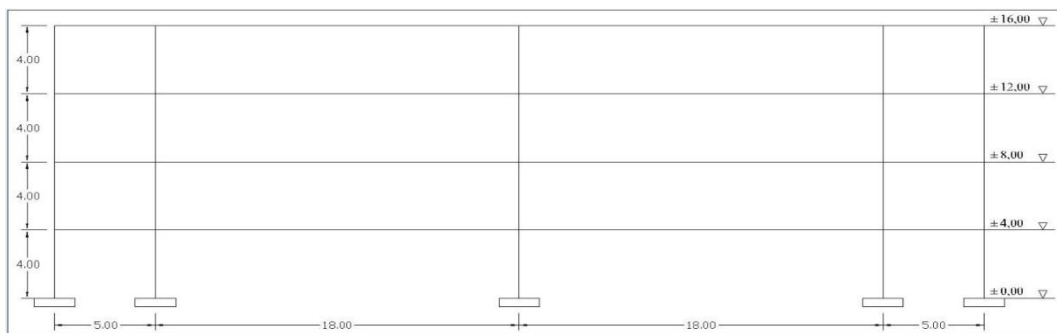
Gambar 5.10 Denah Struktur Gedung Parkir



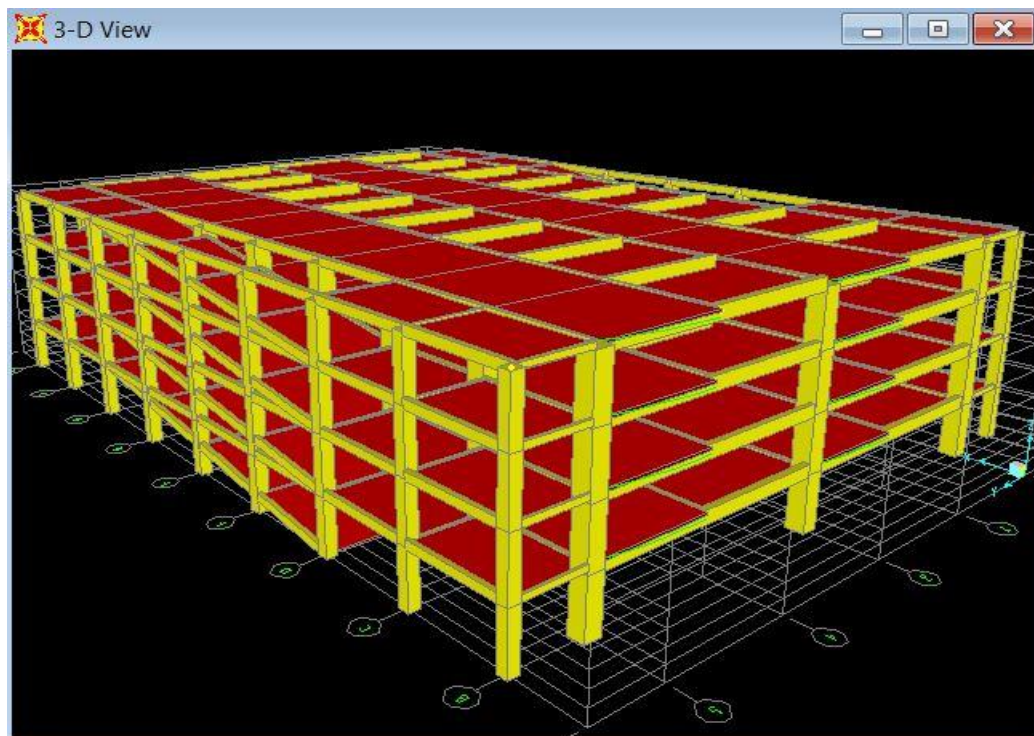
Gambar 5.11 Potongan denah gedung parkir



Gambar 5.12 Potongan A-A



Gambar 5.13 Potongan B-B



Gambar 5.14 Model struktur SAP2000 3D View

5.5 PERHITUNGAN DESAIN PELAT BETON BERTULANG

Dalam subbab ini, perhitungan desain pelat beton bertulang, terdiri dari 2 tipikal, yaitu tipikal 1 (P1) dan tipikal 2 (P2). Analisis struktur dari SAP2000, ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang. Pembahasan selanjutnya akan disajikan dalam tabel dan *chart*.

5.5.1 Hasil Analisis Struktur Pelat Tipikal 1

Berikut ini adalah hasil analisis struktur SAP2000 untuk pelat tipikal 1 (P1) yang mempunyai luas 7500 mm x 9000 mm dengan tebal 200 mm.

Tabel 5.1 Hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah lunak

SAP-LUNAK Pelat Tipikal 1 (P1)			
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.2642	-25.251	47.2423	-54.942
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.561	-26.773	47.243	-57.4642
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.1051	-24.6776	47.1186	-56.8843
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.0028	-22.4794	47.4884	-56.0209

Tabel 5.2 Hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah sedang

SAP-SEDANG Pelat Tipikal 1 (P1)			
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.0595	-24.1528	47.2029	-52.0165
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.3265	-25.5152	47.1893	-53.5761
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
20.9093	-23.5901	47.0699	-53.1564
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
20.8456	-21.6566	47.4283	-52.8538

Momen yang digunakan untuk perencanaan adalah yang terbesar dari hasil analisis struktur tersebut. Berikut ini adalah nilai maksimum dari hasil analisis struktur SAP2000 pada pelat tipikal 1 (P1).

1. Kondisi tanah lunak:
 - a. Momen positif lapangan arah x (M_{x+}) = 21,561 kN-m
 - b. Momen negatif tumpuan arah x (M_{x-}) = -26,773 kN-m
 - c. Momen positif lapangan arah y (M_{y+}) = 47,4884 kN-m
 - d. Momen negatif tumpuan arah y (M_{y-}) = -57,4642 kN-m
2. Kondisi tanah sedang:
 - a. Momen positif lapangan arah x (M_{x+}) = 21,3265 kN-m
 - b. Momen negatif tumpuan arah x (M_{x-}) = -25,5152 kN-m
 - c. Momen positif lapangan arah y (M_{y+}) = 47,4283 kN-m
 - d. Momen negatif tumpuan arah y (M_{y-}) = -53,5761 kN-m

5.5.2 Perhitungan Desain Tulangan Pelat Tipikal 1

Berikut ini adalah perhitungan tulangan longitudinal pelat tipikal 1 pada kondisi tanah lunak akibat momen negatif tumpuan arah y (M_{y-}) = 57,4642 kN-m.

1. Data penampang:

- a. Kuat tekan beton (f'_c) = 30 Mpa
- b. Kuat tarik tulangan (f_y) = 400 Mpa
- c. Faktor $\beta_1 = 0,84$
- d. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) = 0,80
- e. Tebal pelat (h) = 200 mm
- f. Tulangan pokok dipakai D10 diameter = 10 mm
- g. Tulangan susut dipakai P8 diameter = 8 mm
- h. Selimut beton (s_b) = 20 mm
- i. Tinggi efektif (d'):

$$d' = s_b + \frac{1}{2} D$$

$$= 20 + \frac{1}{2} \times 10$$

$$= 25 \text{ mm}$$

j. Tinggi efektif (d)

$$d = h - d$$

$$= 200 - 27$$

$$= 175 \text{ mm}$$

k. Regangan leleh baja (ϵ_y)

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

$$= \frac{400}{200000}$$

$$= 0,0020$$

2. Perhitungan desain tulangan longitudinal

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta_1 \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,84 \times \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,03197$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,03197$$

$$= 0,02397$$

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

$$= \frac{1,4}{400}$$

$$= 0,00350$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{57,4642}{0,80} \\
 &= 71,8303 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$71,8303 \times 10^6 = 0,85 \times 30 \times 1000 \times a \times \left(175 - \frac{a}{2}\right)$$

Dicari a dengan persamaan kuadrat

$$a = 16,9138 \text{ mm}$$

Letak garis netral (c)

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{16,9138}{0,84}$$

$$= 20,2387 \text{ mm}$$

Periksa regangan tulangan tarik

$$\epsilon_s = \epsilon_{cu} \times \left(\frac{d-c}{c}\right)$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{175 - 20,2387}{20,2387}\right)$$

$$= 0,02294 > \epsilon_y = 0,0020, \text{ tulangan tarik sudah leleh}$$

Kesetimbangan gaya dalam (T = C)

$$T = C = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1000 \times 16,9138$$

$$= 431301 \text{ N}$$

Luas tulangan (As)

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{T}{f_y} \\
 &= \frac{431301}{400} \\
 &= 1078,2531 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Periksa rasio tulangan (ρ)

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= \frac{1078,2531}{1000 \times 175} \\
 &= 0,00616 > \rho_{\min} = 0,00350 \text{ (oke)}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan susut (A_{st})

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= 0,002 \times b \times h \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 200 \\
 &= 400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan pokok (s)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_{D10} \times 1000}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{1078,2531} \\
 &= 72,8399 \text{ mm, dipakai D10 – 70 mm}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut (s')

$$\begin{aligned}
 s' &= \frac{A_{P8} \times 1000}{400} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 8^2 \times 1000}{400} \\
 &= 125,6637 \text{ mm, dipakai P8 – 120 mm}
 \end{aligned}$$

5.5.3 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil analisis struktur SAP2000 berupa momen lentur arah x dan arah y. Penampang terdiri dari pelat tipikal 1 (P1) dan pelat tipikal 2 (P2), yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.3 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah lunak

SAP-LUNAK Pelat Tipikal 1 (P1)			
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.2642	-25.251	47.2423	-54.942
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.561	-26.773	47.243	-57.4642
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.1051	-24.6776	47.1186	-56.8843
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.0028	-22.4794	47.4884	-56.0209

Tabel 5.4 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 kondisi tanah sedang

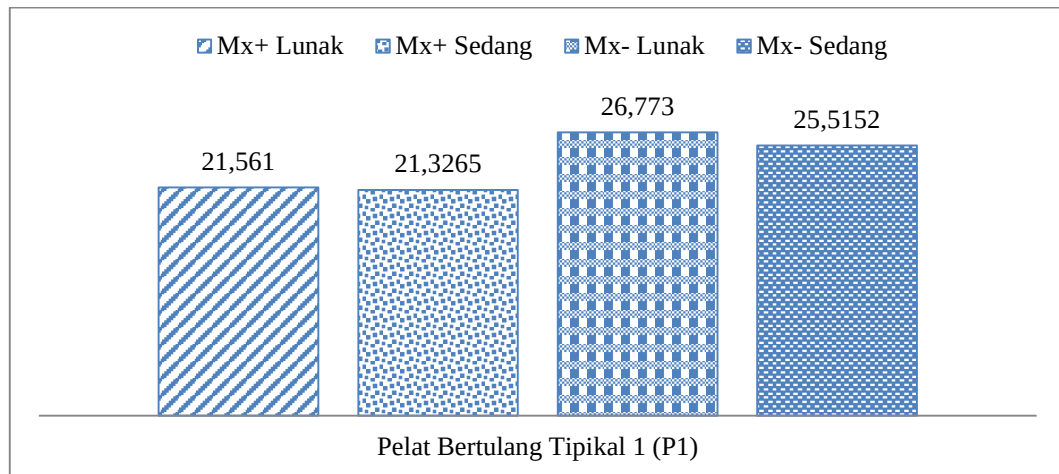
SAP-SEDANG Pelat Tipikal 1 (P1)			
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.0595	-24.1528	47.2029	-52.0165
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
21.3265	-25.5152	47.1893	-53.5761
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
20.9093	-23.5901	47.0699	-53.1564
Pelat Tipikal 1 (P1) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EX		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
20.8456	-21.6566	47.4283	-52.8538

Tabel 5.5 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 kondisi tanah lunak

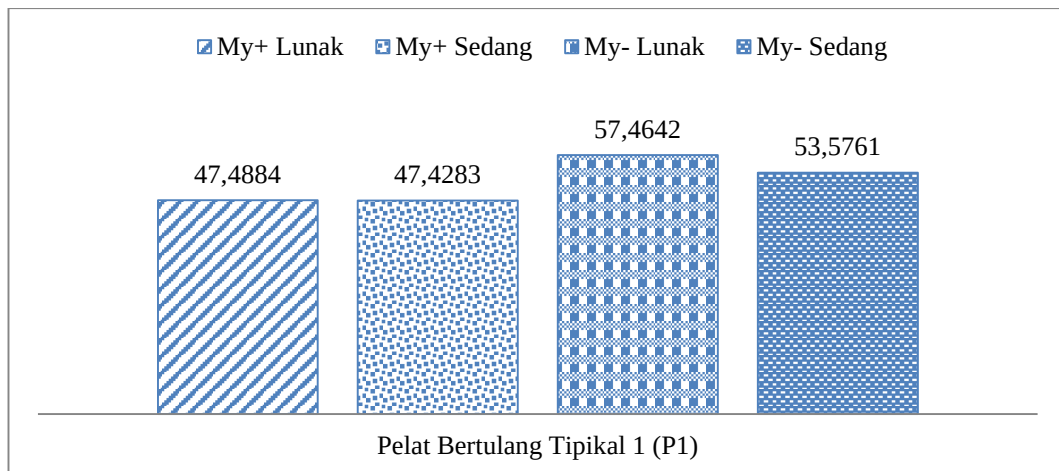
SAP-LUNAK Pelat Tipikal 2 (P2)			
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
12.0065	-12.9071	13.1621	-13.6541
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
16.4864	-16.4359	16.713	-17.0975
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
17.7712	-17.4772	15.9209	-16.2588
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
16.4364	-16.3269	14.3923	-15.4935

Tabel 5.6 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 kondisi tanah sedang

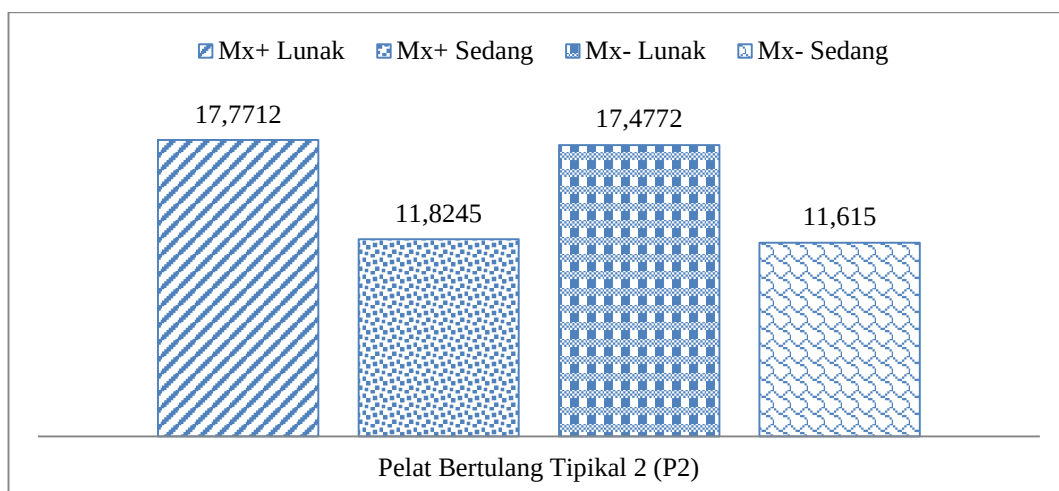
SAP-SEDANG Pelat Tipikal 2 (P2)			
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
7.9147	-8.7195	8.6149	-9.1944
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
10.7643	-10.7941	10.7728	-11.1586
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
11.8245	-11.615	10.2649	-10.6078
Pelat Tipikal 2 (P2) Lantai 5			
Kombinasi 1,2D+1L+1EY		Kombinasi 1,2D+1L+1EY	
Momen (Mx+)	Momen (Mx-)	Momen (My+)	Momen (My-)
11.0689	-10.9211	9.5202	-10.7567



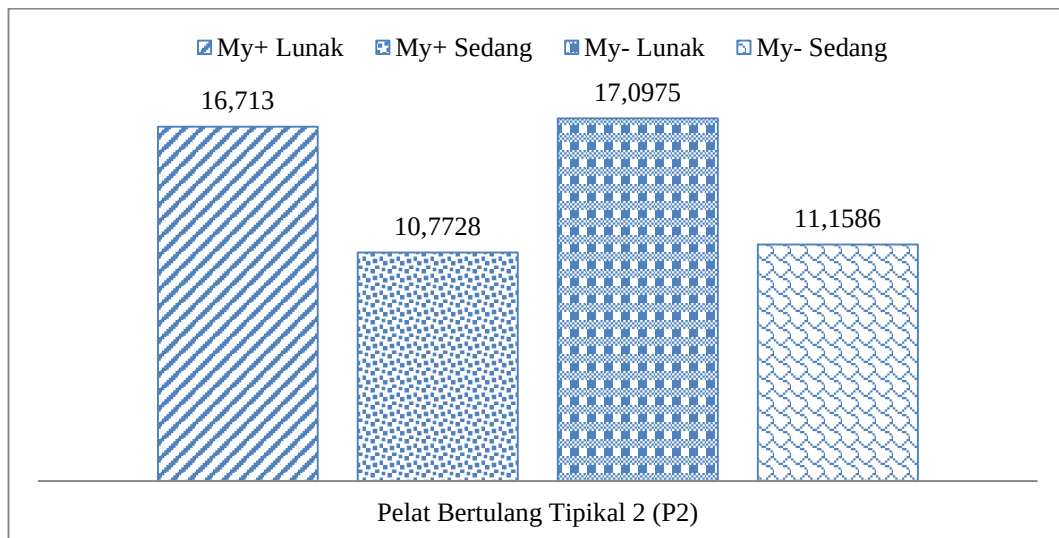
Gambar 5.15 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 arah x



Gambar 5.16 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 1 arah y



Gambar 5.17 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 arah x



Gambar 5.18 Rekapitulasi hasil momen pelat tipikal 2 arah y

Dari tabel dan *chart* diatas dapat dilihat bahwa momen lentur yang terjadi antara struktur dengan perletakan tanah lunak dan struktur dengan perletakan di tanah sedang berbeda. Hal ini dapat dipahami karena adanya pengaruh dari perbedaan jenis tanah akibat gempa, walaupun perbedaan tersebut tidak terlalu signifikan.

5.5.4 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal berupa tabel dan *chart*. Penampang terdiri dari pelat tipikal 1 (P1) dan pelat tipikal 2 (P2), yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.7 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 pada tanah lunak

Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Tipikal 1 pada Tanah Lunak					
Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
Mu	21.5610	26.7730	47.4884	57.4642	kN-m
Mn	26.9513	33.4663	59.3605	71.8303	kN-m
d	175	175	175	175	mm
C	25500a	25500a	25500a	25500a	N
a	6.1475	7.6673	13.8501	16.9138	mm

Tabel 5.7 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 pada tanah lunak

Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
C	7.3559	9.1745	16.5728	20.2387	mm
ϵ_s	0.06837	0.05422	0.02868	0.02294	
ϵ_y	0.00200	0.00200	0.00200	0.00200	
C	156761	195516	353179	431301	N
T= C	156761	195516	353179	431301	N
As	391.9013	488.7904	882.9470	1078.2531	mm ²
ρ	0.00224	0.00279	0.00505	0.00616	
ρ_{min}	0.00350	0.00350	0.00350	0.00350	
ρ_{max}	0.02397	0.02397	0.02397	0.02397	
ρ pakai	0.00350	0.00350	0.00505	0.00616	
As	612.5000	612.5000	882.9470	1078.2531	mm ²
As'	400	400	400	400	mm ²
Jarak TP	128.2283	128.2283	88.9519	72.8399	mm
Jarak TS	125.6637	125.6637	125.6637	125.6637	mm
Tul pokok	D10-120	D10-120	D10-80	D10-70	mm
Tul susut	P8-120	P8-120	P8-120	P8-120	mm

Tabel 5.8 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 pada tanah sedang

Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Tipikal 1 pada Tanah Sedang					
Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
Mu	21.3265	25.5152	47.4283	53.5761	kN-m
Mn	26.6581	31.8940	59.2854	66.9701	kN-m
d	175	175	175	175	mm
C	25500a	25500a	25500a	25500a	N
a	6.0794	7.2993	13.8319	15.7127	mm
C	7.2745	8.7343	16.5510	18.8015	mm
ϵ_s	0.06917	0.05711	0.02872	0.02492	
ϵ_y	0.00200	0.00200	0.00200	0.00200	
C	155025	186133	352713	400674	N
T= C	155025	186133	352713	400674	N
As	387.5618	465.3332	881.7820	1001.6848	mm ²
ρ	0.00221	0.00266	0.00504	0.00572	
ρ_{min}	0.00350	0.00350	0.00350	0.00350	
ρ_{max}	0.02397	0.02397	0.02397	0.02397	
ρ pakai	0.00350	0.00350	0.00504	0.00572	
As	612.5000	612.5000	881.7820	1001.6848	mm ²
As'	400	400	400	400	mm ²
Jarak TP	128.2283	128.2283	89.0694	78.4077	mm
Jarak TS	125.6637	125.6637	125.6637	125.6637	mm
Tul pokok	D10-120	D10-120	D10-80	D10-70	mm
Tul susut	P8-120	P8-120	P8-120	P8-120	mm

Tabel 5.9 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 pada tanah lunak

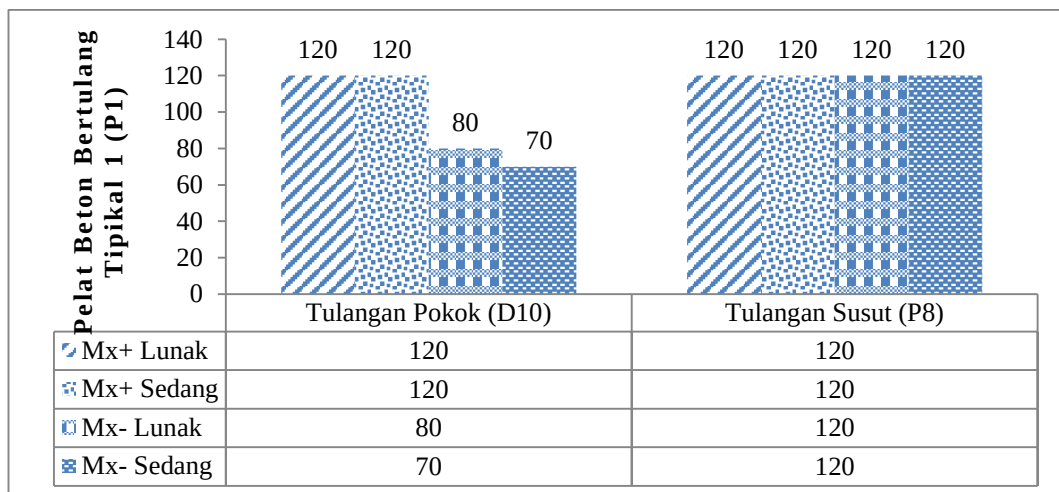
Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Tipikal 2 pada Tanah Lunak					
Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
Mu	17.7712	17.4772	16.7130	17.0975	kN-m
Mn	22.2140	21.8465	20.8913	21.3719	kN-m
d	125	125	125	125	mm
C	25500a	25500a	25500a	25500a	N
a	7.1750	7.0528	6.7356	6.8951	mm
C	8.5855	8.4392	8.0597	8.2505	mm
ϵ_s	0.04068	0.04144	0.04353	0.04245	
ϵ_y	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	
C	182963	179846	171758	175824	N
T= C	182963	179846	171758	175824	N
As	762.3461	749.3568	715.6565	732.6012	mm ²
ρ	0.00610	0.00599	0.00573	0.00586	
ρ_{min}	0.00583	0.00583	0.00583	0.00583	
ρ_{max}	0.04757	0.04757	0.04757	0.04757	
ρ pakai	0.00610	0.00599	0.00573	0.00586	
As	762.3461	749.3568	715.6565	732.6012	mm ²
As'	300	300	300	300	mm ²
Jarak TP	103.0238	104.8096	109.7451	107.2068	mm
Jarak TS	167.5516	167.5516	167.5516	167.5516	mm
Tul pokok	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100	mm
Tul susut	P8-160	P8-160	P8-160	P8-160	mm

Tabel 5.10 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 pada tanah sedang

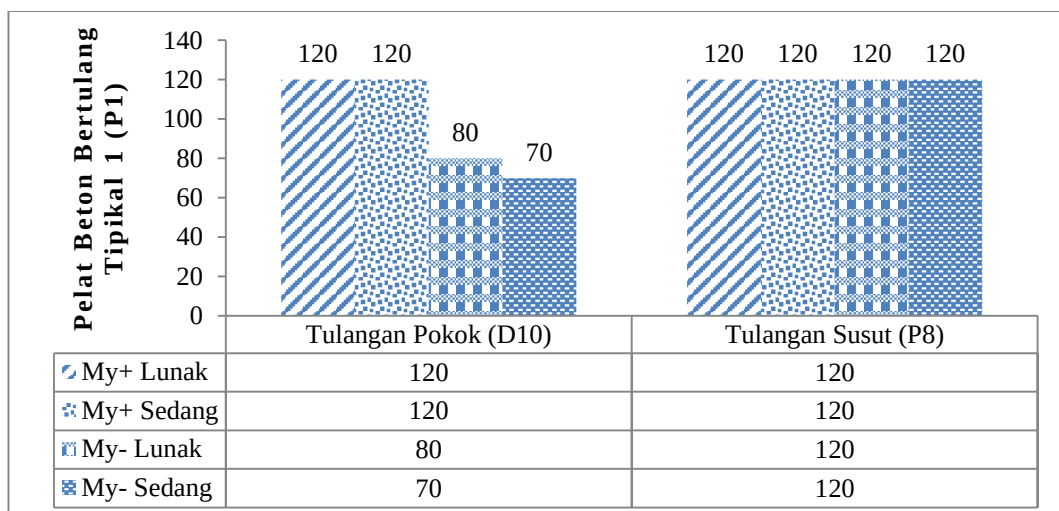
Rekapitulasi Desain Tulangan Pelat Tipikal 2 pada Tanah Sedang					
Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
Mu	11.8245	11.615	10.7728	11.1586	kN-m
Mn	14.7806	14.5188	13.4660	13.9483	kN-m
d	125	125	125	125	mm
C	25500a	25500a	25500a	25500a	N
a	4.7264	4.6411	4.2985	4.4553	mm
C	5.6555	5.5534	5.1435	5.3312	mm
ϵ_s	0.06331	0.06453	0.06991	0.06734	
ϵ_y	0.00120	0.00120	0.00120	0.00120	
C	120523	118347	109613	113611	N
T= C	120523	118347	109613	113611	N
As	502.1807	493.1143	456.7196	473.3796	mm ²

Tabel 5.10 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 pada tanah sedang

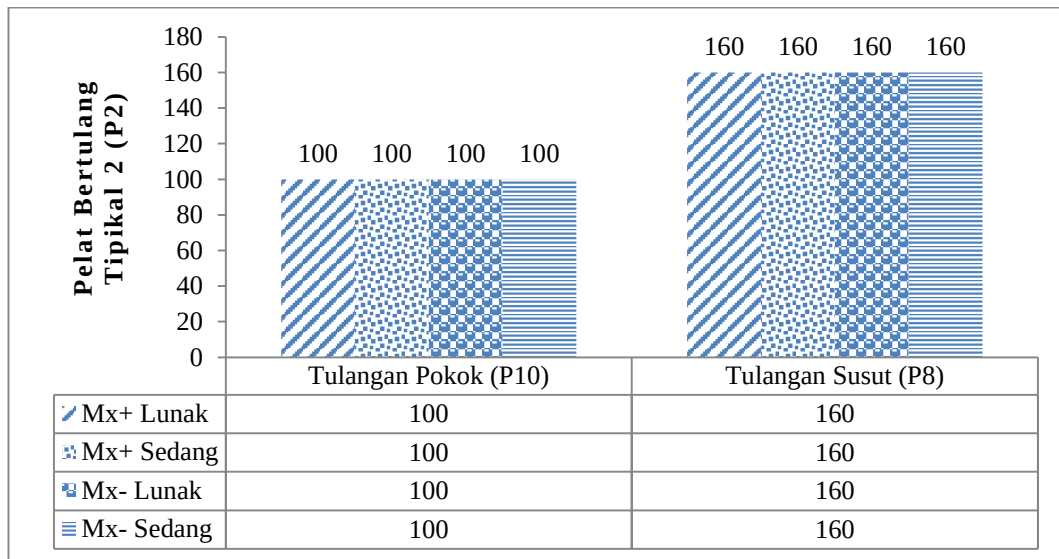
Keterangan	Mlx	Mtx	Mly	Mty	Satuan
ρ	0.00402	0.00394	0.00365	0.00379	
ρ_{min}	0.00583	0.00583	0.00583	0.00583	
ρ_{max}	0.04757	0.04757	0.04757	0.04757	
ρ pakai	0.00583	0.00583	0.00583	0.00583	
As	729.1667	729.1667	729.1667	729.1667	mm ²
As'	300	300	300	300	mm ²
Jarak TP	107.7117	107.7117	107.7117	107.7117	mm
Jarak TS	167.5516	167.5516	167.5516	167.5516	mm
Tul pokok	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100	mm
Tul susut	P8-160	P8-160	P8-160	P8-160	mm



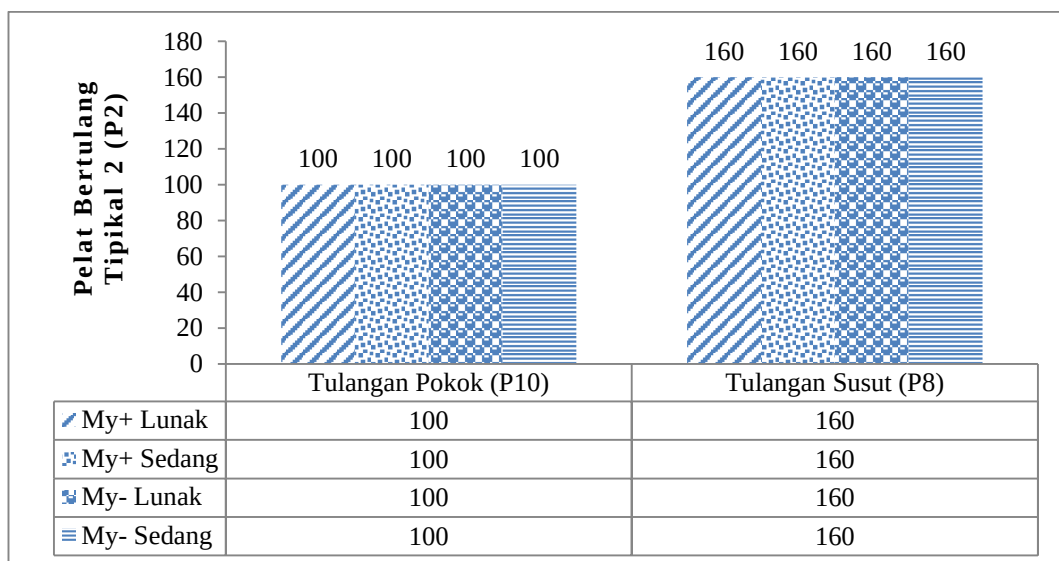
Gambar 5.19 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 tanah lunak



Gambar 5.20 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 1 tanah sedang



Gambar 5.21 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 tanah lunak



Gambar 5.22 Rekapitulasi perhitungan pelat tipikal 2 tanah sedang

5.6 PERHITUNGAN DESAIN BALOK BETON BERTULANG

Dalam subbab ini, perhitungan desain balok beton bertulang, terdiri dari 3 tipikal, yaitu tipikal 1 (B1), tipikal 2 (B2) dan tipikal 3 (B3). Analisis struktur dari SAP2000, ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang. Dari analisis struktur tersebut akan dijelaskan perhitungan desain tulangan longitudinal dan

desain tulangan sengkang, pada balok tipikal 1 (B1). Perhitungan dan pembahasan selanjutnya akan disajikan dalam bentuk tabel dan *chart*.

5.6.1 Hasil Analisis Struktur Balok Tipikal 1

Berikut ini adalah hasil momen dan gaya geser dari analisis SAP2000 untuk balok bertulang tipikal 1 dimensi 600 x 300 mm pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.11 Hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1

SAP-LUNAK Balok Induk 1 (B1)			SAP-SEDANG Balok Induk 1 (B1)		
Balok Induk 1 (B1) Lantai 2			Balok Induk 1 (B1) Lantai 2		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
77.4084	-206.0902	104.316	75.8582	-198.1682	102.211
Balok Induk 1 (B1) Lantai 3			Balok Induk 1 (B1) Lantai 3		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
80.1682	-220.3249	108.093	78.4048	-211.3275	105.701
Balok Induk 1 (B1) Lantai 4			Balok Induk 1 (B1) Lantai 4		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
77.2829	-205.7851	104.22	75.8267	-198.3964	102.255
Balok Induk 1 (B1) Lantai 5			Balok Induk 1 (B1) Lantai 5		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
74.3282	-189.0278	99.589	73.9678	-183.1413	98.031

Berikut ini adalah nilai gaya-gaya dalam maksimum dari hasil analisis struktur SAP2000 pada balok tipikal 1.

1. Kondisi tanah lunak:
 - a. nilai gaya geser (V) = 108,093 kN
 - b. nilai momen positif lapangan (M+) = -220,3249 kN-m
 - c. nilai momen negatif tumpuan (M-) = 80,1682 kN-m
2. Kondisi tanah sedang:
 - a. nilai gaya geser (V) = 105,701 kN
 - b. nilai momen positif lapangan (M+) = -211,3275 kN-m
 - c. nilai momen negatif tumpuan (M-) = 78,4048 kN-m

5.6.2 Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal Balok Tipikal 1

Berikut ini adalah perhitungan desain tulangan longitudinal balok Induk bertulang tipikal 1 di tumpuan yang mempunyai dimensi 600 x 300 mm pada kondisi tanah lunak.

1. Data penampang

- a. Momen tumpuan (M_u^-) = 220,3249 kN-m
- b. Momen lapangan (M_u^+) = 80,1682 kN-m
- c. Syarat redistribusi momen sebesar 15%, jika $M_u^+ \geq 50\%M_u^-$

$$\frac{(M_u^-) - (M_u^+)}{(M_u^+) \times 2} \times 100\% = \frac{220,3249 - 80,1682}{80,1682 \times 2} \times 100\%$$

$$= 87,4141 \% > 50\%$$

Jadi penampang ini perlu redistribusi momen.tumpuan (M_u^-) maksimal sebesar 15% dan $M_u^+ \geq 50\%$.

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan } (M_u^-) &= (M_u^-) \times \frac{100 - 15}{100} \\ &= 220,3249 \times \frac{100 - 15}{100} \\ &= 187,2762 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan } (M_u^+) &= \frac{50}{100} \times (M_u^-) \\ &= \frac{50}{100} \times 187,2762 \\ &= 93,6381 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- d. ϕ balok = 0,8
- e. Desain momen nominal penampang yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{Mn tumpuan } (M_n^-) &= \frac{M_u^-}{\phi} \\ &= \frac{187,2762}{0,8} \\ &= 234,0952 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn lapangan } (M_n^+) &= \frac{M_u^+}{\phi} \\ &= \frac{93,6381}{0,8} \\ &= 117,0476 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- f. Kuat tekan beton (f'_c) = 30 Mpa
- g. Kuat leleh baja (f_y) = 400 Mpa
- h. Modulus elastisitas baja baja (E_s) = 200000 Mpa
- i. Regangan beton (ϵ_c) = 0,003
- j. Regangan tulangan (ϵ_y) = f_y/E_s
= $400/200000$
= 0.002

- k. Faktor β_1 menurut SNI 2847-2013

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (30 - 28)}{7} \right) \\ &= 0,84 \geq 0,65\end{aligned}$$

- l. Dimensi penampang :

$$\text{Lebar penampang (b)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi penampang (h)} = 600 \text{ mm}$$

- m. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (d')

$$\begin{aligned}d' &= s_b + d_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} D_{\text{tul}} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 12 \\ &= 56 \text{ mm}\end{aligned}$$

- n. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (d)

$$\begin{aligned}d &= h - (s_b + d_{\text{sengkang}} + D_{\text{tul}} + 1/2 \text{ jarak tulangan}) \\ &= 600 - (40 + 10 + 12 + 1/2 \times 25) \\ &= 525,5 \text{ mm (2 lapis)}\end{aligned}$$

- o. Digunakan tulangan:

$$\text{Diameter tulangan longitudinal (D)} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan sengkang (Ds)} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan minimal} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D12 (Ad)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \\ &= 113,0973 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan D10 (Ads)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 78,5398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Analisis tulangan sebelah

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \times 30} \\
 &= 15,6863
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_y} \\
 &= \frac{0,84}{15,6863} \times \frac{0,003}{0,003 + 0,002} \\
 &= 0,03197
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_b &= b \times f_y \times [1 - 0,5 \times \rho_b \times m] \\
 &= 0,03197 \times 400 \times [1 - 0,5 \times 0,03197 \times 15,6863] \\
 &= 9,5807 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Ketentuan:

$M_{u+} < 50\% \times M_{u-}$, maka $R_1 > 0,3 \times R_b$

$M_{u+} > 50\% \times M_{u-}$, maka $R_1 < 0,3 \times R_b$

$M_{u+} = 50\% \times M_{u-}$, maka $R_1 = 0,3 - 0,4 \times R_b$

$$\begin{aligned}
 \text{Dipakai } R_1 &= 0,3 \times R_b \\
 &= 0,3 \times 9,5807 \\
 &= 2,8742 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1 &= R_1 \times b \times h^2 \\
 &= 2,874 \times 300 \times 600
 \end{aligned}$$

$$= 310414299,8 \text{ N-mm}$$

$$M_1 = 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$310414299,8 = 0,85 \times 30 \times a \times 300 \times \left(525,5 - \frac{a}{2}\right)$$

$$310414299,8 = 7650 a \times \left(525,5 - \frac{a}{2}\right)$$

$$310414299,8 = -3825 a^2 + 4020075 a$$

$$-3825 a^2 + 4004775 a - 310414299,8 = 0$$

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

$$= \frac{-4020075 + \sqrt{4020075^2 - 4 \times -3825 \times -310414299,8}}{2 \times -3825}$$

$$= 83,9163 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{83,9163}{0,84}$$

$$= 100,4126 \text{ mm}$$

Cek tulangan tekan:

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{100,4126 - 56}{100,4126}\right)$$

$$= 0,001327 < \epsilon_y = 0,002, \text{ tulangan tekan belum leleh}$$

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 83,9163 \times 300$$

$$= 641959,52 \text{ N}$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{C_c}{f_y} \\ &= \frac{641959,52}{400} \\ &= 1604,8988 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_d} \\ &= \frac{1604,8988}{113,0973} \\ &= 14,1904 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 6 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ baru} &= n \times A_d \\ &= 6 \times 113,0973 \\ &= 678,5840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \text{ baru} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$\begin{aligned} a \text{ baru} &= \frac{A_s \text{ baru} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{678,5840 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} \\ &= 35,4815 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a \text{ baru}}{\beta_1} \\ &= \frac{35,4815}{0,84} \\ &= 42,4565 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek tulangan tekan:

$$\begin{aligned}\varepsilon_s' &= \varepsilon_c \times \left(\frac{c - d'}{c} \right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{42,4565 - 56}{42,4565} \right) \\ &= 0,0000957 < \varepsilon_y = 0,002, \text{ tulangan tekan belum leleh}\end{aligned}$$

Momen nominal tulangan sebelah:

$$\begin{aligned}M_{n1} &= 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 0,85 \times 30 \times 35,4815 \times 300 \times \left(525,5 - \frac{42,4565}{2} \right) \\ &= 137822900 \text{ N-mm} \\ &= 137,8229 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

Mn yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}M_n \text{ perlu} &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{187,2762}{0,80} \\ &= 234,0952 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

Momen nominal yang dibutuhkan untuk tulangan rangkap:

$$\begin{aligned}M_{n2} &= M_n \text{ perlu} - M_{n1} \\ &= 234,0952 - 137,8229 \\ &= 96,2723 \text{ kN-m}\end{aligned}$$

3. Analisis tulangan rangkap

Dalam analisis tulangan rangkap, tulangan tekan dianggap sudah leleh.

$$T_{s2} = C_s$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Mn2}{(d - d')} \\
 &= \frac{96,2723 \times 10^6}{(525,5 - 56)} \\
 &= 205052,79 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

$$Ts_2 = As \times fy$$

$$\begin{aligned}
 As &= \frac{Ts_2}{fy} \\
 &= \frac{205052,79}{400} \\
 &= 512,6320 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{As}{Ad} \\
 &= \frac{512,6320}{113,0973} \\
 &= 4,5327 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$n \text{ pakai} = 5 \text{ buah}$$

Total tulangan tekan = 5 buah

Total tulangan tarik = 11 buah (2 lapis)

Kontrol jumlah tulangan 2 lapis:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \times (sb + Ds) - n/2 \times D}{n/2 - 1} \\
 &= \frac{300 - 2 \times (40 + 10) - 11/2 \times 12}{11/2 - 1} \\
 &= 29,77 \text{ mm} > 25 \text{ mm (oke)}
 \end{aligned}$$

4. Analisis momen nominal penampang yang dapat dikerahkan

$$Ts_1 + Ts_2 = Cc + Cs$$

$$A_s \text{ total} \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{a - \beta_1 \times d'}{a} \right) \times \epsilon_c \times E_s$$

$$(11 \times 113,097) \times 400 = 0,85 \times 30 \times a \times 300 + 5 \times 113,0973 \times \left(\frac{a - 0,84 \times 56}{a} \right) \times 0,003 \times 200000$$

$$497628,28 = 7650 a + 339292,01 \times \left(\frac{a - 46,80}{a} \right)$$

$$497628,28 a = 7650 a^2 + 339292,01 \times (a - 46,80)$$

$$497628,28 a = 7650 a^2 + 339292,01 a - 15878865,91$$

$$7650 a^2 - 158336,2697 a - 15878865,91 = 0$$

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

$$= \frac{-(-158336,2697) + \sqrt{-158336,2697^2 - 4 \times 7650 \times -15878865,91}}{2 \times 7650}$$

$$= 57,0689 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{57,0689}{0,84}$$

$$= 68,2875 \text{ mm}$$

Cek tulangan tekan:

$$\epsilon_s' = \epsilon_c \times \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$= 0,003 \times \left(\frac{68,2875 - 56}{68,2875} \right)$$

$$= 0,000540 < \epsilon_y = 0,002, \text{ tulangan tekan belum leleh}$$

Tegangan pada tulangan tekan

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

$$= 0,000540 \times 200000$$

$$= 107,9628 \text{ Mpa}$$

Momen nominal penampang yang dapat dikerahkan:

$$Mn_1 = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 57,0689 \times 300 \times \left(525,5 - \frac{57,0689}{2}\right)$$

$$= 216963613,98 \text{ N-mm}$$

$$Mn_2 = As' \times fs' \times (d - d')$$

$$= 5 \times 113,0973 \times 107,9628 (525,5 - 56)$$

$$= 28663691,87 \text{ N-mm}$$

$$Mn \text{ total} = Mn_1 + Mn_2$$

$$= 216963613,98 + 28663691,87$$

$$= 245627305,9 \text{ N-mm}$$

$$= 245,6273 \text{ kN-m} > Mn \text{ perlu} = 234,0952 \text{ kN-m (oke)}$$

5.6.3 Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Balok Tipikal 1

Beikut ini adalah perhitungan tulangan sengkang balok induk tipikal 1 dimensi 300 mm x 600 mm, akibat beban geser V_u maks = 108,0930 kN.

1. Data penampang

- a. Digunakan ϕ geser balok = 0,75
- b. Gaya geser nominal yang dibutuhkan (V_n)
 $V_n = V_u / \phi = 108,0930 / 0,75 = 144,1240 \text{ kN}$
- c. Diameter tulangan sengkang (D_s) = 10 mm
- d. Luas tulangan sengkang (A_d) = 78,5398 mm²
- e. Kuat leleh sengkang (f_y) = 240 Mpa
- f. Jumlah kaki (n) = 2 buah
- g. Luas tulangan total (A_s)
 $A_s = A_d \times n \text{ kaki}$

$$= 78,5398 \times 2$$

$$= 157,0796 \text{ mm}^2$$

h. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (d')

$$d' = s_b + d_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 12$$

$$= 56 \text{ mm}$$

i. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (d)

$$d = h - (s_b + d_{\text{sengkang}} + D_{\text{tul}} + 1/2 \text{ jarak tulangan})$$

$$= 600 - (40 + 10 + 12 + 1/2 \times 25)$$

$$= 525,5 \text{ mm}$$

2. Perhitungan kuat geser badan (V_c)

Gaya geser badan (V_c) adalah sebagai berikut ini.

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 300 \times 525,5$$

$$= 143914,1020 \text{ N}$$

3. Perhitungan kuat geser sengkang (V_s)

Kuat geser sengkang (V_s) harus kurang dari V_s maks

$$V_s \text{ maks} = 2/3 \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= 2/3 \times \sqrt{30} \times 300 \times 525,5$$

$$= 575656,4079 \text{ N}$$

$$V_s = V_n - V_c$$

$$= 144124 - 143914,1020$$

$$= 209,8980 \text{ N} < V_s \text{ maks} = 575656,4079 \text{ N (oke)}$$

4. Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (A_v)

Luas tulangan sengkang (A_v) adalah yang terbesar dari berikut ini.

Jarak sengkang (s) per meter = 1000 mm

$$\begin{aligned} A_{v1} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{209,8980 \times 1000}{240 \times 523,5} \\ &= 1,6643 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v2} &= \frac{b \times s}{3 \times f_y} \\ &= \frac{300 \times 1000}{3 \times 240} \\ &= 416,6667 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v3} &= \frac{75 \times \sqrt{f_c} \times b \times s}{1200 \times f_y} \\ &= \frac{75 \times \sqrt{30} \times 300 \times 1000}{1200 \times 240} \\ &= 427,9082 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

Jadi A_v yang dibutuhkan adalah $A_{v3} = 427,9082 \text{ mm}^2/\text{m}'$

5. Jarak sengkang (s) yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{A_{stot}} &= \frac{427,9082}{157,0796} \\ &= 2,7241 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{1000}{2,7241} \\ &= 367,0872 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dipakai jarak sengkang (s) = 360 mm

5.6.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil analisis struktur, pada balok beton bertulang tipikal 1, tipikal 2 dan tipikal 3 pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.12 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1

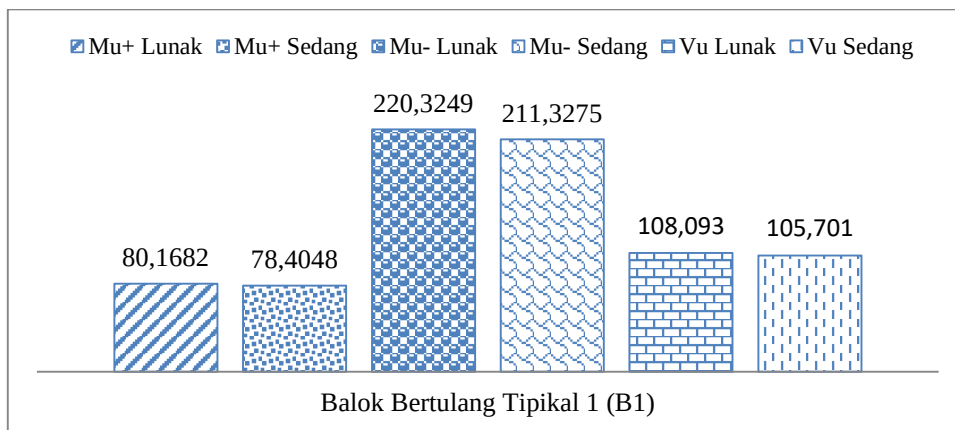
SAP-LUNAK Balok Induk 1 (B1)			SAP-SEDANG Balok Induk 1 (B1)		
Balok Induk 1 (B1) Lantai 2			Balok Induk 1 (B1) Lantai 2		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
77.4084	-206.0902	104.316	75.8582	-198.1682	102.211
Balok Induk 1 (B1) Lantai 3			Balok Induk 1 (B1) Lantai 3		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
80.1682	-220.3249	108.093	78.4048	-211.3275	105.701
Balok Induk 1 (B1) Lantai 4			Balok Induk 1 (B1) Lantai 4		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
77.2829	-205.7851	104.22	75.8267	-198.3964	102.255
Balok Induk 1 (B1) Lantai 5			Balok Induk 1 (B1) Lantai 5		
Kombinasi 1,2D+1L+1EX			Kombinasi 1,2D+1L+1EX		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
74.3282	-189.0278	99.589	73.9678	-183.1413	98.031

Tabel 5.13 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 2

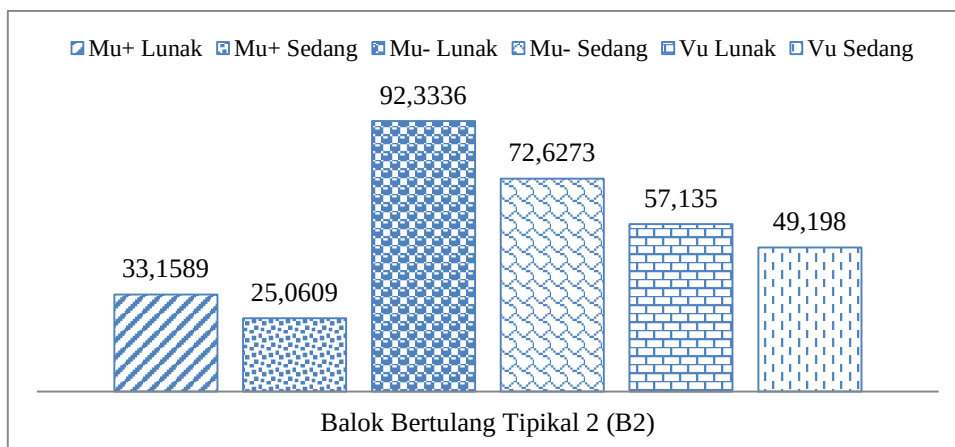
SAP-LUNAK Balok Induk 2 (B2)			SAP-SEDANG Balok Induk 2 (B2)		
Balok Induk 2 (B2) Lantai 2			Balok Induk 2 (B2) Lantai 2		
Kombinasi 1,2D+1L+1EY			Kombinasi 1,2D+1L+1EY		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
25.8037	-79.7891	51.462	21.6903	-64.7356	45.443
Balok Induk 2 (B2) Lantai 3			Balok Induk 2 (B2) Lantai 3		
Kombinasi 1,2D+1L+1EY			Kombinasi 1,2D+1L+1EY		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
32.4015	-91.1165	56.041	24.5318	-71.3447	48.142
Balok Induk 2 (B2) Lantai 4			Balok Induk 2 (B2) Lantai 4		
Kombinasi 1,2D+1L+1EY			Kombinasi 1,2D+1L+1EY		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
33.1589	-92.3336	57.135	25.0609	-72.6273	49.198
Balok Induk 2 (B2) Lantai 5			Balok Induk 2 (B2) Lantai 5		
Kombinasi 1,2D+1L+1EY			Kombinasi 1,2D+1L+1EY		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
31.3174	-87.9936	55.381	24.6358	-70.0375	48.178

Tabel 5.14 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 3

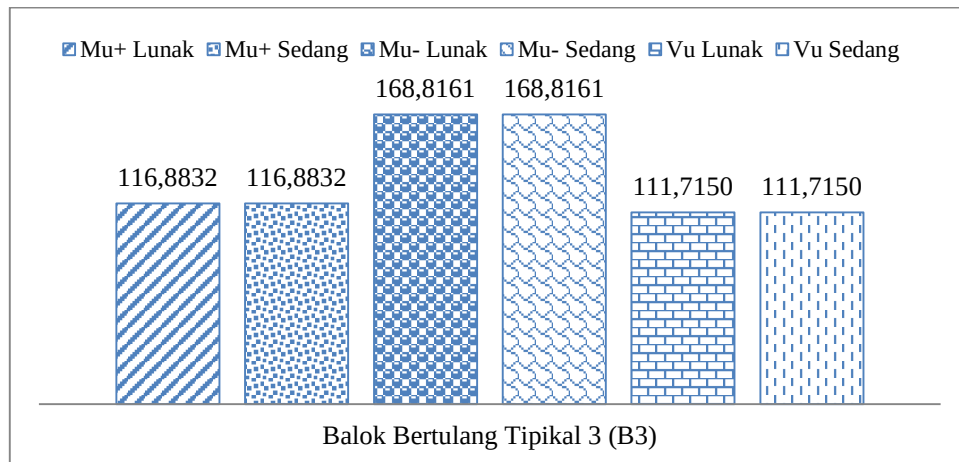
SAP-LUNAK Balok Anak (B3)			SAP-SEDANG Balok Anak (B3)		
Balok Anak (B3) Lantai 2			Balok Anak (B3) Lantai 2		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
116.5696	-168.7464	111.54	116.5696	-168.7464	111.54
Balok Anak (B3) Lantai 3			Balok Anak (B3) Lantai 3		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
116.668	-168.7848	111.596	116.668	-168.7848	111.596
Balok Anak (B3) Lantai 4			Balok Anak (B3) Lantai 4		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
116.7095	-168.7687	111.647	116.7095	-168.7687	111.647
Balok Anak (B3) Lantai 5			Balok Anak (B3) Lantai 5		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
116.8832	-168.8161	111.715	116.8832	-168.8161	111.715



Gambar 5.23 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 1



Gambar 5.24 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 2



Gambar 5.25 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok tipikal 3

Dari hasil gaya-gaya dalam analisis struktur SAP2000 tersebut, pada balok tipikal 1 (B1) dan tipikal 2 (B2), diperoleh nilai momen lentur dan nilai gaya geser yang berbeda. Hal ini berarti perilaku lentur dan geser pada balok tipikal 1 dan balok tipikal 2 di daerah tanah lunak lebih besar daripada di daerah tanah sedang. Sedangkan pada balok tipikal 3 tidak terjadi perbedaan, hal ini dikarenakan beban gravitasi yang diterima oleh balok tipikal 3 lebih dominan daripada beban gempa rencana.

5.6.5 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal, pada balok beton bertulang tipikal 1 (B1), balok tipikal 2 (B2) dan balok tipikal 3 (B3), yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.15 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah lunak

Desain Tulangan Longitudinal Balok Induk Tipikal 1 (B1) pada Tanah Lunak				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		80.1682	220.3249	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	87.4141		%
		redis disyaratkan		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	93.6381	187.2762	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-)-redis$	93.6381	187.2762	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	117.0476	234.0952	kN-m

Tabel 5.15 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah lunak

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
b		300	300	mm
h		600	600	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
εc		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	12	12	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	$1/4 \cdot \pi \cdot D^2$	113.0973	113.0973	mm ²
Luas sengkang (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot Ds^2$	78.5398	78.5398	mm ²
d'	sb+dsengkang+1/2dlongitud	56	56	mm
d 1 lapis	h-d'	544	544	mm
d 2 lapis	h-(sb+Dsengkang+Dtul+1/2jaraktul)	525.5	525.5	mm
d pakai		525.5	525.5	mm
β1	$0,85 - ((0,05 \cdot (f'c - 28)) / 7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
εy	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	fy/(0,85.f'c)	15.6863	15.6863	
ρb	$\beta 1 / m \cdot [\epsilon c / (\epsilon c + \epsilon y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	ρb.fy.(1-0,5.ρb.m)	9.5807	9.5807	N/mm ²
Mu+ < 50%Mu-	R1 > 0,3 Rb			
Mu+ > 50%Mu-	R1 < 0,3 Rb			
Mu+ = 50%Mu-	R1 = 0,3-0,4Rb			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	R1pakai.Rb	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1 \cdot b \cdot h^2$	310414299.8	310414299.8	N-mm
M1	$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2)$			
	$0,85 \cdot f'c \cdot b$	7650	7650	kN
	d	525.5	525.5	mm
a	persamaan kuadrat	83.9163	83.9163	mm
c	$a / \beta 1$	100.4126	100.4126	
εs'	$\epsilon c \cdot ((c-d') / c)$	0.001327	0.001327	
εy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$	641959.52	641959.52	N
Ts = Cc	As.fy = 0,85.f'c.a.b			
As	$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) / fy$	1604.8988	1604.8988	mm ²
n	As/Ad	14.1904	14.1904	buah
n pakai		3	6	buah
As baru	n.Ad	339.2920	678.5840	mm ²
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$			
Ts = Cc	Asbaru.fy = 0,85.f'c.a.b			
a baru	$(Asbaru \cdot fy) / (0,85 \cdot f'c \cdot b)$	17.7408	35.4815	mm
c	a baru/β1	21.2283	42.4565	mm

Tabel 5.15 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah lunak

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	-0.004914	-0.000957	
ϵ_y	f_y/E_s	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0.85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2))/10^6$	70.1153	137.8229	kN-m
Mn yang dibutuhkan	M_u/ϕ	117.0476	234.0952	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	46.9323	96.2723	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
$Ts2 = Cs =$	$Mn2/(d-d')$	99962.26	205052.79	N-mm
$Ts2 =$	$As \cdot f_y$			
As	$Ts2/f_y$	249.9057	512.6320	mm ²
n	As/Ad	2.2097	4.5327	buah
n pakai		3	5	buah
n tul. Sebelah		3	6	buah
n tul. Rangkap		3	5	buah
n' tul. tekan total		3	5	buah
n tul. tarik total		6	11	buah
		2 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds) - n \cdot D]/(n-1) \geq 25 \text{ mm}$	25.6	29.77777778	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds) - (n/2) \cdot D]/((n/2)-1) \geq 25 \text{ mm}$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
$Ts1+Ts2=Cc+Cs$	$As \cdot f_y = 0.85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot [(a-\beta 1 \cdot d')/a] \cdot \epsilon_c \cdot E_s$			
$Ts1+Ts2$	$A_{stot} \cdot f_y$	271433.61	497628.28	N
Cc	$0.85 \cdot f'c \cdot b$	7650	7650	N
Cs	$As' \cdot \epsilon_c \cdot E_s$	203575.20	339292.01	N
	$\beta 1 \cdot d'$	46.8000	46.8000	mm
a	persamaan kuadrat	40.0030	57.0689	mm
c	$a/\beta 1$	47.8669	68.2875	mm
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	-0.000510	0.000540	
ϵ_y	f_y/E_s	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (f_s')	$\epsilon_s' \cdot E_s$	-101.9466	107.9628	Mpa
M1	$0.85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2)$	154694299.87	216963613.98	N-mm
M2	$As' \cdot f_s \cdot (d-d')$	-16239849.84	28663691.87	N-mm
M total		138454450	245627305.9	N-mm
Mn penampang		138.4545	245.6273	kN-m
Mn yang dibutuhkan		117.0476	234.0952	kN-m
		oke	oke	

Tabel 5.16 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1
kondisi tanah sedang

Desain Tulangan Longitudinal Balok Induk Tipikal 1 (B1) pada Tanah Sengah				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		78.4048	211.3275	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	84.7669		%
		redis disyaratkan		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	89.8142	179.6284	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-).redis$	89.8142	179.6284	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	112.2677	224.5355	kN-m
b		300	300	mm
h		600	600	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	12	12	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	n.D	113.0973	113.0973	mm ²
Luas sengkang (Ads)	n.Ds	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+dsengkang+1/2dlongitud$	56	56	mm
d 1 lapis	h-d'	544	544	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Dsengkang+Dtul+1/2jaraktul)$	525.5	525.5	mm
d pakai		525.5	525.5	mm
β_1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
ϵ_y	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	$fy/(0,85.f'c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1/m.[\epsilon_c/(\epsilon_c+\epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	$\rho_b.fy.(1-0,5.\rho_b.m)$	9.5807	9.5807	N/mm ²
$Mu+ < 50\%Mu-$	$R1 > 0,3 Rb$			
$Mu+ > 50\%Mu-$	$R1 < 0,3 Rb$			
$Mu+ = 50\%Mu-$	$R1 = 0,3-0,4Rb$			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	$R1pakai.Rb$	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1.b.h^2$	310414299.8	310414299.8	N-mm
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$			
	$0,85.f'c.b$	7650	7650	kN
	d	525.5	525.5	mm
a	persamaan kuadrat	83.9163	83.9163	mm
c	a/β_1	100.4126	100.4126	
ϵ_s'	$\epsilon_c.((c-d')/c)$	0.001327	0.001327	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85.f'c.a.b$	641959.52	641959.52	N
Ts = Cc	$As.fy = 0,85.f'c.a.b$			
As	$(0,85.f'c.a.b)/fy$	1604.8988	1604.8988	mm ²

Tabel 5.16 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 1 kondisi tanah sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
n	As/Ad	14.1904	14.1904	buah
n pakai		3	6	buah
As baru	$n \cdot Ad$	339.2920	678.5840	mm ²
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$			
Ts = Cc	$Asbaru \cdot fy = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$			
a baru	$(Asbaru \cdot fy) / (0,85 \cdot f'c \cdot b)$	17.7408	35.4815	mm
c	$a \text{ baru} / \beta 1$	21.2283	42.4565	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c \cdot ((c-d')/c)$	-0.004914	-0.000957	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2)) / 10^6$	70.1153	137.8229	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu / ϕ	117.0476	234.0952	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	46.9323	96.2723	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
Ts2 = Cs =	$Mn2 / (d-d')$	99962.26	205052.79	N-mm
Ts2 =	$As \cdot fy$			
As	$Ts2 / fy$	249.9057	512.6320	mm ²
n	As/Ad	2.2097	4.5327	buah
n pakai		2	5	buah
n tul. Sebelah		3	6	buah
n tul. Rangkap		2	5	buah
n' tul. tekan total		2	5	buah
n tul. tarik total		5	11	buah
		2 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds) - n \cdot D] / (n-1) \geq 25 \text{ mm}$	35	29.77777778	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds) - (n/2) \cdot D] / ((n/2)-1) \geq 25$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
$Ts1+Ts2=Cc+Cs$	$As \cdot fy = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot [(a-\beta 1 \cdot d')/a] \cdot \epsilon c \cdot Es$			
$Ts1+Ts2$	$Astot \cdot fy$	226194.67	497628.28	N
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot b$	7650	7650	N
Cs	$As' \cdot \epsilon c \cdot Es$	135716.80	339292.01	N
	$\beta 1 \cdot d'$	46.8000	46.8000	mm
a	persamaan kuadrat	35.3285	57.0689	mm
c	$a / \beta 1$	42.2734	68.2875	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c \cdot ((c-d')/c)$	-0.000974	0.000540	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (f_s')	$\epsilon s' \cdot Es$	-194.8254	107.9628	Mpa
M1	$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \cdot (d-a/2)$	137249279.82	216963613.98	N-mm
M2	$As' \cdot f_s \cdot (d-d')$	-20690143.72	28663691.87	N-mm
M total		116559136.1	245627305.9	N-mm
Mn penampang		116.5591	245.6273	kN-m
Mn yang dibutuhkan		112.2677	224.5355	kN-m
		oke	oke	

Tabel 5.17 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2
kondisi tanah lunak

Desain Tulangan Longitudinal Balok Induk Tipikal 2 (B2) pada Tanah Lunak				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		33.1589	92.3336	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	89.2290		%
		redis disyaratkan		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	39.2418	78.4836	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-).redis$	39.2418	78.4836	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	49.0522	98.1045	kN-m
b		200	200	mm
h		400	400	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	16	16	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	n.D	201.0619	201.0619	mm ²
Luas sengkang (Ads)	n.Ds	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+dsengkang+1/2dlongitud$	58	58	mm
d 1 lapis	h-d'	342	342	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Dsengkang+Dtul+1/2jaraktul)$	321.5	321.5	mm
d pakai		342	321.5	mm
β_1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
ϵ_y	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	$fy/(0,85.f'c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1/m.[\epsilon_c/(\epsilon_c+\epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	$\rho_b.fy.(1-0,5.\rho_b.m)$	9.5807	9.5807	N/mm ²
$Mu+ < 50\%Mu-$	$R1 > 0,3 Rb$			
$Mu+ > 50\%Mu-$	$R1 < 0,3 Rb$			
$Mu+ = 50\%Mu-$	$R1 = 0,3-0,4Rb$			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	$R1pakai.Rb$	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1.b.h^2$	91974607.3	91974607.3	N-mm
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$			
	$0,85.f'c.b$	5100	5100	kN
	d	342	321.5	mm
a	persamaan kuadrat	57.5786	62.0896	mm
c	a/β_1	68.8975	74.2952	
ϵ_s'	$\epsilon_c.((c-d')/c)$	0.000475	0.000658	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85.f'c.a.b$	293650.92	316656.75	N
$T_s = C_c$	$As.fy = 0,85.f'c.a.b$			
As	$(0,85.f'c.a.b)/fy$	734.1273	791.6419	mm ²

Tabel 5.17 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2 kondisi tanah lunak

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
n	As/Ad	3.6512	3.9373	buah
n pakai		1	4	buah
As baru	$n.Ad$	201.0619	804.2477	mm ²
Cc	$0,85.f'c.a.b$			
Ts = Cc	$Asbaru.fy = 0,85.f'c.a.b$			
a baru	$(Asbaru.fy)/(0,85.f'c.b)$	15.7696	63.0783	mm
c	$a\text{ baru}/\beta 1$	18.8696	75.4783	mm
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	-0.006221	0.000695	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0.85.f'c.a.b.(d-a/2))/10^6$	26.8711	93.2801	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	49.0522	98.1045	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	22.1811	4.8243	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
Ts2 = Cs =	$Mn2/(d-d')$	78102.41	18308.54	N-mm
Ts2 =	$As.fy$			
As	$Ts2/fy$	195.2560	45.7714	mm ²
n	As/Ad	0.9711	0.2276	buah
n pakai		2	2	buah
n tul. Sebelah		1	4	buah
n tul. Rangkap		2	2	buah
n' tul. tekan total		2	2	buah
n tul. tarik total		3	6	buah
		1 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-(n.D)]/(n-1) \geq 25\text{ mm}$	152	26	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-(n/2).D]/((n/2)-1) \geq 25\text{ mm}$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
Ts1+Ts2=Cc+Cs	$As.fy=0,85.f'c.a.b+As'.[(a-\beta 1.d')/a].\epsilon_c.Es$			
Ts1+Ts2	$Astot.fy$	241274.32	482548.63	N
Cc	$0.85.f'c.b$	5100	5100	N
Cs	$As'.\epsilon_c.Es$	241274.32	241274.32	N
	$\beta 1.d'$	48.4714	48.4714	mm
a	persamaan kuadrat	47.8865	77.0645	mm
c	$a/\beta 1$	57.3001	92.2140	mm
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	-0.000037	0.001113	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (fs')	$\epsilon_s'.Es$	-7.3286	222.6168	Mpa
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$	77676230.28	111214553.72	N-mm
M2	$As'.fs.(d-d')$	-836944.40	23588397.23	N-mm
M total		76839285.88	134802951	N-mm
Mn penampang		76.8393	134.8030	kN-m
Mn yang dibutuhkan		49.0522	98.1045	kN-m
		oke	oke	

Tabel 5.18 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2
kondisi tanah sedang

Desain Tulangan Longitudinal Balok Induk Tipikal 2 (B2) pada Tanah Sedang				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		25.0609	72.6273	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	94.9016		%
		redis disyaratkan		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	30.8666	61.7332	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-).redis$	30.8666	61.7332	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	38.5833	77.1665	kN-m
b		200	200	mm
h		400	400	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	16	16	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	n.D	201.0619	201.0619	mm ²
Luas sengkang (Ads)	n.Ds	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+dsengkang+1/2dlongitud$	58	58	mm
d 1 lapis	h-d'	342	342	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Dsengkang+Dtul+1/2jaraktul)$	321.5	321.5	mm
d pakai		342	321.5	mm
β_1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
ϵ_y	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	$fy/(0,85.f'c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1/m.[\epsilon_c/(\epsilon_c+\epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	$\rho_b.fy.(1-0,5.\rho_b.m)$	9.5807	9.5807	N/mm ²
$Mu+ < 50\%Mu-$	$R1 > 0,3 Rb$			
$Mu+ > 50\%Mu-$	$R1 < 0,3 Rb$			
$Mu+ = 50\%Mu-$	$R1 = 0,3-0,4Rb$			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	$R1pakai.Rb$	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1.b.h^2$	91974607.3	91974607.3	N-mm
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$			
	$0,85.f'c.b$	5100	5100	kN
	d	342	321.5	mm
a	persamaan kuadrat	57.5786	62.0896	mm
c	a/β_1	68.8975	74.2952	
ϵ_s'	$\epsilon_c.((c-d')/c)$	0.000475	0.000658	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85.f'c.a.b$	293650.92	316656.75	N
$T_s = C_c$	$As.fy = 0,85.f'c.a.b$			
As	$(0,85.f'c.a.b)/fy$	734.1273	791.6419	mm ²

Tabel 5.18 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 2 kondisi tanah sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
n	As/Ad	3.6512	3.9373	buah
n pakai		1	4	buah
As baru	$n.Ad$	201.0619	804.2477	mm ²
Cc	$0,85.f'c.a.b$			
Ts = Cc	$Asbaru.fy = 0,85.f'c.a.b$			
a baru	$(Asbaru.fy)/(0,85.f'c.b)$	15.7696	63.0783	mm
c	$a \text{ baru}/\beta 1$	18.8696	75.4783	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c.((c-d')/c)$	-0.006221	0.000695	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0.85.f'c.a.b.(d-a/2))/10^6$	26.8711	93.2801	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	49.0522	98.1045	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	22.1811	4.8243	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
Ts2 = Cs =	$Mn2/(d-d')$	78102.41	18308.54	N-mm
Ts2 =	$As.fy$			
As	$Ts2/fy$	195.2560	45.7714	mm ²
n	As/Ad	0.9711	0.2276	buah
n pakai		2	2	buah
n tul. Sebelah		1	4	buah
n tul. Rangkap		2	2	buah
n' tul. tekan total		2	2	buah
n tul. tarik total		3	6	buah
		1 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-n.D]/(n-1) \geq 25 \text{ mm}$	26	26	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-(n/2).D]/((n/2)-1) \geq 25 \text{ mm}$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
Ts1+Ts2=Cc+Cs	$As.fy=0,85.f'c.a.b+As'.[(a-\beta 1.d')/a].\epsilon c.Es$			
Ts1+Ts2	$Astot.fy$	241274.32	482548.63	N
Cc	$0.85.f'c.b$	5100	5100	N
Cs	$As'.\epsilon c.Es$	241274.32	241274.32	N
	$\beta 1.d'$	48.4714	48.4714	mm
a	persamaan kuadrat	47.8865	77.0645	mm
c	$a/\beta 1$	57.3001	92.2140	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c.((c-d')/c)$	-0.000037	0.001113	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (fs')	$\epsilon s'.Es$	-7.3286	222.6168	Mpa
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$	77676230.28	111214553.72	N-mm
M2	$As'.fs.(d-d')$	-836944.40	23588397.23	N-mm
M total		76839285.88	134802951	N-mm
Mn penampang		76.8393	134.8030	kN-m
Mn yang dibutuhkan		38.5833	77.1665	kN-m
		oke	oke	

Tabel 5.19 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3 kondisi tanah lunak

Desain Tulangan Longitudinal Balok Anak (B3) pada Tanah Lunak				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		116.8832	168.8161	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	22.2157		%
		tidak redis		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	71.7468	143.4937	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-)\text{redis}$	116.8832	168.8161	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	146.1040	211.0201	kN-m
b		250	250	mm
h		500	500	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	16	16	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	n.D	201.0619	201.0619	mm ²
Luas sengkang (Ads)	n.Ds	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+ds\text{sengkang}+1/2d\text{longitud}$	58	58	mm
d 1 lapis	h-d'	442	442	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Ds\text{sengkang}+Dtul+1/2\text{jaraktul})$	421.5	421.5	mm
d pakai		442	421.5	mm
β_1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
ϵ_y	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	$fy/(0,85.f'c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1/m.[\epsilon_c/(\epsilon_c+\epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	$\rho_b.fy.(1-0,5.\rho_b.m)$	9.5807	9.5807	N/mm ²
$Mu+ < 50\%Mu-$	$R1 > 0,3 Rb$			
$Mu+ > 50\%Mu-$	$R1 < 0,3 Rb$			
$Mu+ = 50\%Mu-$	$R1 = 0,3-0,4Rb$			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	$R1\text{pakai}.Rb$	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1.b.h^2$	179637905.0	179637905.0	N-mm
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$			
	$0,85.f'c.b$	6375	6375	kN
	d	442	421.5	mm
a	persamaan kuadrat	69.1636	73.2110	mm
c	a/β_1	82.7598	87.6028	
ϵ_s'	$\epsilon_c.((c-d')/c)$	0.000898	0.001014	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85.f'c.a.b$	440917.70	466719.83	N
$T_s = C_c$	$As.fy = 0,85.f'c.a.b$			
As	$(0,85.f'c.a.b)/fy$	1102.2943	1166.7996	mm ²

Tabel 5.19 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3 kondisi tanah lunak

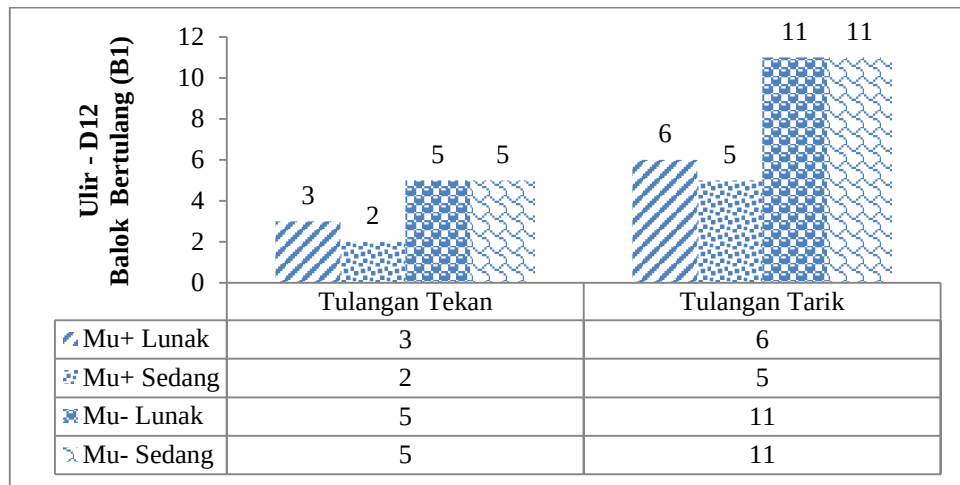
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
n	As/Ad	5.4824	5.8032	buah
n pakai		3	5	buah
As baru	n.Ad	603.1858	1005.3096	mm ²
Cc	0,85.f'c.a.b			
Ts = Cc	Asbaru.fy = 0,85.f'c.a.b			
a baru	(Asbaru.fy)/(0,85.f'c.b)	37.8470	63.0783	mm
c	a baru/ β 1	45.2870	75.4783	mm
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	-0.000842	0.000695	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0.85.f'c.a.b.(d-a/2))/10^6$	102.0775	156.8126	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ ϕ	146.1040	211.0201	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	44.0265	54.2076	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
Ts2 = Cs =	Mn2/(d-d')	114652.35	149126.69	N-mm
Ts2 =	As.fy			
As	Ts2/fy	286.6309	372.8167	mm ²
n	As/Ad	1.4256	1.8542	buah
n pakai		2	2	buah
n tul. Sebelah		3	5	buah
n tul. Rangkap		2	2	buah
n' tul. tekan total		2	2	buah
n tul. tarik total		5	7	buah
		2 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds)-n.D]/(n-1) \geq 25 \text{ mm}$	73.33333333	37.6	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2 \cdot (sb+Ds)-(n/2).D]/((n/2)-1) \geq 25 \text{ mm}$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
Ts1+Ts2=Cc+Cs	As.fy=0,85.f'c.a.b+As'.[(a- β 1.d')/a]. ϵ_c .Es			
Ts1+Ts2	Astot.fy	402123.86	562973.40	N
Cc	0.85.f'c.b	6375	6375	N
Cs	As'. ϵ_c .Es	241274.32	241274.32	N
	β 1.d'	48.4714	48.4714	mm
a	persamaan kuadrat	57.2660	74.9416	mm
c	a/ β 1	68.5234	89.6737	mm
ϵ_s'	$\epsilon_c \cdot ((c-d')/c)$	0.000461	0.001060	
ϵ_y	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (fs')	$\epsilon_s' \cdot Es$	92.1441	211.9264	Mpa
M1	0,85.f'c.a.b.(d-a/2)	150908110.99	183470998.94	N-mm
M2	As'.fs.(d-d')	14228483.66	30977713.39	N-mm
M total		165136594.7	214448712.3	N-mm
Mn penampang		165.1366	214.4487	kN-m
Mn yang dibutuhkan		146.1040	211.0201	kN-m
		oke	oke	

Tabel 5.20 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3
kondisi tanah sedang

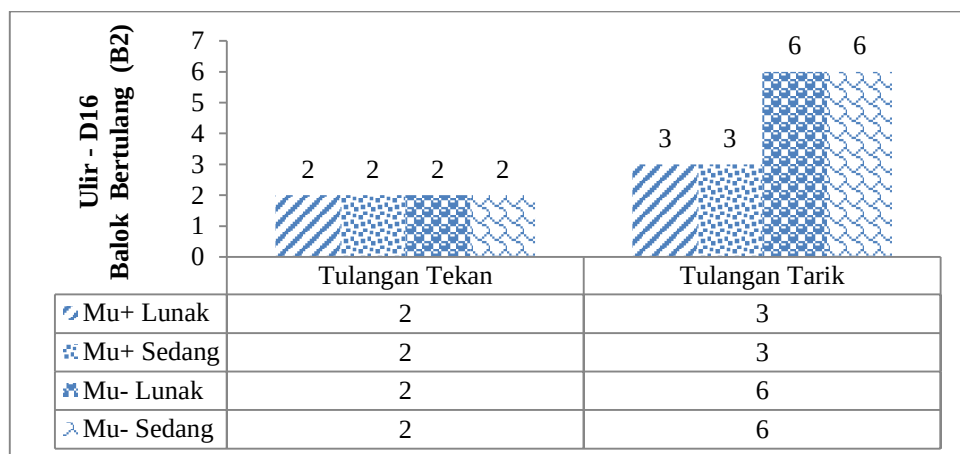
Desain Tulangan Longitudinal Balok Anak (B3) pada Tanah Sedang				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		116.8832	168.8161	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
$M+ \geq 50\%M-$	$[(Mu-)-(Mu+)]/[(Mu+).2].100\%$	22.2157		%
		tidak redis		
Redis 15%	$[(Mu-)].[(100-15)/100]$	71.7468	143.4937	kN-m
Mu pakai	$50\%.(Mu-)\text{redis}$	116.8832	168.8161	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	146.1040	211.0201	kN-m
b		250	250	mm
h		500	500	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
εc		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	16	16	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		25	25	mm
Luas longitudinal (Ad)	n.D	201.0619	201.0619	mm ²
Luas sengkang (Ads)	n.Ds	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+ds\text{sengkang}+1/2d\text{longitud}$	58	58	mm
d 1 lapis	h-d'	442	442	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Ds\text{sengkang}+Dtul+1/2\text{jaraktul})$	421.5	421.5	mm
d pakai		442	421.5	mm
β1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
εy	fy/Es	0.0020	0.0020	
m	$fy/(0,85.f'c)$	15.6863	15.6863	
ρb	$\beta1/m.[\epsilon c/(\epsilon c+\epsilon y)]$	0.03197	0.03197	
Rb	$\rho b.fy.(1-0,5.\rho b.m)$	9.5807	9.5807	N/mm ²
$Mu+ < 50\%Mu-$	$R1 > 0,3 Rb$			
$Mu+ > 50\%Mu-$	$R1 < 0,3 Rb$			
$Mu+ = 50\%Mu-$	$R1 = 0,3-0,4Rb$			
R1	R1pakai	0.3	0.3	
	$R1\text{pakai}.Rb$	2.8742	2.8742	N/mm ²
Analisis Tulangan Sebelah				
M1	$R1.b.h^2$	179637905.0	179637905.0	N-mm
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$			
	$0,85.f'c.b$	6375	6375	kN
	d	442	421.5	mm
a	persamaan kuadrat	69.1636	73.2110	mm
c	$a/\beta1$	82.7598	87.6028	
εs'	$\epsilon c.((c-d')/c)$	0.000898	0.001014	
εy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Cc	$0,85.f'c.a.b$	440917.70	466719.83	N
Ts = Cc	$As.fy = 0,85.f'c.a.b$			
As	$(0,85.f'c.a.b)/fy$	1102.2943	1166.7996	mm ²

Tabel 5.20 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal balok tipikal 3 kondisi tanah sedang

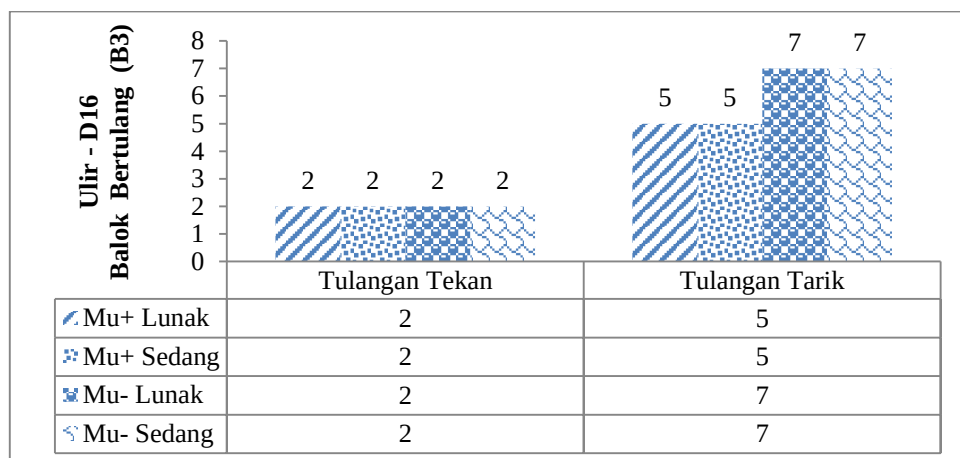
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
n	As/Ad	5.4824	5.8032	buah
n pakai		3	5	buah
As baru	$n.Ad$	603.1858	1005.3096	mm ²
Cc	$0,85.f'c.a.b$			
Ts = Cc	$Asbaru.fy = 0,85.f'c.a.b$			
a baru	$(Asbaru.fy)/(0,85.f'c.b)$	37.8470	63.0783	mm
c	$a \text{ baru}/\beta 1$	45.2870	75.4783	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c \cdot ((c-d')/c)$	-0.000842	0.000695	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
Mn1	$(0.85.f'c.a.b.(d-a/2))/10^6$	102.0775	156.8126	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	146.1040	211.0201	kN-m
Mn2	Mn perlu-M1	44.0265	54.2076	kN-m
tulangan rangkap		dibutuhkan	dibutuhkan	
Analisis Tulangan Rangkap				
Tulangan tekan	dianggap leleh			
Ts2 = Cs =	$Mn2/(d-d')$	114652.35	149126.69	N-mm
Ts2 =	$As.fy$			
As	$Ts2/fy$	286.6309	372.8167	mm ²
n	As/Ad	1.4256	1.8542	buah
n pakai		2	2	buah
n tul. Sebelah		3	5	buah
n tul. Rangkap		2	2	buah
n' tul. tekan total		2	2	buah
n tul. tarik total		5	7	buah
		2 lapis	2 lapis	
kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-n.D]/(n-1) \geq 25 \text{ mm}$	73.33333333	37.6	mm
kontrol tulangan 2 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-(n/2).D]/((n/2)-1) \geq 25 \text{ mm}$	25	25	mm
		oke	oke	
Analisis Momen Nominal Penampang				
Ts1+Ts2=Cc+Cs	$As.fy=0,85.f'c.a.b+As'.[(a-\beta 1.d')/a].\epsilon c.Es$			
Ts1+Ts2	$Astot.fy$	402123.86	562973.40	N
Cc	$0.85.f'c.b$	6375	6375	N
Cs	$As'.\epsilon c.Es$	241274.32	241274.32	N
	$\beta 1.d'$	48.4714	48.4714	mm
a	persamaan kuadrat	57.2660	74.9416	mm
c	$a/\beta 1$	68.5234	89.6737	mm
$\epsilon s'$	$\epsilon c \cdot ((c-d')/c)$	0.000461	0.001060	
ϵy	fy/Es	0.002	0.002	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
tegangan tekan (fs')	$\epsilon s'.Es$	92.1441	211.9264	Mpa
M1	$0,85.f'c.a.b.(d-a/2)$	150908110.99	183470998.94	N-mm
M2	$As'.fs.(d-d')$	14228483.66	30977713.39	N-mm
M total		165136594.7	214448712.3	N-mm
Mn penampang		165.1366	214.4487	kN-m
Mn yang dibutuhkan		146.1040	211.0201	kN-m
		oke	oke	



Gambar 5.26 Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 1



Gambar 5.27 Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 2



Gambar 5.28 Rekapitulasi desain tulangan longitudinal balok tipikal 3

5.6.6 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Sengkang

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan desain tulangan sengkang, pada balok beton bertulang tipikal 1, tipikal 2 dan tipikal 3 pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.21 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 1

Desain Tulangan Sengkang Balok Induk Tipikal 1 (B1) akibat Gaya Geser (V_u)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
V_u		108.0930	105.701	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
V_n	V_u/ϕ	144.1240	140.9347	kN
Lebar (b)		300	300	mm
Tinggi (h)		600	600	mm
f'_c		30	30	Mpa
f_y sengkang		240	240	Mpa
Selimit beton (sb)		40	40	mm
Jarak tulangan (smin)		25	25	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		12	12	mm
D sengkang (Ds)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
Luas tulangan (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (Astot)	n kaki.Ads	157.0796	157.0796	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2 D$	56	56	mm
d	$h - (sb + D_s + D + 1/2 \cdot s \text{ min})$	525.5	525.5	mm
V_c	$1/6 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	143914.1020	143914.1020	N
V_s maks	$2/3 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	575656.4079	575656.4079	N
V_s	$V_n - V_c$	209.8980	-2979.4353	N
$V_s < V_s$ maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (A_v) adalah yang terbesar dari berikut ini				
A_{v1}	$(V_s \cdot s)/(f_y \cdot d)$	1.6643	-23.6238	mm ² /m'
A_{v2}	$(b \cdot s)/(3 \cdot f_y)$	416.6667	416.6667	mm ² /m'
A_{v3}	$[75 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot s]/[1200 \cdot f_y]$	427.9082	427.9082	mm ² /m'
A_v pakai		427.9082	427.9082	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s/(A_v \text{ pakai}/Astot)$	367.0872	367.0872	mm
Dipakai jarak		360	360	mm

Tabel 5.22 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 2

Desain Tulangan Sengkang Balok Induk Tipikal 2 (B2) akibat Gaya Geser (V_u)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
V_u		57.135	49.198	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
V_n	V_u/ϕ	76.1800	65.5973	kN
Lebar (b)		200	200	mm
Tinggi (h)		400	400	mm

Tabel 5.22 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 2

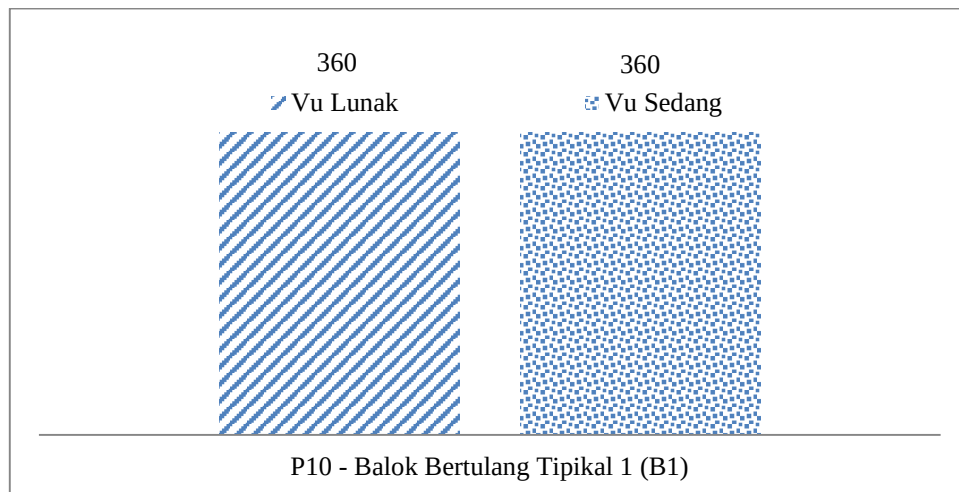
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
f_c		30	30	Mpa
f_y sengkang		240	240	Mpa
Selimit beton (sb)		40	40	mm
Jarak tulangan (s_{min})		25	25	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		16	16	mm
D sengkang (D_s)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
Luas tulangan (A_{ds})	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (A_{stot})	n kaki. A_{ds}	157.0796	157.0796	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2D$	58	58	mm
d	$h - (sb + D_s + D + 1/2 \cdot s \text{ min})$	321.5	321.5	mm
V_c	$1/6 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	58697.6007	58697.6007	N
V_s maks	$2/3 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	234790.4030	234790.4030	N
V_s	$V_n - V_c$	17482.3993	6899.7326	N
$V_s < V_s$ maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (A_v) adalah yang terbesar dari berikut ini				
A_{v1}	$(V_s \cdot s) / (f_y \cdot d)$	226.5733	89.4211	mm ² /m'
A_{v2}	$(b \cdot s) / (3 \cdot f_y)$	277.7778	277.7778	mm ² /m'
A_{v3}	$[75 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot s] / [1200 \cdot f_y]$	285.2722	285.2722	mm ² /m'
A_v pakai		285.2722	285.2722	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s / (A_v \text{ pakai} / A_{stot})$	550.6308	550.6308	mm
Dipakai jarak		500	500	mm

Tabel 5.23 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 3

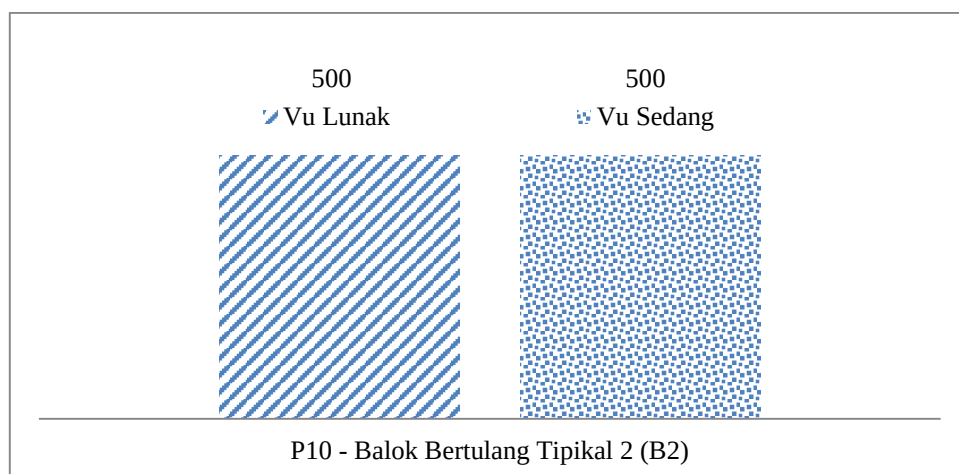
Desain Tulangan Sengkang Balok Anak (B3) akibat Gaya Geser (V_u)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
V_u		111.715	111.715	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
V_n		148.9533	148.9533	kN
Lebar (b)		250	250	mm
Tinggi (h)		500	500	mm
f_c		30	30	Mpa
f_y sengkang		240	240	Mpa
Selimit beton (sb)		40	40	mm
Jarak tulangan (s_{min})		25	25	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		16	16	mm
D sengkang (D_s)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
Luas tulangan (A_{ds})	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (A_{stot})	n kaki. A_{ds}	157.0796	157.0796	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2D$	58	58	mm
d	$h - (sb + D_s + D + 1/2 \cdot s \text{ min})$	421.5	421.5	mm

Tabel 5.23 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok tipikal 3

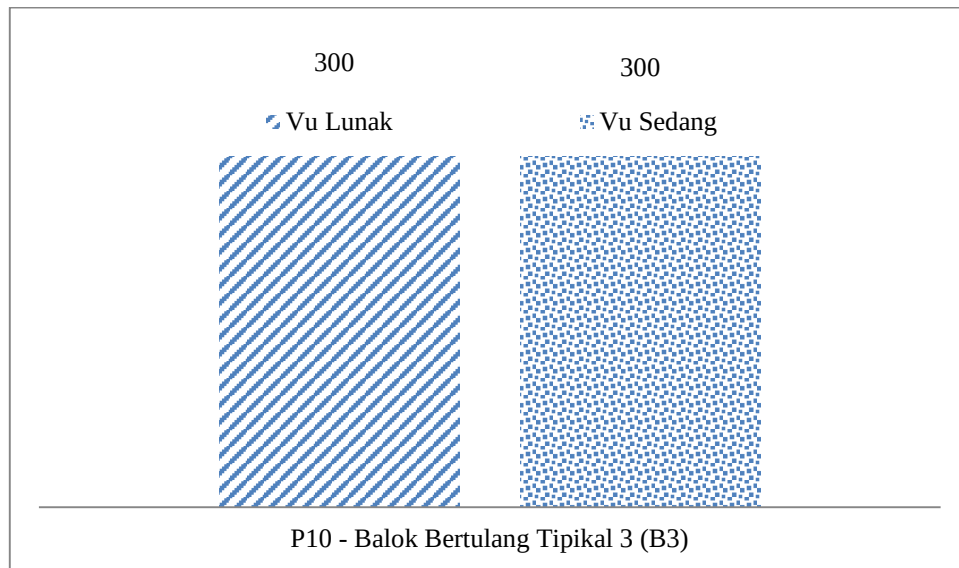
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
Vc	$1/6 \cdot \text{akar}(f'c) \cdot b \cdot d$	96193.7742	96193.7742	N
Vs maks	$2/3 \cdot \text{akar}(f'c) \cdot b \cdot d$	384775.0966	384775.0966	N
Vs	Vn-Vc	52759.5592	52759.5592	N
Vs < Vs maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (Av) adalah yang terbesar dari berikut ini				
Av1	$(Vs \cdot s) / (fy \cdot d)$	521.5457	521.5457	mm ² /m'
Av2	$(b \cdot s) / (3 \cdot fy)$	347.2222	347.2222	mm ² /m'
Av3	$[75 \cdot \text{akar}(f'c) \cdot b \cdot s] / [1200 \cdot fy]$	356.5902	356.5902	mm ² /m'
Av pakai		521.5457	521.5457	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s / (Av \text{ pakai} / Astot)$	301.1810	301.1810	mm
Dipakai jarak		300	300	mm



Gambar 5.29 Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 1



Gambar 5.30 Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 2



Gambar 5.31 Hasil desain jarak sengkang balok tipikal 3

5.7 PERHITUNGAN DESAIN BALOK BETON PRATEGANG

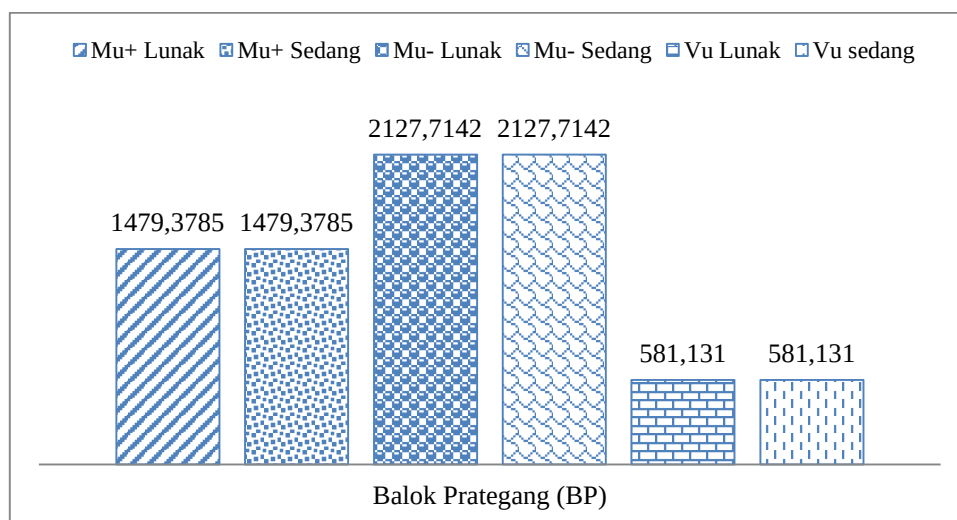
Dalam subbab ini, perhitungan desain balok beton prategang (BP), meliputi desain *strands* prategang akibat lentur dan desain tulangan sengkang akibat gaya geser. Balok prategang ini didesain sebagai balok prategang parsial, yaitu adanya tulangan baja biasa dengan diameter 25 mm. Balok ini mempunyai bentang 18 meter, sehingga didesain dengan menggunakan material beton prategang. Analisis struktur dari SAP2000, ditinjau pada kondisi tanah lunak dan kondisi tanah sedang. Perhitungan dan pembahasan pada balok beton prategang (BP), akan dijelaskan sebagai berikut ini.

5.7.1 Hasil Analisis Struktur Balok Beton Prategang

Berikut ini adalah hasil analisis struktur SAP2000, pada balok prategang (BP) dengan dimensi 900 mm x 400 mm.

Tabel 5.24 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok prategang

SAP-LUNAK Balok Prategang (BP)			SAP-SEDANG Balok Prategang (BP)		
Balok Prategang (BP) Lantai 2			Balok Prategang (BP) Lantai 2		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1468.2868	-2112.5937	578.234	1468.2868	-2112.5937	578.234
Balok Prategang (BP) Lantai 3			Balok Prategang (BP) Lantai 3		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1467.205	-2107.4233	577.532	1467.205	-2107.4233	577.532
Balok Prategang (BP) Lantai 4			Balok Prategang (BP) Lantai 4		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1464.9336	-2101.2039	576.605	1464.9336	-2101.2039	576.605
Balok Prategang (BP) Lantai 5			Balok Prategang (BP) Lantai 5		
Kombinasi 1,2D+1,6L			Kombinasi 1,2D+1,6L		
Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1479.3785	-2127.7142	581.131	1479.3785	-2127.7142	581.131



Gambar 5.32 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam balok prategang

Dari hasil gaya-gaya dalam analisis struktur SAP2000 tersebut, diperoleh nilai gaya-gaya dalam yang mempunyai nilai yang sama. Hal ini dikarenakan beban gravitasi yang diterima balok prategang tersebut lebih dominan daripada beban gempa, dan mengakibatkan pengaruh letak kondisi tanah lunak dan tanah

sedang tidak ada. Berikut ini adalah nilai gaya-gaya dalam dari hasil analisis struktur SAP2000 untuk desain balok prategang.

1. Kondisi tanah lunak:
 - a. nilai geser maksimum (V) = 578,679 kN
 - b. nilai momen negatif maksimum (M-) = -2123,3253 kN-m
 - c. nilai momen positif maksimum (M+) = 1462,1312 kN-m
2. Kondisi tanah sedang:
 - a. nilai geser maksimum (V) = 578,679 kN
 - b. nilai momen negatif maksimum (M-) = -2123,3253 kN-m
 - c. nilai momen positif maksimum (M+) = 1462,1312 kN-m

5.7.2 Perhitungan Desain Lentur Balok Prategang

Berikut ini adalah perhitungan desain lentur balok prategang di tumpuan, yang didesain sebagai balok prategang parsial, yaitu adanya tulangan longitudinal baja biasa.

1. Data penampang

- a. Momen penampang:
 - 1) Momen tumpuan (Mu-) = 2127,7142 kN-m
 - 2) Momen lapangan (Mu+) = 1479,3785 kN-m

Syarat redistribusi momen sebesar 15%, jika $Mu+ \geq 50\%Mu-$

$$\frac{(Mu-) - (Mu+)}{(Mu+) \times 2} \times 100\% = \frac{2127,7142 - 1479,3785}{1479,3785 \times 2} \times 100\%$$

$$= 21,9124 \% < 50\%$$

Jadi penampang ini tidak perlu redistribusi momen.

- b. Faktor reduksi kekuatan (ϕ) = 0,80
- c. Desain momen nominal penampang yang dibutuhkan:

$$1) M_n \text{ tumpuan } (Mn-) = \frac{Mu-}{\phi}$$

$$= \frac{1479,3785}{0,8}$$

$$= 1849,2231 \text{ kN-m}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Mn lapangan (Mn+)} &= \frac{Mu+}{\phi} \\ &= \frac{2127,742}{0,8} \end{aligned}$$

$$= 2659,6428 \text{ kN-m}$$

- d. Kuat tekan beton (f'_c) = 40 Mpa
- e. Kuat tarik ultimit prategang (f_{pu}) = 1862 Mpa
- f. Kuat leleh prategang (f_{py}) = 0,85 x f_{pu}
 $= 0,85 \times 1862$
 $= 1582,7 \text{ Mpa}$
- g. Kuat tarik awal prategang (f_{pi}) = 0,85 x f_{pu}
 $= 0,70 \times 1862$
 $= 1303,4 \text{ Mpa}$
- h. Kuat tarik sesudah kehilangan (f_{pe}) = 1006,8385 Mpa
- i. Kuat leleh baja biasa (f_y) = 400 Mpa
- j. Modulus elastisitas baja baja (E_s) = 200000 Mpa
- k. Regangan beton (ϵ_c) = 0,003
- l. Regangan tulangan (ϵ_y) = f_y/E_s
 $= 400/200000$
 $= 0.002$

m. Faktor β_1 menurut SNI 2847-2013:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (40 - 28)}{7} \right) \\ &= 0,76 \geq 0,65 \end{aligned}$$

n. Dimensi penampang:

$$1) \text{ Lebar penampang (b)} = 400 \text{ mm}$$

$$2) \text{ Tinggi penampang (h)} = 900 \text{ mm}$$

o. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (d')

$$d' = s_b + d_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25$$

$$= 62,5 \text{ mm}$$

p. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (d)

$$d = h - d'$$

$$= 900 - 62,5$$

$$= 837,5 \text{ mm (1 lapis)}$$

q. Digunakan tulangan:

$$1) \text{ Diameter strand 7 kawat } \frac{1}{2} \text{ in} = 12,7 \text{ mm}$$

$$2) \text{ Diameter tulangan longitudinal (D)} = 25 \text{ mm}$$

$$3) \text{ Diameter tulangan sengkang (Ds)} = 10 \text{ mm}$$

r. Jarak antar tulangan minimal (smin) = 25 mm

s. Luas strands 7 kawat $\frac{1}{2}$ in (Adt) = 98,7156 mm²

$$t. \text{ Luas tulangan D25 (Ad)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2$$

$$= 490,8739 \text{ mm}^2$$

$$u. \text{ Luas tulangan D10 (Ads)} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,5398 \text{ mm}^2$$

2. Analisis prategang parsial bertulangan rangkap non prategang

$$\text{Aps perlu} = \frac{M_n}{0,72 \times f_{pu} \times h}$$

$$= \frac{2659,6428}{0,72 \times 1862 \times 900}$$

$$= 2204,2895 \text{ mm}^2$$

$$\text{nt perlu} = \frac{A_{ps}}{A_{dt}}$$

$$= \frac{2204,2895}{98,7156}$$

$$= 22,3297 \text{ buah}$$

Jumlah strands (nt) pakai = 16 buah

Jumlah tulangan tarik (n) = 8 buah

Jumlah tulangan tekan (n') = 4 buah

Kontrol jumlah tulangan 1 lapis:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - 2 \times (sb + Ds) - n \times D}{n - 5} \\
 &= \frac{300 - 2 \times (40 + 10) - 8 \times 25}{8 - 5} \\
 &= 33,33 \text{ mm} > 25 \text{ mm (oke)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas total strands (Aps)} &= n \times A_{dt} \\
 &= 16 \times 98,7156 \\
 &= 1579,4496 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan tarik (As)} &= n \times A_d \\
 &= 8 \times 490,8739 \\
 &= 3926,9908 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tulangan tarik (As')} &= n' \times A_d \\
 &= 4 \times 490,8739 \\
 &= 1963,4954 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Metode analisis prategang parsial bertulangan rangkap non prategang:

Jika tegangan $f_{pe} > 0,5 f_{pu}$, maka digunakan cara pendekatan

Jika tegangan $f_{pe} < 0,5 f_{pu}$, maka digunakan cara keserasian regangan

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= 1006,8385 \\
 0,5 f_{pu} &= 0,5 \times 1006,8385 \\
 &= 0,5 \times 1862 \\
 &= 931 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$f_{pe} > 0,5 f_{pu} = 1006,8385 > 931 \text{ Mpa}$, maka digunakan cara pendekatan

3. Cek tegangan ijin pada kondisi beban kerja

$$c_t = 0,5 \times h$$

$$= 0,5 \times 900$$

$$= 450 \text{ mm}$$

$$e = c_t - (s_b + D_s + D + s_{\min} + 0,5 \times \text{lebar tendon})$$

$$= 450 - (40 + 10 + 25 + 25 + 0,5 \times 77)$$

$$= 311,5 \text{ mm, dipakai } e \text{ tumpuan} = 290 \text{ mm}$$

$$d_p = c_t + e$$

$$= 450 + 290$$

$$= 740 \text{ mm}$$

$$A_c = b \times h$$

$$= 400 \times 900$$

$$= 360000 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 400 \times 900^3$$

$$= 24300000000 \text{ mm}^4$$

$$r^2 = \frac{I_c}{A_c}$$

$$= \frac{24300000000}{360000}$$

$$= 67500 \text{ mm}^2$$

$$\frac{e^2}{r^2} = \frac{290^2}{67500}$$

$$= 1,2459$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\
 &= 4700 \times \sqrt{40} \\
 &= 29725,41 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= A_{ps} \times f_{pi} \\
 &= 1579,4496 \times 1303,4 \\
 &= 2058654,609 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_e &= A_{ps} \times f_{pi} \\
 &= 1579,4496 \times 1006,8385 \\
 &= 1590250,672 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= 1/6 \times b \times h^2 \\
 &= 1/6 \times 400 \times 900^2 \\
 &= 54000000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$M_D = 874228800 \text{ N-mm (momen akibat beban mati)}$$

$$M_u = 2127714200 \text{ N-mm (momen akibat beban total)}$$

$$f'_c = 40 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 f'_{ci} &= 0,80 \times f'_c \\
 &= 0,80 \times 40 \\
 &= 32 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Tegangan tekan ijin pada saat transfer prategang:

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0,60 \times f'_{ci} \text{ (tengah bentang)} \\
 &= 0,60 \times 32 \\
 &= 19,2 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{ci} &= 0,70 \times f'_{ci} \text{ (tumpuan)} \\
 &= 0,70 \times 32
 \end{aligned}$$

$$= 22,4 \text{ Mpa}$$

Tegangan tarik ijin pada saat transfer prategang:

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,25 \times \sqrt{f'_{ci}} \text{ (tengah bentang)} \\ &= 0,25 \times \sqrt{32} \\ &= 1,4142 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ti} &= 0,50 \times \sqrt{f'_{ci}} \text{ (tumpuan)} \\ &= 0,50 \times \sqrt{32} \\ &= 2,8284 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tegangan tekan ijin setelah kehilangan prategang:

$$\begin{aligned} f_c &= 0,45 \times f'_c \text{ (beban tetap)} \\ &= 0,45 \times 40 \\ &= 18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_c &= 0,60 \times f'_c \text{ (beban total)} \\ &= 0,60 \times 40 \\ &= 24 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tegangan tarik ijin setelah kehilangan prategang:

$$\begin{aligned} f_t &= 1,0 \times \sqrt{f'_c} \text{ (penampang tak retak)} \\ &= 1,0 \times \sqrt{40} \\ &= 6,3245 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$f_t > 1,0 \times \sqrt{f'_c} \text{ untuk penampang retak}$$

Cek tegangan penampang pada saat transfer prategang:

Tegangan serat atas daerah tumpuan

$$f_t = \frac{-P_i}{A_c} \times \left(1 - \frac{e \times c_t}{r^2} \right)$$

$$f_t = \frac{-2058654,609}{360000} \times \left(1 - \frac{290 \times 450}{67500}\right)$$

= 5,3372 Mpa > 2,8284 Mpa, penampang ini mengalami retak jika ditinjau hanya memakai strands prategang saja.

Tegangan serat bawah daerah tumpuan

$$f_t = \frac{-P_i}{A_c} \times \left(1 + \frac{e \times c_t}{r^2}\right)$$

$$f_t = \frac{-2058654,609}{360000} \times \left(1 + \frac{290 \times 450}{67500}\right)$$

= -16,7742 Mpa < -22,4 Mpa, penampang ini mengalami tekan yang tidak melebihi ijin.

Cek tegangan penampang setelah kehilangan prategang:

Tegangan serat atas daerah tumpuan

$$f_t = \frac{-P_e}{A_c} \times \left(1 - \frac{e \times c_t}{r^2}\right)$$

$$f_t = \frac{-1590250,672}{360000} \times \left(1 - \frac{290 \times 450}{67500}\right)$$

= 4,1228 Mpa < 6,3245 Mpa, penampang ini mengalami tarik yang tidak melebihi ijin.

Tegangan serat bawah daerah tumpuan

$$f_t = \frac{-P_e}{A_c} \times \left(1 + \frac{e \times c_t}{r^2}\right)$$

$$f_t = \frac{-1590250,672}{360000} \times \left(1 + \frac{290 \times 450}{67500}\right)$$

= -12,9576 Mpa < -18 Mpa, penampang ini mengalami tekan yang tidak melebihi ijin.

Cek momen retak penampang:

$$f_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f_c}$$

$$= 0,62 \times \lambda \times \sqrt{40}$$

$$= 3,9212 \text{ Mpa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$\begin{aligned} M_{cr} &= f_r \times S + P_e \times \left(e + \frac{r^2}{ct} \right) \\ &= 3,9212 \times 54000000 + 1590250,672 \times \left(290 + \frac{67500}{450} \right) \\ &= 911456407,9 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

Momen kelebihan beban

$$\begin{aligned} M_u - M_{cr} &= 2127714200 - 911456407,9 \\ &= 1216257792 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

$M_u > M_{cr}$, berarti benar penampang ini mempunyai retak tarik pada kondisi beban kerja, jadi diperlukan penulangan non prategang.

Untuk menjamin penulangan non prategang agar memadai, diperlukan

$$M_u > 1,2 M_{cr}$$

$$\begin{aligned} 1,2 \times M_{cr} &= 1,2 \times 911456407,9 \\ &= 1093747689 \text{ N-mm} \end{aligned}$$

$$M_u = 2127714200 \text{ N-mm} > 1,2 M_{cr} = 1093747689 \text{ N-mm (oke memadai)}$$

4. Desain penulangan angkur

Dimensi rencana pelat angkur = 150 mm x 150 mm

$$\begin{aligned} \text{Luas pengangkuran} &= 150 \times 150 \\ &= 262400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang (Ac)} &= b \times h \\ &= 400 \times 900 \\ &= 360000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Gaya prategang awal (P}_i\text{)} = 2058654,609 \text{ N}$$

Penulangan vertikal

Momen pencar (*bursting moment*) adalah :

$$\begin{aligned}
 Mb &= \frac{P_i}{8} \times (h \text{ penampang} - h \text{ angkur}) \\
 &= \frac{2058654,609}{8} \times (900 - 150) \\
 &= 192998869,6 \text{ N-mm}
 \end{aligned}$$

Besarnya gaya tarik (T_b) :

$$\begin{aligned}
 T_b &= \frac{Mb}{h \text{ penampang}/2} \\
 &= \frac{192998869,6}{900/2} \\
 &= 428886,3768 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \frac{T_b}{f_y \text{ sengkang}} \\
 &= \frac{428886,3768}{240} \\
 &= 1787,0265 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sengkang untuk pengangkuran diletakkan di daerah $0,2 h - 1,0 h$

Diambil lokasi $0,2 h - 0,8 h$

$$\begin{aligned}
 \text{Lokasi } 0,2 h &= 0,2 \times 900 \\
 &= 180 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lokasi } 0,8 h &= 0,8 \times 900 \\
 &= 720 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas sengkang vertikal 2 kaki (As)} &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan tulangan sengkang (n)} &= \frac{\text{As perlu}}{\text{As sengkang}} \\
 &= \frac{1787,0265}{157,0796} \\
 &= 11,3765 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak sengkang perlu (s)} &= \frac{0,8h - 0,2h}{n \text{ perlu}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{720 - 180}{11,3765}$$

$$= 47,4659 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang = 30 mm

Penulangan horisontal

Momen pecar (*bursting moment*) adalah :

$$M_b = \frac{P_i}{8} \times (b \text{ penampang} - b \text{ angkur})$$

$$= \frac{2058654,609}{8} \times (400 - 150)$$

$$= 64332956,52 \text{ N-mm}$$

Besarnya gaya tarik (T_b) :

$$T_b = \frac{M_b}{b \text{ penampang}/2}$$

$$= \frac{64332956,52}{400/2}$$

$$= 321664,7826 \text{ N}$$

$$A_s \text{ perlu} = \frac{T_b}{f_y \text{ sengkang}}$$

$$= \frac{321664,7826}{240}$$

$$= 1340,2699 \text{ mm}^2$$

Sengkang untuk pengangkurkan diletakkan di daerah $0,2 b - 1,0 b$

Diambil lokasi $0,2 b - 0,8 b$

$$\text{Lokasi } 0,2 b = 0,2 \times 400$$

$$= 80 \text{ mm}$$

$$\text{Lokasi } 1,0 b = 1,0 \times 400$$

$$= 400 \text{ mm}$$

$$\text{Luas sengkang vertikal 2 kaki } (A_s) = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,0796 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan sengkang } (n) = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ sengkang}}$$

$$= \frac{1340,2699}{157,0796}$$

$$= 8,5324 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak sengkang perlu (s)} = \frac{0,8h - 0,2h}{n \text{ perlu}}$$

$$= \frac{400 - 80}{8,5324}$$

$$= 37,5039 \text{ mm}$$

Dipakai jarak sengkang = 30 mm

5. Analisis tegangan strands prategang (fps) untuk tendon terlekat

Tegangan $f_{py} = 0,80.f_{pu}$ untuk batang prategang berkekuatan tinggi

Tegangan $f_{py} = 0,85.f_{pu}$ untuk stress relieved strands (dipakai)

Tegangan $f_{py} = 0,90.f_{pu}$ untuk strands relaksasi rendah

Nilai faktor (γ_p):

$$\gamma_p = 0,55 \text{ jika } f_{py}/f_{pu} \geq 0,80$$

$$= 0,40 \text{ jika } f_{py}/f_{pu} \geq 0,85$$

$$= 0,28 \text{ jika } f_{py}/f_{pu} \geq 0,90$$

$$f_{py}/f_{pu} = 0,85$$

Jadi digunakan nilai faktor (γ_p) = 0,40

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \times d_p}$$

$$= \frac{1579,4496}{400 \times 740}$$

$$= 0,00534$$

$$\omega = \frac{A_s \times f_y}{b \times d \times f_c}$$

$$= \frac{3926,9908 \times 400}{400 \times 812,5 \times 40}$$

$$= 0,12083$$

$$\omega' = \frac{A_s' \times f_y}{b \times d \times f_c}$$

$$= \frac{1963,4954 \times 400}{400 \times 812,5 \times 40}$$

$$= 0,06042$$

Tegangan strands prategang (fps) untuk tendon terlekat:

$$fps = f_{pu} \times \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \times \left(\rho_p \times \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} \times (\omega - \omega') \right) \right\}$$

$$= 1862 \times \left\{ 1 - \frac{0,40}{0,76} \times \left(0,00534 \times \frac{1862}{40} + \frac{812,5}{740} \times (0,12083 - 0,06042) \right) \right\}$$

$$= 1555,2999 \text{ Mpa}$$

6. Analisis momen nominal penampang bertulangan kurang

Tinggi blok ekuivalen penampang persegi (a):

$$a = \frac{A_{ps} \times fps + A_s \times f_y - A_s' \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{1579,4496 \times 1555,2999 + 3926,9908 \times 400 - 1963,4954 \times 400}{0,85 \times 40 \times 400}$$

$$= 238,3762 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{238,3762}{0,76}$$

$$= 311,8941 \text{ mm}$$

Cek tulangan tekan (ϵ_s')

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s' &= \varepsilon_c \times \frac{c - d'}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{311,8941 - 62,5}{311,8941} \\
 &= 0,0023988 > \varepsilon_y = 0,0020 \text{ ,maka tulangan tekan sudah leleh}
 \end{aligned}$$

Penulangan minimum non prategang harus $> 0,004 A_c$

$$\begin{aligned}
 A_c &= \frac{1}{2} \times A_c \\
 &= \frac{1}{2} \times 360000 \\
 &= 180000 \text{ mm}^2 \\
 0,004 \times A_c &= 0,004 \times 180000 \\
 &= 720 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \\
 &= 3926 \text{ mm}^2 > 0,004 \times A_c = 720 \text{ mm}^2 \text{ (oke)}
 \end{aligned}$$

Untuk menjamin perilaku daktil, persentase penulangan sedemikian hingga indeks penulangan ω_t tidak melebihi $0,36 \cdot \beta_1$

Indeks penulangan (ω_t) untuk prategang dan tulangan non prategang:

$$\begin{aligned}
 0,36 \times \beta_1 &= 0,36 \times 0,76 \\
 &= 0,275143
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \omega_t &= \rho_p \times \frac{f_{ps}}{f_c} + \frac{d}{d_p} \times (\omega - \omega') \\
 &= 0,00534 \times \frac{1555,2999}{40} + \frac{812,5}{740} \times (0,12083 - 0,06042) \\
 &= 0,273810 < 0,275143 \text{ (oke daktil)}
 \end{aligned}$$

Kuat momen nominal (M_n) untuk penampang bertulangan kurang:

$$\begin{aligned}
M_n &= A_{ps} \times f_{ps} \times \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_s' \times f_y \times \left(\frac{a}{2} - d'\right) \\
&= 1579,4496 \times 1555,2999 \times \left(740 - \frac{238,3762}{2}\right) + 3926,9908 \times 400 \\
&\quad \times \left(812,5 - \frac{238,3762}{2}\right) + 1963,4954 \times 400 \times \left(\frac{238,3762}{2} - 62,5\right) \\
&= 2688610000 \text{ N-mm} \\
&= 2688,6100 \text{ kN-m} > M_n \text{ perlu} = 2659,6428 \text{ kN-m (oke)}
\end{aligned}$$

Tabel 5.25 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan lentur balok prategang pada kondisi tanah lunak dan sedang

Desain Lentur Balok Prategang (BP) pada Tanah Lunak dan Tanah Sedang				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Mu		1479.3785	2127.7142	kN-m
ϕ balok lentur		0.80	0.80	
M+ $\geq$ 50%M-	$[(Mu_-)-(Mu_+)]/[(Mu_+).2].100\%$	21.9124		%
		tidak redis		
Redis 15%	$[(Mu_-)].[(100-15)/100]$	904.2785	1808.5571	kN-m
Mu pakai	50%.(Mu-)-redis	1479.3785	2127.7142	kN-m
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	1849.2231	2659.6428	kN-m
b		400	400	mm
h		900	900	mm
f'c		40	40	Mpa
fpu prategang		1862	1862	Mpa
fpy prategang	0,85.fpu	1582.7	1582.7	Mpa
fpi prategang	0,70.fpu	1303.4	1303.4	Mpa
fpe prategang		1006.8385	1006.8385	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ec		0.003	0.003	
selimut beton		40	40	mm
Selubung tendon (lapangan)	16 buah 70/77 = 77 mm (b tend)	77	77	mm
Selubung tendon (tumpuan)	22 buah 80/87 = 87 mm (b tend)	87	87	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	25	25	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (smin)		25	25	mm
Luas strands 7 kawat (Adt)	1/2 in	98.7156	98.7156	mm ²
Luas longitudinal (Ad)	$1/4.\pi.D^2$	490.8739	490.8739	mm ²
Luas sengkang (Ads)	$1/4.\pi.D^2$	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb+Ds+1/2.D$	62.5	62.5	mm
d 1 lapis	h-d'	837.5	837.5	mm
d 2 lapis	$h-(sb+Ds+D+1/2.smin)$	812.5	812.5	mm
d pakai		837.5	812.5	mm
β_1	$0,85-((0,05.(f'c-28))/7) \leq 0,65$	0.76	0.76	
ϵ_y	f_y/E_s	0.0020	0.0020	

Tabel 5.25 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan lentur balok prategang pada kondisi tanah lunak dan sedang

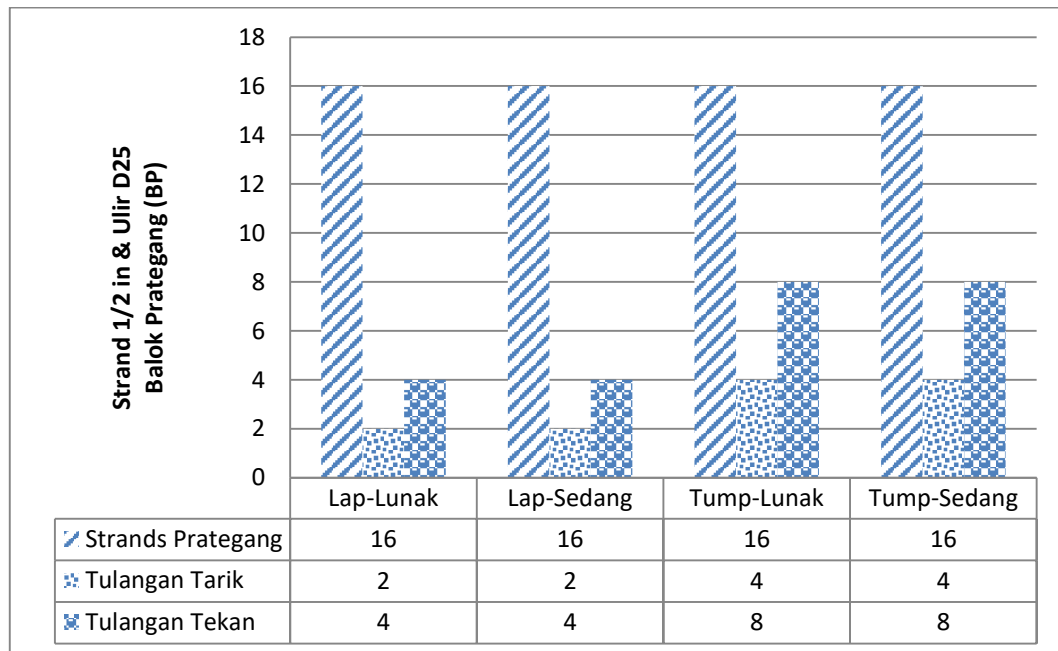
Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Analisis prategang parsial bertulangan rangkap non prategang				
Dibutuhkan luas strands (Aps)	$Mn/(0,72.f_{pu}.h)$	1532.6205	2204.2895	mm ²
Dibutuhkan jumlah strands	Aps/Adt	15.5256	22.3297	buah
Dipakai jumlah strands (nt)		16	16	buah
Dipakai jumlah tul tarik (n)		4	8	buah
Dipakai jumlah tul tekan (n')		2	4	buah
Kontrol tulangan 1 lapis	$[b-2*(sb+Ds)-(n.D)]/(n-1) \geq 25$	66.66666667	33.33333333	mm
	$[b-2*(sb+Ds)-(n/2.D)]/(n/2-1) \geq 25$	25	25	mm
	$[b-2*(sb+Ds)-(n.D)]/(n-5) \geq 25$	oke	oke	
Luas total strands (Aps)	$n.Adt$	1579.4496	1579.4496	mm ²
Luas total tul. tarik (As)	$n.Ad$	1963.4954	3926.9908	mm ²
Luas total tul. tekan (As')	$n.Ad$	981.7477	1963.4954	mm ²
fpe	$fpe > 0,5.f_{pu} = \text{pendekatan}$	1006.8385	1006.8385	Mpa
0,5.fpu	$fpe < 0,5.f_{pu} = \text{kесerasian}$	931	931	Mpa
	regangan	cara pendekatan	cara pendekatan	
Cek tegangan pada kondisi beban kerja				
ct	$1/2.h$	450	450	mm
e	$ct-(sb+Ds+D+smin+1/2*b \text{ tend})$	310	290	mm
dp	$ct+e$	760	740	mm
Ac	$b.h$	360000	360000	mm ²
Ic	$1/12.b.h^3$	24300000000	24300000000	mm ⁴
$r^2=Ic/Ac$		67500	67500	mm ²
e^2		96100	84100	mm ²
e^2/r^2		1.4237	1.2459	
$E_c=4700.\text{akar}(f'c)$		29725.41	29725.41	Mpa
$P_i = Aps.f_{pi}$		2058654.609	2058654.609	N
$P_e = Aps.f_{pe}$		1590250.672	1590250.672	N
$St = 1/6.b.h^2$		54000000	54000000	mm ³
MD SAP		874228800	874228800	N-mm
Mtotal		1479378500	2127714200	N-mm
f'c		40	40	Mpa
f'ci = 0,8.f'c		32	32	Mpa
Tegangan tekan ijin pada saat transfer prategang				
fci tengah bentang = 0,60.f'ci		19.2	19.2	Mpa
fci tumpuan = 0,70.f'ci		22.4	22.4	Mpa
Tegangan tarik ijin pada saat transfer prategang				
fti tengah bentang = 0,25.akar(f'ci)		1.414213562	1.414213562	Mpa
fti tumpuan = 0,50.akar(f'ci)		2.828427125	2.828427125	Mpa
Tegangan tekan ijin setelah kehilangan prategang				
fc = 0,45.f'c (beban tetap saja)		18	18	Mpa
fc = 0,6.f'c (beban total)		24	24	Mpa
Tegangan tarik ijin setelah kehilangan prategang				
ft penampang tak retak = 1,0.akar(f'c)		6.32455532	6.32455532	Mpa
ft penampang retak > 1,0.akar(f'c)				
Cek tegangan penampang pada saat transfer prategang				
		Lapangan	Tumpuan	
Tegangan serat atas (Ft) Lap	Tegangan serat atas (Ft) Tum	Tekan	Tarik	
$Ft = -Pi/Ac.(1-ee.ct/r^2)-MD/St$	$Ft = -Pi/Ac.(1-ee.ct/r^2)$	-10.08970486	5.337252689	Mpa
Syarat = $ft \leq f_{ti}$ ijin		19.2	2.828427125	Mpa
		oke	tidak oke	
Tegangan serat bawah (Fb) Lap	Tegangan serat bawah (Fb) Tum	Tekan	Tekan	
$Fb = -Pi/Ac.(1+ec.cb/r^2)+MD/Sb$	$Fb = -Pi/Ac.(1+ec.cb/r^2)$	-1.347265185	-16.77422274	Mpa
Syarat = $fb \leq f_{bi}$ ijin		1.414213562	22.4	Mpa
		oke	oke	

Tabel 5.25 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan lentur balok prategang pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Cek tegangan penampang sesudah kehilangan prategang				
		Lapangan	Tumpuan	
Tegangan serat atas (Ft) Lap	Tegangan serat atas (Ft) Tum	Tekan	Tarik	
$Ft = -Pe/Ac.(1-ee.ct/r^2)-MD/St$	$Ft = -Pe/Ac.(1-ee.ct/r^2)$	-11.47756838	4.122872113	Mpa
Syarat = $ft \leq f_{ti}$ ijin		18	6.32455532	Mpa
		oke	oke	
Tegangan serat bawah (Fb) Lap	Tegangan serat bawah (Fb) Tum	Tarik	Tekan	
$Fb = -Pe/Ac.(1+ec.cb/r^2)+MD/Sb$	$Fb = -Pe/Ac.(1+ec.cb/r^2)$	2.642842423	-12.95759807	Mpa
Syarat = $fb \leq f_{bi}$ ijin		6.32455532	18	Mpa
		oke	oke	
Cek tegangan akhir penampang pada kondisi beban kerja				
		Lapangan	Tumpuan	
Tegangan serat atas (Ft) Lap	Tegangan serat atas (Ft) Tum	Tekan	Tarik	
$Ft = -Pe/Ac.(1-ee.ct/r^2)-MT/St$	$Ft = -Pe/Ac.(1-ee.ct/r^2)$	-22.6840443	4.122872113	Mpa
Syarat = $ft \leq f_{ti}$ ijin		24	6.32455532	Mpa
		oke	oke	
Tegangan serat bawah (Fb) Lap	Tegangan serat bawah (Fb) Tum	Tarik	Tekan	
$Fb = -Pe/Ac.(1+ec.cb/r^2)+MT/Sb$	$Fb = -Pe/Ac.(1+ec.cb/r^2)$	13.84931835	-12.95759807	Mpa
Syarat = $fb \leq f_{bi}$ ijin		6.32455532	24	Mpa
		tidak oke	oke	
Cek momen retak penampang				
$fr = 0,62.\lambda.akar(f'c)$		3.921224299	3.921224299	Mpa
Momen retak (M_{cr}) = $fr.Sb+Pe.(e+r^2/cb)$		943261421.3	911456407.9	N-mm
Momen kelebihan beban = $MT-M_{cr}$		536117078.7	1216257792	N-mm
$MT > M_{cr}$ = berarti balok ini mempunyai retak tarik pada kondisi beban kerja		536.1170787	1216.257792	kN-m
Untuk menjamin penulangan non prategang memadai $MT > 1,2 M_{cr}$				
Momen total atau momen ultimit (MT)		1479378500	2127714200	N-mm
$1,2.M_{cr}$		1131913706	1093747689	N-mm
$MT > 1,2.M_{cr}$		memadai	memadai	
Desain penulangan angkur				
b tendon pelat angkur			150	mm
h tendon pelat angkur			150	mm
Luas pengankuran (A') = $(btendon).(htendon)$			262400	mm ²
Luas beton (A_c) = $b.h$			360000	mm ²
Penulangan vertikal				
$M_b = \pi/8.[H-(htendon)]$			192998869.6	N-mm
$T_b = M_b/(H/2)$			428886.3768	N
$A_s \text{ perlu} = T_b/f_y \text{ sengkang}$			1787.02657	mm ²
Sengkang diletakkan di daerah $0,2 h - 1,0 h$				
Lokasi $0,2.h$			180	mm
diambil $0,8 h$			720	mm
Luas sengkang (A_s) = $2.1/4.\pi.D^2$			157.0796327	mm ²
Kebutuhan tulangan ($n \text{ perlu}$) = $A_s \text{ perlu}/A_s$			11.37656448	buah
Jarak sengkang perlu $s = (0.8h-0.2h)/n \text{ perlu}$			47.46599915	mm
Dipakai jarak sengkang			30	mm

Tabel 5.25 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan lentur balok prategang pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Lapangan (M+)	Tumpuan (M-)	Satuan
Penulangan horisontal				
$M_b = \pi/8 \cdot [b \cdot (b_{tendon})]$			64332956.52	N-mm
$T_b = M_b / (b/2)$			321664.7826	N
$A_s \text{ perlu} = T_b / f_y \text{ sengkang}$			1340.269928	mm ²
Sengkang diletakkan di daerah 0,2 b - 1,0 b				
Lokasi 0,2.b			80	mm
diambil 1,0 b			400	mm
Luas sengkang (A_s) = $2.1/4 \cdot \pi \cdot D^2$			157.0796327	mm ²
Kebutuhan tulangan (n perlu) = $A_s \text{ perlu} / A_s$			8.532423362	buah
Jarak sengkang perlu s = $(0.8b - 0.2b) / n \text{ perlu}$			37.50399933	mm
Dipakai jarak sengkang			30	mm
Analisis tegangan nominal strands prategang (fps) untuk tendon terlekat				
$f_{py} = 0,80 f_{pu}$ untuk batang prategang berkekuatan tinggi				
$f_{py} = 0,85 f_{pu}$ untuk stress-relieved strands				
$f_{py} = 0,90 f_{pu}$ untuk strands relaksasi rendah				
Nilai faktor γ_p	$\gamma_p = 0,55$, jika $f_{py}/f_{pu} \geq 0,80$			
	$\gamma_p = 0,40$, jika $f_{py}/f_{pu} \geq 0,85$			
	$\gamma_p = 0,28$, jika $f_{py}/f_{pu} \geq 0,90$			
f_{py}/f_{pu}		0.85	0.85	
γ_p pakai		0.40	0.40	
ρ_p	$A_{ps} / (b \cdot d_p)$	0.00520	0.00534	
ω	$(A_s \cdot f_y) / (b \cdot d \cdot f_c)$	0.05861	0.12083	
ω'	$(A_s' \cdot f_y) / (b \cdot d \cdot f_c)$	0.02931	0.06042	
$f_{ps} = f_{pu} \cdot [1 - \gamma_p / \beta_1 \cdot (\rho_p \cdot f_{pu} / f_c + d / d_p \cdot (\omega - \omega'))]$		1594.8419	1555.2999	Mpa
Analisis momen nominal penampang bertulangan kurang				
tinggi blok ekuivalen penampang (a)				
$a = (A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_c \cdot b)$		214.0935	238.3762	mm
$c = a / \beta_1$		280.1223296	311.894059	mm
Cek tulangan tekan $\epsilon_s' = \epsilon_c \cdot ((c - d') / c)$		0.00233065	0.002398834	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
Penulangan minimum non prategang $> 0,004 \cdot A_c$				
$A_c = 1/2 \cdot A_c$		180000	180000	mm ²
$0,004 \cdot A_c$		720	720	mm ²
A_s		1963.4954	3926.9908	mm ²
$A_s > 0,004 \cdot A_c$		oke	oke	
Untuk menjamin perilaku daktail, persentase penulangan sedemikian hingga indeks penulangan ω_t tidak melebihi $0,36 \cdot \beta_1$				
$\omega_t = \omega_p$ (prategang saja)	$\rho_p \cdot (f_{ps} / f_c)$	0.207152	0.207476	
$d / d_p \cdot (\omega - \omega')$		0.032294332	0.066334304	
ω_t (rangkap non prategang)	$\omega_p + d / d_p \cdot (\omega - \omega')$	0.239447	0.273810	
$0,36 \cdot \beta_1$		0.275143	0.275143	
		oke daktail	oke daktail	
Kuat momen nominal untuk penampang bertulangan kurang (M_n)				
$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot (d_p - a/2) + A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) + A_s' \cdot f_y \cdot (a/2 - d')$				kN-m
M_n		2235.9614	2688.6100	kN-m
M_n yang dibutuhkan		1849.2231	2659.6428	
		oke	oke	



Gambar 5.33 Rekapitulasi desain tulangan lentur balok prategang

5.7.3 Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Balok Prategang

Berikut ini adalah perhitungan tulangan sengkang balok prategang (BP) bentang 18 meter, dimensi 400 mm x 900 mm, akibat beban geser V_u maks = 581,131 kN.

1. Data penampang

- Digunakan ϕ geser = 0,75
- Gaya geser nominal yang dibutuhkan (V_n)
 $V_n = V_u / \phi = 581,131 / 0,75 = 774,8413 \text{ kN}$
- Diameter tulangan sengkang (D_s) = 10 mm
- Luas tulangan sengkang (A_d) = 78,5398 mm²
- Kuat leleh sengkang (f_y) = 240 Mpa
- Jumlah kaki (n) = 2 buah
- Luas tulangan total (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_d \times n \text{ kaki} \\
 &= 78,5398 \times 2
 \end{aligned}$$

$$= 157,0796 \text{ mm}^2$$

h. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (d')

$$\begin{aligned} d' &= s_b + d_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan} \\ &= 40 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

i. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (d)

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 900 - 62,5 \\ &= 837,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan kuat geser badan (V_c)

Gaya geser badan (V_c) adalah sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 400 \times 837,5 \\ &= 353121,0054 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Perhitungan kuat geser sengkang (V_s)

Kuat geser sengkang (V_s) harus kurang dari V_s maks

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{40} \times 400 \times 837,5 \\ &= 1412484,0215 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= V_n - V_c \\ &= 774841,3 - 353121,0054 \\ &= 421720,3279 \text{ N} < V_s \text{ maks} = 1412484,0215 \text{ N (oke)} \end{aligned}$$

4. Luas tulangan sengkang (A_v) yang dibutuhkan adalah yang terbesar dari berikut ini, dengan jarak (s) per meter = 1000 mm

$$\begin{aligned} A_{v1} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\ &= \frac{421720,3279 \times 1000}{240 \times 837,5} \\ &= 2098,1111 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v2} &= \frac{b \times s}{3 \times f_y} \\ &= \frac{400 \times 1000}{3 \times 240} \\ &= 555,5556 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v3} &= \frac{75 \times \sqrt{f_c} \times b \times s}{1200 \times f_y} \\ &= \frac{75 \times \sqrt{40} \times 400 \times 1000}{1200 \times 240} \\ &= 658,8078 \text{ mm}^2/\text{m}' \end{aligned}$$

Jadi A_v yang dibutuhkan adalah $A_{v1} = 2098,1111 \text{ mm}^2/\text{m}'$

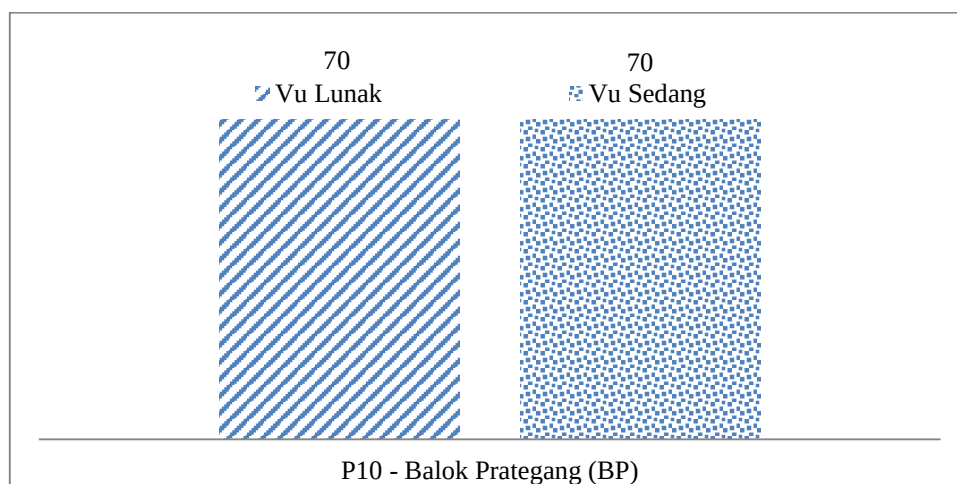
Jarak sengkang (s) yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} s &= \frac{s}{A_{v \text{ pakai}} / A_{stot}} \\ &= \frac{1000}{2098,1111 / 157,0796} \\ &= 74,8672 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi dipakai jarak sengkang (s) = 70 mm

Tabel 5.26 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang balok prategang

Desain Tulangan Sengkang Balok Prategang (BP)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
V_u		581.131	581.131	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
V_n	V_u/ϕ	774.8413	774.8413	kN
Lebar (b)		400	400	mm
Tinggi (h)		900	900	mm
f'_c		40	40	Mpa
f_y sengkang		240	240	Mpa
Selimut beton (sb)		40	40	mm
Jarak tulangan (smin)		25	25	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		25	25	mm
D sengkang (Ds)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
Luas tulangan (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (Astot)	n kaki. Ads	157.0796	157.0796	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2 D$	62.5	62.5	mm
d	$h - d'$	837.5	837.5	mm
V_c	$1/6 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	353121.0054	353121.0054	N
V_s maks	$2/3 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	1412484.0215	1412484.0215	N
V_s	$V_n - V_c$	421720.3279	421720.3279	N
$V_s < V_s$ maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (A_v) adalah yang terbesar dari berikut ini				
Av_1	$(V_s \cdot s)/(f_y \cdot d)$	2098.1111	2098.1111	mm ² /m'
Av_2	$(b \cdot s)/(3 \cdot f_y)$	555.5556	555.5556	mm ² /m'
Av_3	$[75 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot s]/[1200 \cdot f_y]$	658.8078	658.8078	mm ² /m'
Av pakai		2098.1111	2098.1111	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s/(Av \text{ pakai}/Astot)$	74.8672	74.8672	mm
Dipakai jarak		70	70	mm



Gambar 5.34 Hasil desain jarak sengkang balok prategang

5.8 PERHITUNGAN DESAIN KOLOM BETON BERTULANG

Dalam subbab ini, perhitungan desain penampang kolom meliputi desain tulangan longitudinal akibat lentur dan desain tulangan sengkang akibat gaya geser. Penampang kolom ini merupakan beton bertulang yang terdiri dari 2 tipikal, yaitu kolom tipikal 1 (K1) dan kolom tipikal 2 (K2). Kolom didesain sebagai penampang segiempat dengan tulangan pada keempat sisinya. Analisis struktur dari SAP2000, ditinjau pada kondisi tanah lunak dan kondisi tanah sedang. Pertama-tama akan dijelaskan detail perhitungan pada kolom 1, kemudian perhitungan dan pembahasan selanjutnya, akan disajikan dalam bentuk tabel dan *chart*.

5.8.1 Hasil Analisis Struktur Kolom Tipikal 1

Berikut ini adalah hasil analisis struktur SAP2000 untuk kolom tipikal 1 (K1) berdimensi 1200 mm x 1200 mm.

Tabel 5.27 Hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1

SAP-LUNAK Kolom Tipikal 1 (K1)				SAP-SEDANG Kolom Tipikal 1 (K1)			
Kolom 1 (K1) Lantai 1				Kolom 1 (K1) Lantai 1			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
7233.637	2627.4885	-2627.4885	704.93	7233.555	1822.7494	-1822.7494	578.536
Kolom 1 (K1) Lantai 2				Kolom 1 (K1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
5425.568	2329.8169	-2329.8169	920.053	5425.494	1905.1437	-1905.1437	799.97
Kolom 1 (K1) Lantai 3				Kolom 1 (K1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
3618.873	1454.8346	-1454.8346	736.712	3618.816	1283.8171	-1283.8171	630.297
Kolom 1 (K1) Lantai 4				Kolom 1 (K1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1814.208	2471.8161	-2471.8162	937.026	1814.181	2281.6548	-2281.6548	931.376

Berikut ini adalah nilai maksimum dari gaya-gaya dalam hasil analisis struktur SAP2000, pada kolom tipikal 1 (K1). Kolom ini ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

1. Kondisi tanah lunak:

- a. nilai gaya aksial maksimum (P) = 7233,6370 kN
- b. nilai geser maksimum (V) = 937,0260 kN
- c. nilai momen negatif maksimum (M-) = -2627,4885 kN-m
- d. nilai momen positif maksimum (M+) = 2627,4885 kN-m

2. Kondisi tanah sedang:

- a. nilai gaya aksial maksimum (P) = 7233,5550 kN
- b. nilai geser maksimum (V) = 931,3760 kN
- c. nilai momen negatif maksimum (M-) = -2281,6548 kN-m
- d. nilai momen positif maksimum (M+) = 2281,6548 kN-m

5.8.2 Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal Kolom Tipikal 1

Beikut ini adalah perhitungan tulangan longitudinal kolom tipikal 1 (K1) akibat momen $M_u = 2627,4885$ kN-m dan aksial $P_u = 7233,6370$ kN.

1. Data penampang

- a. Gaya aksial (P_u) = 7233,6370 kN
- b. Momen maksimum (M_u) = 2627,4885 kN-m
- c. Digunakan $\phi = 0,65$
- d. Gaya aksial nominal yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} P_n &= P_u / \phi \\ &= 7233,6370 / 0,65 \\ &= 11556,1613 \text{ kN} \end{aligned}$$

- e. Momen nominal yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} M_n &= M_u / \phi \\ &= 2627,4885 / 0,65 \\ &= 4042,2900 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

f. Kekuatan material beton $f'_c = 30 \text{ Mpa}$

g. Faktor β_1 menurut SNI 2847-2013:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (f'_c - 28)}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\frac{0,05 \cdot (30 - 28)}{7} \right) \\ &= 0,84 \geq 0,65\end{aligned}$$

h. Kekuatan material baja $f_y = 400 \text{ Mpa}$

i. Modulus elastisitas baja (E_s) = 200000 Mpa

j. Lebar kolom (b) = 1200 mm

k. Tinggi kolom (h) = 1200 mm

l. Tinggi efektif (d'):

$$\begin{aligned}d' &= s_b + ds_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} D \text{ longitudinal} \\ &= 50 + 10 + \frac{1}{2} \times 25 \\ &= 72,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

m. Tinggi efektif (d):

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 1200 - 72,5 \\ &= 1127,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

n. Digunakan tulangan longitudinal diameter (D) = 25 mm

o. Digunakan tulangan sengkang diameter (D_s) = 10 mm

p. Luas tulangan tarik diameter 25 mm (A_d) = $490,8739 \text{ mm}^2$

q. Luas tulangan tekan diameter 25 mm (A_d') = $490,8739 \text{ mm}^2$

r. Jumlah tulangan tarik (n) = 11 buah

s. Jumlah tulangan tekan (n') = 11 buah

t. Luas tulangan tarik (A_s):

$$A_s = n \times A_d$$

$$= 11 \times 490,8739$$

$$= 5399,6124 \text{ mm}^2$$

u. Luas tulangan tekan (A_s'):

$$A_s' = n \times A_d'$$

$$= 11 \times 490,8739$$

$$= 5399,6124 \text{ mm}^2$$

v. Luas penampang (A_g):

$$A_g = b \times h$$

$$= 1200 \times 1200$$

$$= 1440000 \text{ mm}^2$$

w. Regangan leleh baja (ϵ_y):

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

$$= \frac{400}{200000}$$

$$= 0,0020$$

2. Kondisi seimbang (*balanced*)

Kondisi keruntuhan seimbang (*balanced*) tercapai apabila tulangan tarik tepat mengalami regangan lelehnya (ϵ_y) dan pada saat itu juga beton mencapai regangan batasnya (ϵ_{cu}) = 0,003 dan mulai hancur.

$$c_b = \left(\frac{d \times \epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + (f_y/E_s)} \right)$$

$$= \left(\frac{1127,50 \times 0,003}{0,003 + (400/200000)} \right)$$

$$= 676,50 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \times c_b$$

$$= 0,84 \times 676,50$$

$$= 565,3607 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= \frac{cb-d'}{cb} \times \epsilon_c \\ &= \frac{674,10 - 72,5}{674,10} \times 0,003\end{aligned}$$

$$= 0,0026595 > \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tekan sudah leleh.}$$

$$\epsilon_s' > \epsilon_y, \text{ berarti baja tekan sudah leleh, jadi dipakai } f_s' = f_y$$

$$\begin{aligned}f_s' \text{ jika belum leleh} &= E_s \times \epsilon_s' \\ &= 200000 \times 0,0026595 \\ &= 535,6984 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$f_s' \text{ jika sudah leleh} = f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan } f_s' \text{ pakai} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d - cb}{cb} \\ &= 0,003 \times \frac{1127,50 - 676,50}{676,50} \\ &= 0,002678 = \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tarik sudah leleh.}\end{aligned}$$

$$f_s' \text{ jika sudah leleh} = f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Beban aksial nominal (P_{nb}) dan momen nominal (M_{nb}) pada kondisi balanced adalah :

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f'_c \times b \times a_b \\ &= 0,85 \times 30 \times 1200 \times 565,3607 \\ &= 17300037,86 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s' \times (f_y - 0,85 \times f'_c) \\ &= 5399,6124 \times (400 - 0,85 \times 30)\end{aligned}$$

$$= 2022154,834 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 5399,6124 \times 400 \\ &= 2159844,949 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + C_s - T_s \\ &= 17300037,86 + 2022154,834 - 2159844,949 \\ &= 17162347,74 \text{ N} \\ &= 17162,3477 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= C_c [(0,5h - (ab/2)) + C_s (0,5ht - d') + T_s (d - 0,5ht)] \\ &= 17300037,86 \times [(0,5 \times 1200 - (565,3607/2))] + 2022154,834 \\ &= \times (0,5 \times 1200 - 72,5) + 2159844,949 \times (1127,50 - 0,5 \times 1200) \\ &= 7695646720 \text{ N-mm} \\ &= 7695,6467 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \\ &= \frac{7695646720}{17162347,74} \\ &= 448,4029 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Kondisi beban sentris

Kapasitas beban aksial nominal penampang pada kolom bersengkang tidak boleh diambil lebih besar daripada berikut ini.

$$\begin{aligned} P_n \max &= 0,80.[0,85 \times f'_c \times (A_g - A_s') + f_y \times A_s'] \\ &= 0,80.[(0,85 \times 30 \times (1440000 - 5399,6124) + 400 \times 5399,6124] \\ &= 30993724 \text{ N} \\ &= 30993,724 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Kondisi tekan menentukan ($c > c_b$)

Keruntuhan tekan terjadi jika regangan beton tekan mencapai regangan maksimum (ϵ_c), sedangkan regangan tulangan tarik belum mencapai regangan lelehnya (ϵ_y). [$e < e_b$ atau $P_n > P_{nb}$].

$$c_b = 676,50 \text{ mm}$$

$$c \text{ coba} = 800 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,84 \times 800 \\ &= 668,5714 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= h/2 \\ &= 1200/2 \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{c - d'}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{800 - 72,5}{800} \\ &= 0,002728 > \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tekan sudah leleh} \end{aligned}$$

$$f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d - c}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{1127,50 - 800}{800} \\ &= 0,001228 < \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tarik belum leleh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,001228 \times 200000 \\ &= 245,6250 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Beban aksial nominal (P_n) dan momen nominal (M_n) pada kondisi tekan menentukan adalah :

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'_c \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 1200 \times 668,5714 \\ &= 20458285,71 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= 5399,6124 \times 400 \\ &= 2159844,949 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_s \\ &= 5399,6124 \times 245,6250 \\ &= 1326279,789 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 20458285,71 + 2159844,949 - 1326279,789 \\ &= 21291850,87 \text{ N} \\ &= 21291,8508 \text{ kN} > P_{nb} = 17161,3477 \text{ kN (oke)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c [(y - (a/2))] + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= 20458285,71 \times [(600 - (668,5714/2))] + 2159844,949 \\ &= \times (600 - 72,5) + 1326279,789 \times (1127,50 - 600) \\ &= 7274989575 \text{ N-mm} \\ &= 7274.9896 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= M_n/P_n \\ &= 7274989575/21291850,87 \\ &= 341.6795 \text{ mm} < e_b = 448,9061 \text{ mm (oke)} \end{aligned}$$

5. Kondisi tarik menentukan ($c < c_b$)

Keruntuhan terjadi jika regangan beton tekan mencapai regangan maksimum (ϵ_c) dengan didahului tercapainya tegangan leleh pada tulangan tarik (ϵ_y). [$e > e_b$ atau $P_n < P_{nb}$].

$$c_b = 676,50 \text{ mm}$$

$$c \text{ coba} = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,84 \times 300 \\ &= 250,7143 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= h/2 \\ &= 1200/2 \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \epsilon_c \times \frac{d - c}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{1127,50 - 300}{300} \\ &= 0,008275 < \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tarik sudah leleh} \end{aligned}$$

$$f_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \epsilon_c \times \frac{c - d'}{c} \\ &= 0,003 \times \frac{300 - 72,5}{300} \\ &= 0,002275 > \epsilon_y = 0,0020, \text{ maka tulangan tekan juga sudah leleh} \end{aligned}$$

$$f_s' = f_y = 400 \text{ Mpa}$$

Beban aksial nominal (P_n) dan momen nominal (M_n) pada kondisi tarik menentukan adalah :

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$= 0,85 \times 30 \times 1200 \times 250,7143$$

$$= 7671857,143 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \times f_s'$$

$$= 5399,6124 \times 400$$

$$= 2159844,949 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \times f_s$$

$$= 5399,6124 \times 400$$

$$= 2159844,949 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$= 7671857,143 + 2159844,949 - 2159844,949$$

$$= 7671857,143 \text{ N}$$

$$= 7671,8571 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c [(y - (a/2)) + C_s (y - d') + T_s (d - y)]$$

$$= 7671857,143 \times [(600 - (250,7143/2)) + 2159844,949$$

$$\times (600 - 72,5) + 2159844,949 \times (1127,50 - 600)]$$

$$= 5920028615 \text{ N-mm}$$

$$= 5920.0286 \text{ kN-m}$$

6. Kondisi lentur murni ($P_n = 0$)

Dalam kondisi ini, kolom hanya menahan momen lentur saja.

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{5399,6124 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1200} \\ &= 70,5832 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = a/\beta_1$$

$$= 70,5832 / 0,84$$

$$= 84,4585 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$= 5399,6124 \times 400 \times (1127,50 - 70,5832/2)$$

$$= 2359000831 \text{ N-mm}$$

$$= 2359.0008 \text{ kN-m}$$

5.8.3 Perhitungan Desain Tulangan Sengkang Kolom Tipikal 1

Berikut ini adalah perhitungan desain tulangan sengkang pada kolom tipikal 1 (K1) dengan dimensi 1200 mm x 1200 mm, akibat beban geser V_u maks = 937,026 kN.

1. Data penampang

a. Digunakan ϕ geser = 0,75

b. Gaya geser nominal yang dibutuhkan (V_n)

$$\begin{aligned} V_n &= V_u / \phi \\ &= 937,026 / 0,75 \\ &= 1249,3680 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Diameter tulangan sengkang (D_s) = 10 mm

d. Luas tulangan sengkang (A_d)

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,5398 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

e. Kuat leleh sengkang (f_y) = 400 Mpa

f. Jumlah kaki (n) = 2 buah

g. Luas tulangan total (A_s)

$$A_s = A_d \times n \text{ kaki}$$

$$= 78,5398 \times 2$$

$$= 157.0796 \text{ mm}^2$$

h. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan (d')

$$d' = s_b + d_{\text{sengkang}} + \frac{1}{2} \text{ jarak antar tulangan}$$

$$= 50 + 10 + \frac{1}{2} \times 25$$

$$= 72,5 \text{ mm}$$

i. Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik (d)

$$d = h - d'$$

$$= 1200 - 72,5$$

$$= 1127,50 \text{ mm}$$

2. Perhitungan kuat geser badan (V_c)

Gaya geser badan (V_c) adalah sebagai berikut ini.

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g}\right) \times \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d\right)$$

$$= \left(1 + \frac{7233637}{14 \times 1440000}\right) \times \left(\frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 1200 \times 1127,50\right)$$

$$= 1678287.4319 \text{ N}$$

$$V_{c2} = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 1200 \times 1127,50$$

$$= 1235114.3672 \text{ N}$$

$$V_c \text{ pakai} = V_{c2} = 1235114.3672 \text{ N}$$

3. Perhitungan kuat geser sengkang (V_s)

Kuat geser sengkang (V_s) harus kurang dari V_s maks

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ maks} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\
 &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30} \times 1200 \times 1127,50 \\
 &= 4940457.4687 \text{ N} \\
 V_s &= V_n - V_c \\
 &= 1249368 - 1235114.3672 \\
 &= 14253.6328 \text{ N} < V_s \text{ maks} = 4940457.4687 \text{ N (oke)}
 \end{aligned}$$

4. Luas tulangan sengkang (A_v) yang dibutuhkan adalah yang terbesar dari berikut ini, dengan jarak (s) per meter = 1000 mm

$$\begin{aligned}
 A_{v1} &= \frac{V_s \times s}{f_y \times d} \\
 &= \frac{14253,6328 \times 1000}{400 \times 1127,50} \\
 &= 52.6742 \text{ mm}^2/\text{m}' \\
 A_{v2} &= \frac{b \times s}{3 \times f_y} \\
 &= \frac{1200 \times 1000}{3 \times 400} \\
 &= 1666.6667 \text{ mm}^2/\text{m}' \\
 A_{v3} &= \frac{75 \times \sqrt{f_c} \times b \times s}{1200 \times f_y} \\
 &= \frac{75 \times \sqrt{30} \times 1200 \times 1000}{1200 \times 400} \\
 &= 1711.6330 \text{ mm}^2/\text{m}'
 \end{aligned}$$

Jadi A_v yang dibutuhkan adalah $A_{v3} = 1711.6330 \text{ mm}^2/\text{m}'$

Jarak sengkang (s) yang dibutuhkan:

$$s = \frac{s}{A_{v \text{ pakai}} / A_{stot}}$$

$$= \frac{1000}{1711,6330 / 157,0796}$$

$$= 91.7718 \text{ mm}$$

Jadi dipakai jarak sengkang (s) = 90 mm, dengan tulangan P10 - 2 kaki

5.8.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Struktur

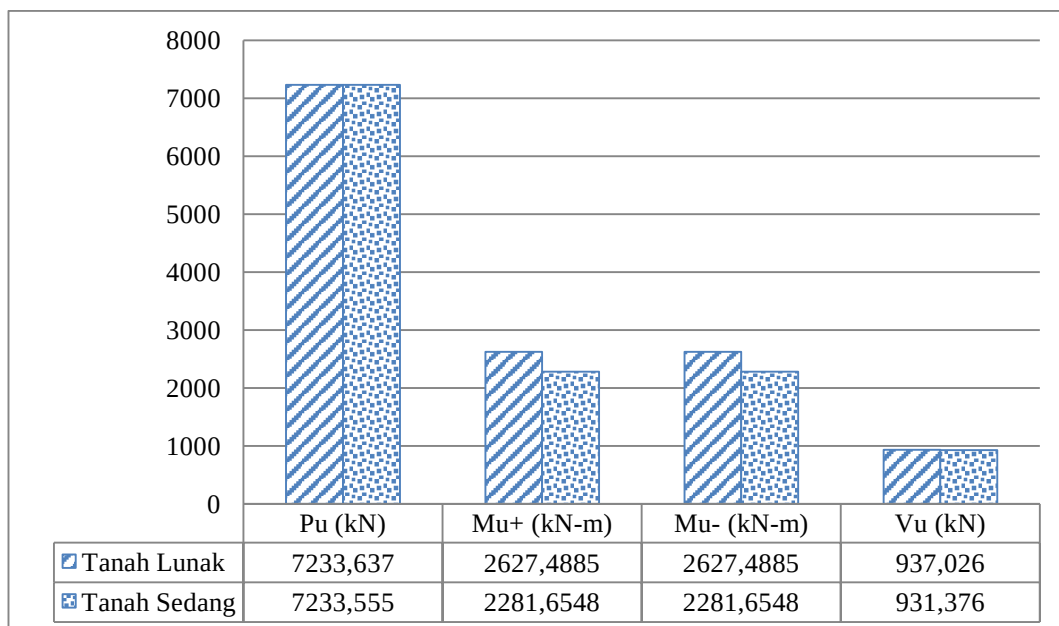
Berikut ini adalah rekapitulasi hasil analisis struktur, pada kolom beton bertulang tipikal 1 (K1) dan kolom tipikal 2 (K2) pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.28 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1

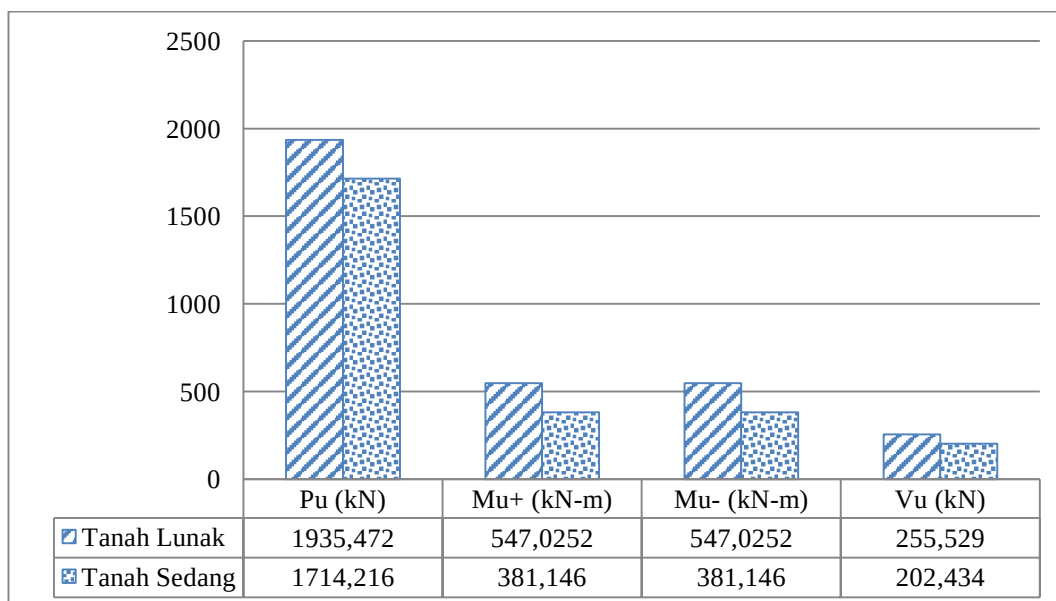
SAP-LUNAK Kolom Tipikal 1 (K1)				SAP-SEDANG Kolom Tipikal 1 (K1)			
Kolom 1 (K1) Lantai 1				Kolom 1 (K1) Lantai 1			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
7233.637	2627.4885	-2627.4885	704.93	7233.555	1822.7494	-1822.7494	578.536
Kolom 1 (K1) Lantai 2				Kolom 1 (K1) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
5425.568	2329.8169	-2329.8169	920.053	5425.494	1905.1437	-1905.1437	799.97
Kolom 1 (K1) Lantai 3				Kolom 1 (K1) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
3618.873	1454.8346	-1454.8346	736.712	3618.816	1283.8171	-1283.8171	630.297
Kolom 1 (K1) Lantai 4				Kolom 1 (K1) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1814.208	2471.8161	-2471.8162	937.026	1814.181	2281.6548	-2281.6548	931.376

Tabel 5.29 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 2

SAP-LUNAK Kolom Tipikal 2 (K2)				SAP-SEDANG Kolom Tipikal 2 (K2)			
Kolom 2 (K2) Lantai 1				Kolom 2 (K2) Lantai 1			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1935.472	547.0252	547.0252	255.529	1714.216	381.146	381.146	202.434
Kolom 2 (K2) Lantai 2				Kolom 2 (K2) Lantai 2			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
1493.659	295.978	295.978	98.928	1314.631	195.8418	195.8418	66.793
Kolom 2 (K2) Lantai 3				Kolom 2 (K2) Lantai 3			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
983.282	209.9727	209.9727	90.956	867.841	143.6029	143.6029	62.539
Kolom 2 (K2) Lantai 4				Kolom 2 (K2) Lantai 4			
Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY				Kombinasi 1,2D+1,6L+1EY			
Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)	Aksial (P)	Momen (M+)	Momen (M-)	Geser (V)
470.633	200.5223	200.5223	70.134	417.46	139.3541	139.3541	53.163



Gambar 5.35 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 1



Gambar 5.36 Rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam kolom tipikal 2

Dari hasil gaya-gaya dalam analisis struktur SAP2000 tersebut, pada kolom 1 (K1) diperoleh nilai momen lentur dan gaya geser yang berbeda, tetapi nilai pada gaya aksial kolom tersebut hampir sama. Perilaku lentur dan geser kolom 1 di daerah tanah lunak lebih besar daripada di daerah tanah sedang. Sedangkan pada perilaku aksial kolom 1 tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Hal ini dapat dipahami bahwa pengaruh beban gempa pada kolom 1, hanya pada perilaku lentur dan geser penampang, sedangkan pada perilaku aksial, lebih dominan terhadap beban gravitasi.

Pada kolom 2 (K2) diperoleh nilai gaya aksial, momen lentur dan gaya geser yang berbeda. Gaya-gaya dalam pada kondisi tanah lunak lebih besar daripada kondisi tanah sedang. Hal ini mengindikasikan adanya pengaruh gempa pada kolom 2, yang mengakibatkan nilai ketiga gaya-gaya dalam tersebut berbeda.

5.8.5 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Longitudinal

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal, pada kolom beton bertulang tipikal 1 (K1) dan kolom tipikal 2 (K2), yang ditinjau pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.30 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 1 pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
Pu		7233.6370	7233.5550	kN
Mu		2627.4885	2281.6548	kN-m
ϕ kolom sengkang		0.65	0.65	
Pn yang dibutuhkan		11128.67	11128.55	kN
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	4042.2900	3510.2382	kN-m
b		1200	1200	mm
h		1200	1200	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		50	50	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	25	25	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		40	40	mm
Luas longitudinal (Ad)	$1/4 \cdot \pi \cdot D^2$	490.8739	490.8739	mm ²
Luas sengkang (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2 \cdot D$	72.5	72.5	mm
d 1 lapis	$h - d'$	1127.5	1127.5	mm
d 2 lapis	$h - (sb + D_s + D + 1/2 \cdot s_{min})$	1095	1095	mm
d pakai		1127.50	1127.50	mm
β_1	$0,85 - ((0,05 \cdot (f'_c - 28))/7) \leq 0,65$	0.84	0.84	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
m	$f_y / (0,85 \cdot f'_c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1 / m \cdot [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Luas penampang (Ag)	$b \cdot h$	1440000	1440000	mm ²
dipakai tul. Tarik (n)		11	10	buah
dipakai tul. Tekan (n')		11	10	buah
Luas tul. Tarik (As)	$n \cdot A_d$	5399.6124	4908.7385	mm ²
Luas tul. Tekan (As')	$n' \cdot A_d$	5399.6124	4908.7385	mm ²
Kondisi Seimbang (Balanced)				
Keadaan seimbang terjadi jika regangan tekan beton mencapai maksimum, dan bersamaan dengan itu regangan tarik tepat mencapai regangan leleh				
cb	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y / E_s)]$	676.50	676.50	mm
ab	$\beta_1 \cdot cb$	565.3607	565.3607	mm
y	$h/2$	600	600	mm
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(cb - d') / cb]$	0.002678492	0.002678492	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	535.6984	535.6984	Mpa
f's jika sudah leleh	$f'_s = f_y$	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d - cb) / cb]$	0.002000	0.002000	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		sudah leleh	sudah leleh	

Tabel 5.30 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 1 pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	400	400	Mpa
fs jika sudah leleh	$f_s = f_y$	400	400	Mpa
fs pakai		400	400	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot ab$	17300037.86	17300037.86	N
Cs	$A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'c)$	2022154.834	1838322.576	N
Ts	$A_s \cdot f_y$	2159844.949	1963495.408	N
Pnb	$Cc + Cs - Ts$	17162347.74	17174865.02	N
		17162.3477	17174.8650	kN
Mnb = Pnb.eb	$Cc \cdot (y-a/2) + Cs \cdot (y-d') + Ts \cdot (d-y)$			
Mnb		7695646720	7495100821	N-mm
		7695.6467	7495.1008	kN-m
eb	Mnb/Pnb	448.4029	436.3994	mm
Kondisi Beban Sentris ($M_n = 0$)				
Pn max	$0,80 \cdot [(0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_s') + f_y \cdot A_s')]$			
Pn max		30993724	30846658	N
		30993.724	30846.658	kN
Kondisi Tekan Menentukan ($c > c_b$)				
Keruntuhan terjadi jika regangan beton tekan telah mencapai regangan maksimum, sedangkan regangan tulangan tarik belum mencapai regangan leleh. [$e < e_b$ atau $P_n > P_{nb}$]				
c_b	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y / E_s)]$	676.50	676.50	mm
ab	$\beta_1 \cdot c_b$	565.3607	565.3607	mm
c coba	$c > c_b$	800	800	mm
a	$\beta_1 \cdot c$	668.5714	668.5714	mm
y	$h/2$	600	600	mm
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(c-d')/c]$	0.002728	0.002728	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	545.6250	545.6250	Mpa
f's jika sudah leleh	$f'_s = f_y$	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d-c)/c]$	0.001228	0.001228	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		belum leleh	belum leleh	
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	245.6250	245.6250	Mpa
fs jika sudah leleh	$f_s = f_y$	400	400	Mpa
fs pakai		245.6250	245.6250	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a$	20458285.71	20458285.71	N
Cs	$A'_s \cdot f'_s$	2159844.949	1963495.408	N
Ts	$A_s \cdot f_s$	1326279.789	1205708.899	N
Pn	$Cc + Cs - Ts \leq P_n \text{ maks}$	21291850.87	21216072.22	N
		21291.8509	21216.0722	kN
Pnb		17162.3477	17174.8650	kN
$P_n > P_{nb}$		oke	oke	
Mn	$Cc \cdot (y-a/2) + Cs \cdot (y-d') + Ts \cdot (d-y)$			
Mn		7274989575	7107814048	N-mm
		7274.9896	7107.8140	kN-m

Tabel 5.30 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 1 pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
e	M_n/P_n	341.6795	335.0203	mm
eb		448.4029	436.3994	mm
e < eb		oke	oke	mm
Kondisi Tarik Menentukan (c < cb)				
Keruntuhan terjadi jika regangan beton tekan mencapai regangan maksimum dengan didahului tercapainya tegangan leleh pada tulangan tarik. [e>eb atau $P_n < P_{nb}$]				
cb	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y / E_s)]$	676.50	676.50	mm
ab	$\beta_1 \cdot c_b$	565.3607	565.3607	mm
c coba	c < cb	300	300	mm
a	$\beta_1 \cdot c$	250.7143	250.7143	mm
y	h/2	600	600	mm
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d-c)/c]$	0.008275	0.008275	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		sudah leleh	sudah leleh	
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	1655	1655	Mpa
fs jika sudah leleh	$f_s = f_y$	400	400	Mpa
fs pakai		400	400	Mpa
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(c-d')/c]$	0.002275	0.002275	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	455	455	Mpa
f's jika sudah leleh	$f'_s = f_y$	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$	7671857.143	7671857.143	N
Cs	$A'_s \cdot f'_s$	2159844.949	1963495.408	N
Ts	$A_s \cdot f_s$	2159844.949	1963495.408	N
P_n	$C_c + C_s - T_s \leq P_n \text{ maks}$	7671857.143	7671857.143	N
		7671.8571	7671.8571	kN
P_{nb}		17162.3477	17174.8650	kN
$P_n < P_{nb}$		oke	oke	
M_n	$C_c \cdot (y-a/2) + C_s \cdot (y-d') + T_s \cdot (d-y)$			
M_n		5920028615	5712879850	N-mm
		5920.0286	5712.8798	kN-m
e	M_n/P_n	771.6552	744.6541	mm
eb		448.4029	436.3994	mm
e > eb		oke	oke	
Kondisi Lentur Murni ($P_n = 0$)				
a	$(A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f'_c \cdot b)$	70.5832	64.1665	mm
c	a/β_1	84.4585	76.7804	mm
M_n	$A_s \cdot f_y \cdot (d-a/2)$	2359000831	2150845743	N-mm
		2359.0008	2150.8457	kN-m

Tabel 5.31 Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 2 pada kondisi tanah lunak dan sedang

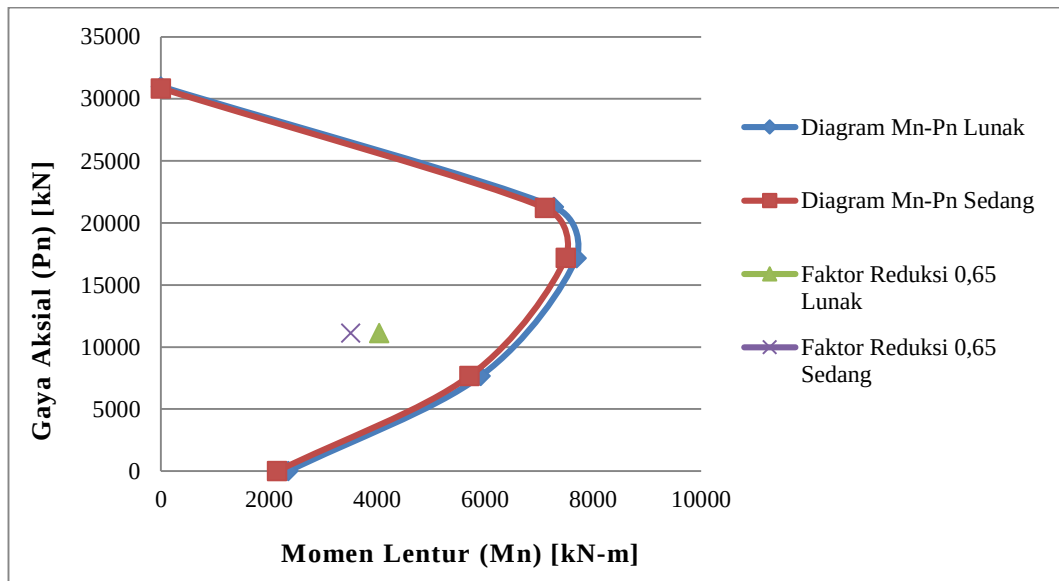
Desain Tulangan Longitudinal Kolom 2 (K2)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
Pu		1935.472	1714.216	kN
Mu		547.0252	381.146	kN-m
ϕ kolom sengkang		0.65	0.65	
Pn yang dibutuhkan		2977.65	2637.26	kN
Mn yang dibutuhkan	Mu/ϕ	841.5772	586.3785	kN-m
b		800	800	mm
h		800	800	mm
f'c		30	30	Mpa
fy longitudinal		400	400	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Es		200000	200000	Mpa
ϵ_c		0.003	0.003	
selimut beton		50	50	mm
diameter (D)	diameter longitudinal	16	16	mm
diameter (Ds)	diameter sengkang	10	10	mm
jarak tulangan min (st)		40	40	mm
Luas longitudinal (Ad)	$1/4 \cdot \pi \cdot D^2$	201.0619	201.0619	mm ²
Luas sengkang (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
d'	$sb + D_s + 1/2 \cdot D$	68	68	mm
d 1 lapis	$h - d'$	732	732	mm
d 2 lapis	$h - (sb + D_s + D + 1/2 \cdot s_{min})$	704	704	mm
d pakai		732	732	mm
β_1	$0,85 - ((0,05 \cdot (f'_c - 28)) / 7) \leq$	0.84	0.84	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
m	$f_y / (0,85 \cdot f'_c)$	15.6863	15.6863	
ρ_b	$\beta_1 / m \cdot [\epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_y)]$	0.03197	0.03197	
Luas penampang (Ag)	$b \cdot h$	640000	640000	mm ²
dipakai tul. Tarik (n)		7	5	buah
dipakai tul. Tekan (n')		7	5	buah
Luas tul. Tarik (As)	$n \cdot A_d$	1407.4335	1005.3096	mm ²
Luas tul. Tekan (As')	$n' \cdot A_d$	1407.4335	1005.3096	mm ²
Kondisi Seimbang (Balanced)				
Keadaan seimbang terjadi jika regangan tekan beton mencapai maksimum, dan bersamaan dengan itu regangan tarik tepat mencapai regangan leleh				
cb	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y / E_s)]$	439.20	439.20	mm
ab	$\beta_1 \cdot cb$	367.0457	367.0457	mm
y	$h/2$	400	400	mm
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(cb - d') / cb]$	0.002535519	0.002535519	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	507.1038	507.1038	Mpa
f's jika sudah leleh	$f'_s = f_y$	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d - cb) / cb]$	0.002000	0.002000	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		sudah leleh	sudah leleh	

Tabel 5.31 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 2 pada kondisi tanah lunak dan sedang

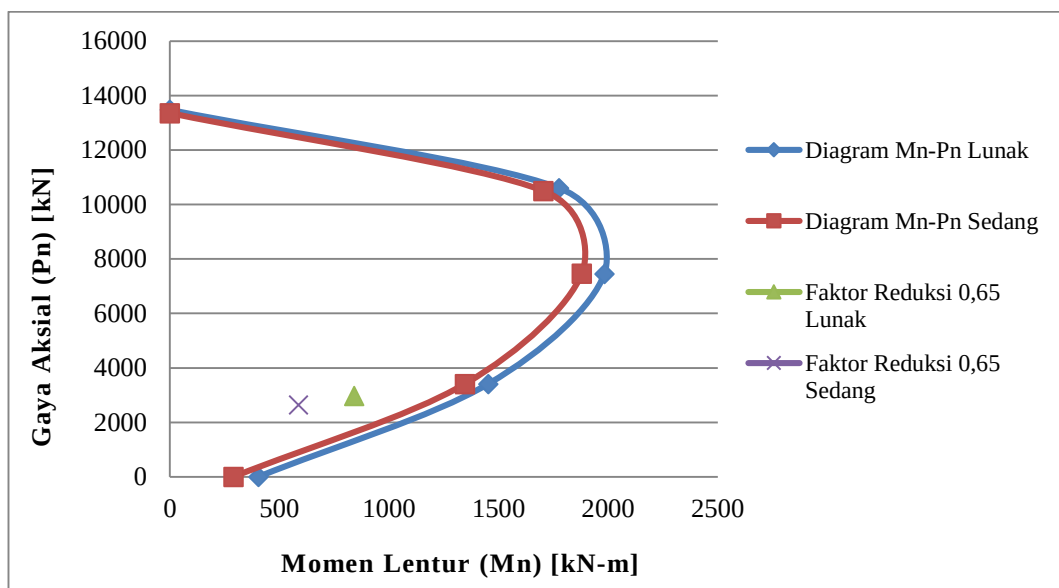
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	400	400	Mpa
fs jika sudah leleh	$f_s = f_y$	400	400	Mpa
fs pakai		400	400	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot ab$	7487732.571	7487732.571	N
Cs	$A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'c)$	527083.849	376488.4636	N
Ts	$A_s \cdot f_y$	562973.4035	402123.8597	N
Pnb	$Cc + Cs - Ts$	7451843.017	7462097.175	N
		7451.8430	7462.0972	kN
Mnb = Pnb.eb	$Cc \cdot (y - a/2) + Cs \cdot (y - d') + Ts \cdot (d - y)$			
Mnb		1982821961	1879422245	N-mm
		1982.821961	1879.422245	kN-m
eb	Mnb / Pnb	266.0848	251.8625	mm
Kondisi Beban Sentris ($M_n = 0$)				
Pn max	$0,80 \cdot [(0,85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_s') + f_y \cdot A_s')]$			
Pn max		13477667	13357191	N
		13477.667	13357.191	kN
Kondisi Tekan Menentukan ($c > c_b$)				
Keruntuhan terjadi jika regangan beton tekan telah mencapai regangan maksimum, sedangkan regangan tulangan tarik belum mencapai regangan leleh. [$e < e_b$ atau $P_n > P_{nb}$]				
c_b	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y / E_s)]$	439.20	439.20	mm
ab	$\beta_1 \cdot c_b$	367.0457	367.0457	mm
c coba	$c > c_b$	600	600	mm
a	$\beta_1 \cdot c$	501.4286	501.4286	mm
y	$h/2$	400	400	mm
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(c - d') / c]$	0.002660	0.002660	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		sudah leleh	sudah leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	532.0000	532.0000	Mpa
f's jika sudah leleh	$f'_s = f_y$	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d - c) / c]$	0.000660	0.000660	
ϵ_y	f_y / E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		belum leleh	belum leleh	
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	132.0000	132.0000	Mpa
fs jika sudah leleh	$f_s = f_y$	400	400	Mpa
fs pakai		132.0000	132.0000	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot a$	10229142.86	10229142.86	N
Cs	$A'_s \cdot f'_s$	562973.4035	402123.8597	N
Ts	$A_s \cdot f_s$	185781.2232	132700.8737	N
Pn	$Cc + Cs - Ts \leq P_n \text{ maks}$	10606335.04	10498565.84	N
		10606.33504	10498.56584	kN
Pnb		7451.8430	7462.0972	kN
$P_n > P_{nb}$		oke	oke	
Mn	$Cc \cdot (y - a/2) + Cs \cdot (y - d') + Ts \cdot (d - y)$			
Mn		1775651434	1704626709	N-mm
		1775.651434	1704.626709	kN-m

Tabel 5.31 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain tulangan longitudinal kolom tipikal 2 pada kondisi tanah lunak dan sedang

Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
e	M_n/P_n	167.4142319	162.3675781	mm
eb		266.0848	251.8625	mm
e < eb		oke	oke	mm
Kondisi Tarik Menentukan (c < cb)				
Keruntuhan terjadi jika regangan beton tekan mencapai regangan maksimum dengan didahului tercapainya tegangan leleh pada tulangan tarik. [e>eb atau $P_n < P_{nb}$]				
cb	$[(d \cdot \epsilon_c) / (\epsilon_c + f_y/E_s)]$	439.20	439.20	mm
ab	$\beta_1 \cdot cb$	367.0457	367.0457	mm
c coba	c < cb	200	200	mm
a	$\beta_1 \cdot c$	167.1429	167.1429	mm
y	h/2	400	400	mm
ϵ_s	$\epsilon_c \cdot [(d-c)/c]$	0.00798	0.00798	
ϵ_y	f_y/E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tarik		sudah leleh	sudah leleh	
fs jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon_s$	1596	1596	Mpa
fs jika sudah leleh	fs = fy	400	400	Mpa
fs pakai		400	400	Mpa
ϵ'_s	$\epsilon_c \cdot [(c-d')/c]$	0.00198	0.00198	
ϵ_y	f_y/E_s	0.0020	0.0020	
Tulangan tekan		belum leleh	belum leleh	
f's jika belum leleh	$E_s \cdot \epsilon'_s$	396	396	Mpa
f's jika sudah leleh	f's = fy	400	400	Mpa
f's pakai		400	400	Mpa
Cc	$0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$	3409714.286	3409714.286	N
Cs	A's.f's	562973.4035	402123.8597	N
Ts	As.fs	562973.4035	402123.8597	N
Pn	$Cc + Cs - Ts \leq P_n \text{ maks}$	3409714.286	3409714.286	N
		3409.714286	3409.714286	kN
Pnb		7451.8430	7462.0972	kN
$P_n < P_{nb}$		oke	oke	
Mn	$Cc \cdot (y-a/2) + Cs \cdot (y-d') + Ts \cdot (d-y)$			
Mn		1452745360	1345941263	N-mm
		1452.74536	1345.941263	kN-m
e	M_n/P_n	426.0607308	394.7372567	mm
eb		266.0848	251.8625	mm
e > eb		oke	oke	
Kondisi Lentur Murni ($P_n = 0$)				
a	$(A_s \cdot f_y) / (0,85 \cdot f'_c \cdot b)$	27.59673547	19.7119539	mm
c	a/β_1	33.02173475	23.58695339	mm
Mn	$A_s \cdot f_y \cdot (d-a/2)$	404328417.3	290391341.8	N-mm
		404.3284173	290.3913418	kN-m



Gambar 5.37 Diagram interaksi Mn-Pn kolom tipikal 1



Gambar 5.38 Diagram interaksi Mn-Pn kolom tipikal 2

5.8.6 Rekapitulasi Perhitungan Desain Tulangan Sengkang

Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan desain tulangan sengkang, pada kolom beton bertulang tipikal 1 (K1) dan kolom tipikal 2 (K2) pada kondisi tanah lunak dan tanah sedang.

Tabel 5.32 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang kolom tipikal 1

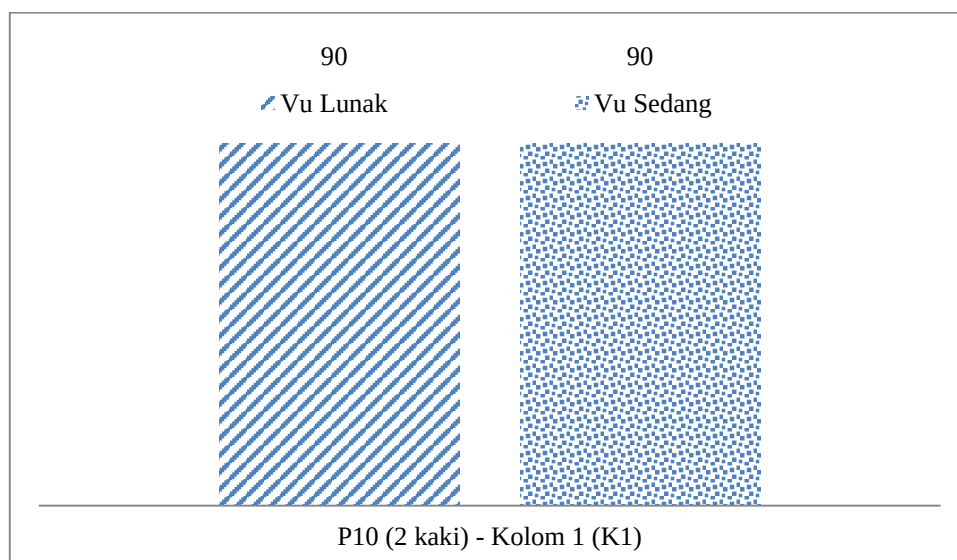
Desain Tulangan Sengkang Kolom Tipikal 1 (K1)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
Pu		7233.637	7233.555	kN
Vu		937.026	931.376	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
Vn	Vu/ϕ	1249.3680	1241.8347	kN
Lebar (b)		1200	1200	mm
Tinggi (h)		1200	1200	mm
f'c		30	30	Mpa
fy sengkang		240	240	Mpa
Selimit beton (sb)		50	50	mm
Jarak tulangan (smin)		40	40	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		25	25	mm
D sengkang (Ds)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
Ag	b.h	1440000	1440000	mm ²
Luas tulangan (Ads)	$1/4 \cdot \pi \cdot Ds^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (Astot)	n kaki.Ads	157.0796	157.0796	mm ²
d'	sb+Ds+1/2D	72.5	72.5	mm
d	h-d'	1127.50	1127.50	mm
Vc1	$(1+N_u/(14 \cdot A_g)) \cdot (akar f'c/6) \cdot b \cdot d$	1678287.4319	1678282.4082	N
Vc2	$1/6 \cdot akar(f'c) \cdot b \cdot d$	1235114.3672	1235114.3672	N
Vs maks	$2/3 \cdot akar(f'c) \cdot b \cdot d$	4940457.4687	4940457.4687	N
Vs1	Vn-Vc1	-428919.4319	-436447.7415	N
Vs2	Vn-Vc2	14253.6328	6720.2995	N
Vs pakai		14253.6328	6720.2995	N
Vs < Vs maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (Av) adalah yang terbesar dari berikut ini				
Av1	$(Vs.s)/(fy.d)$	52.6742	24.8348	mm ² /m'
Av2	$(b.s)/(3.fy)$	1666.6667	1666.6667	mm ² /m'
Av3	$[75 \cdot akar(f'c) \cdot b.s]/[1200.fy]$	1711.6330	1711.6330	mm ² /m'
Av pakai		1711.6330	1711.6330	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s/(Av \text{ pakai}/Astot)$	91.7718	91.7718	mm
Dipakai jarak		90	90	mm

Tabel 5.33 Rekapitulasi perhitungan desain sengkang kolom tipikal 2

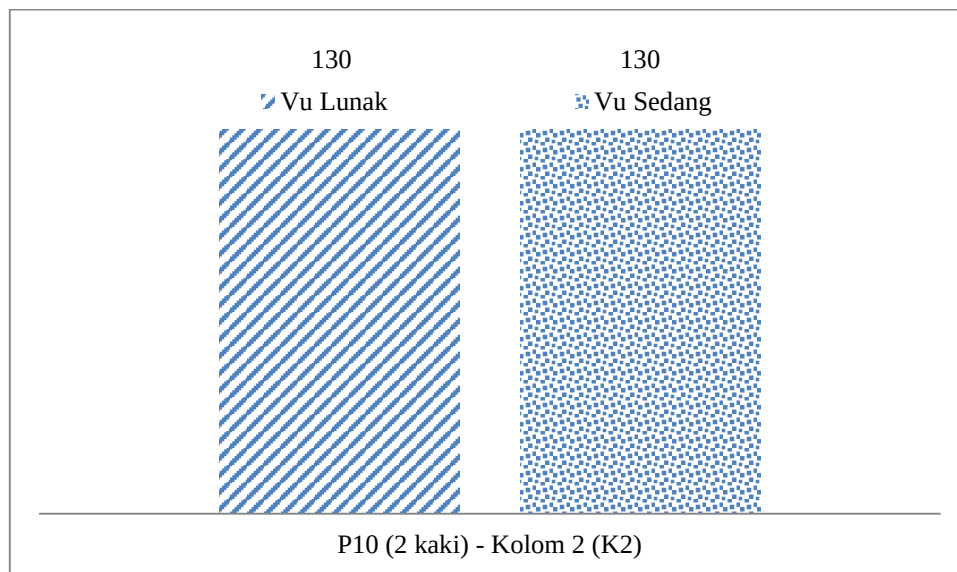
Desain Tulangan Sengkang Kolom Tipikal 2 (K2)				
Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
Pu		1935.472	1714.216	kN
Vu		255.529	202.434	kN
ϕ geser		0.75	0.75	
Vn	Vu/ϕ	340.7053	269.9120	kN
Lebar (b)		800	800	mm
Tinggi (h)		800	800	mm

Tabel 5.33 Lanjutan Rekapitulasi perhitungan desain sengkang kolom tipikal 2

Keterangan	Rumus Perhitungan	Tanah Lunak	Tanah Sedang	Satuan
f_c		30	30	Mpa
f_y sengkang		240	240	Mpa
Selimit beton (sb)		50	50	mm
Jarak tulangan (smin)		40	40	mm
Jumlah kaki (n)		2	2	buah
D longitudinal (D)		16	16	mm
D sengkang (Ds)		10	10	mm
jarak s per meter		1000	1000	mm
A_g	b.h	640000	640000	mm ²
Luas tulangan (A_{ds})	$1/4 \cdot \pi \cdot D_s^2$	78.5398	78.5398	mm ²
Luas total (A_{stot})	n kaki. A_{ds}	157.0796	157.0796	mm ²
d'	sb+Ds+1/2D	68.0	68.0	mm
d	h-d'	732.00	732.00	mm
V_{c1}	$(1+N_u/(14 \cdot A_g)) \cdot (\text{akar} f'_c/6) \cdot b \cdot d$	650052.577	636851.8609	N
V_{c2}	$1/6 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	534577.2161	534577.2161	N
V_s maks	$2/3 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot d$	2138308.8645	2138308.8645	N
V_{s1}	$V_n - V_{c1}$	-309347.2437	-366939.8609	N
V_{s2}	$V_n - V_{c2}$	-193871.8828	-264665.2161	N
V_s pakai		-193871.8828	-264665.2161	N
$V_s < V_s$ maks		oke	oke	
Luas tulangan sengkang yang dibutuhkan (A_v) adalah yang terbesar dari berikut ini				
A_{v1}	$(V_s \cdot s)/(f_y \cdot d)$	-1103.5512	-1506.5188	mm ² /m'
A_{v2}	$(b \cdot s)/(3 \cdot f_y)$	1111.1111	1111.1111	mm ² /m'
A_{v3}	$[75 \cdot \text{akar}(f'_c) \cdot b \cdot s]/[1200 \cdot f_y]$	1141.0887	1141.0887	mm ² /m'
A_v pakai		1141.0887	1141.0887	mm ² /m'
Jarak sengkang (s)	$s/(A_v \text{ pakai}/A_{stot})$	137.6577	137.6577	mm
Dipakai jarak		130	130	mm



Gambar 5.39 Hasil desain jarak sengkang kolom tipikal 1



Gambar 5.40 Hasil desain jarak sengkang kolom tipikal 2

5.9 SIMPANGAN STRUKTUR

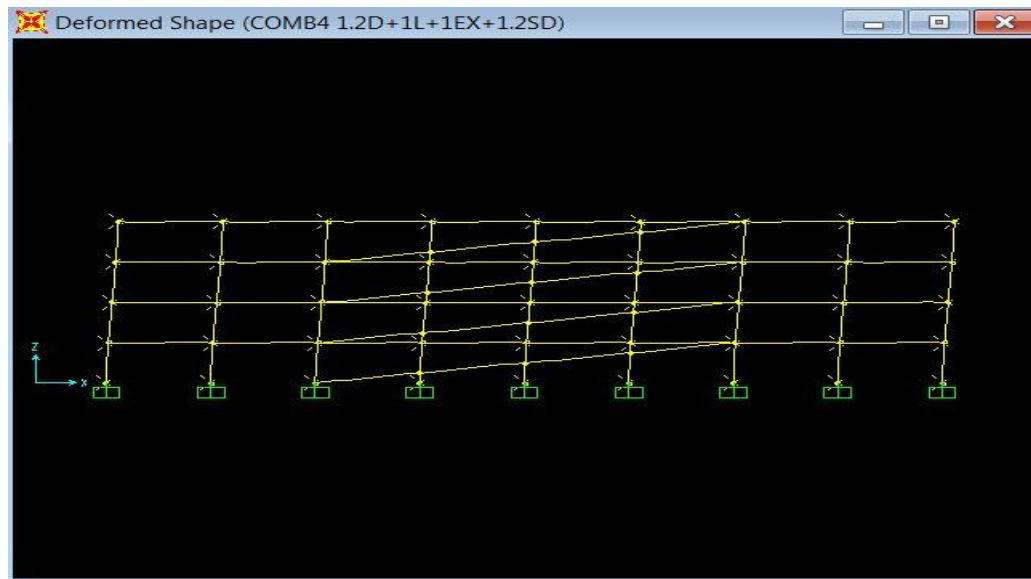
Simpangan dari suatu titik pada suatu tingkat ditentukan sebagai simpangan horizontal titik tersebut relatif terhadap titik yang sesuai pada tingkat dibawahnya.

Simpangan struktur terhadap gaya gempa harus dikontrol untuk membatasi terjadinya peretakan beton yang berlebihan, untuk mencegah kerusakan non struktural dan untuk mencegah ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar tingkat ini, dihitung dari nilai simpangan gedung tersebut akibat pengaruh gempa, yang diperoleh dari hasil analisa struktur SAP2000.

Hasil displacement dan nilai simpangan pada titik-titik puncak diperoleh setelah dilakukan analisa struktur dengan *Structure Analysis Program* (SAP2000 versi 14) dan diolah secara manual dengan *Microsoft Excel*. Sampel yang diambil untuk peninjauan adalah kolom tepi arah x dan arah y dengan kombinasi 1,2D+1L+1EX dan 1,2D+1L+1EY.

5.9.1 Simpangan Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X

Berikut ini merupakan simpangan maksimum, dari hasil analisis struktur SAP2000 yang ditinjau pada kolom tepi arah x dengan kombinasi 1,2D+1L+1EX.



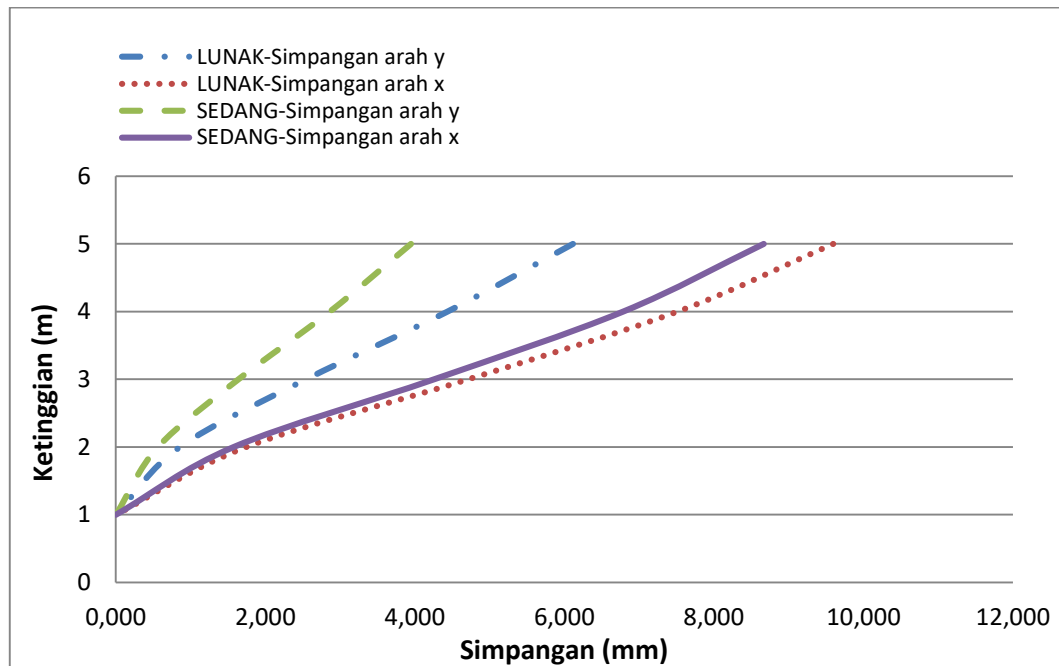
Gambar 5.41 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x

Tabel 5.34 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah lunak

	LUNAK-Simpangan pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X									
	Kolom 338		Kolom 339		Kolom 340		Kolom 341		Kolom 342	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	9.727	6.103	9.706	6.093	9.669	6.099	9.556	6.123	9.487	6.222
Lantai 4	7.581	4.458	7.617	4.447	7.793	4.488	7.6	4.449	7.469	4.478
Lantai 3	4.78	2.594	4.826	2.581	5.086	2.617	4.854	2.508	4.679	2.518
Lantai 2	1.739	0.857	1.795	0.851	2.064	0.878	1.902	0.842	1.779	0.916
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kolom 343		Kolom 344		Kolom 345		Kolom 346			
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
Lantai 5	9.467	6.226	9.448	6.049	9.641	6.066	9.667	6.065		
Lantai 4	7.36	4.465	7.213	4.361	7.47	4.397	7.518	4.382		
Lantai 3	4.528	2.569	4.344	2.491	4.632	2.524	4.681	2.509		
Lantai 2	1.648	0.939	1.453	0.803	1.643	0.816	1.674	0.807		
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabel 5.35 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah sedang

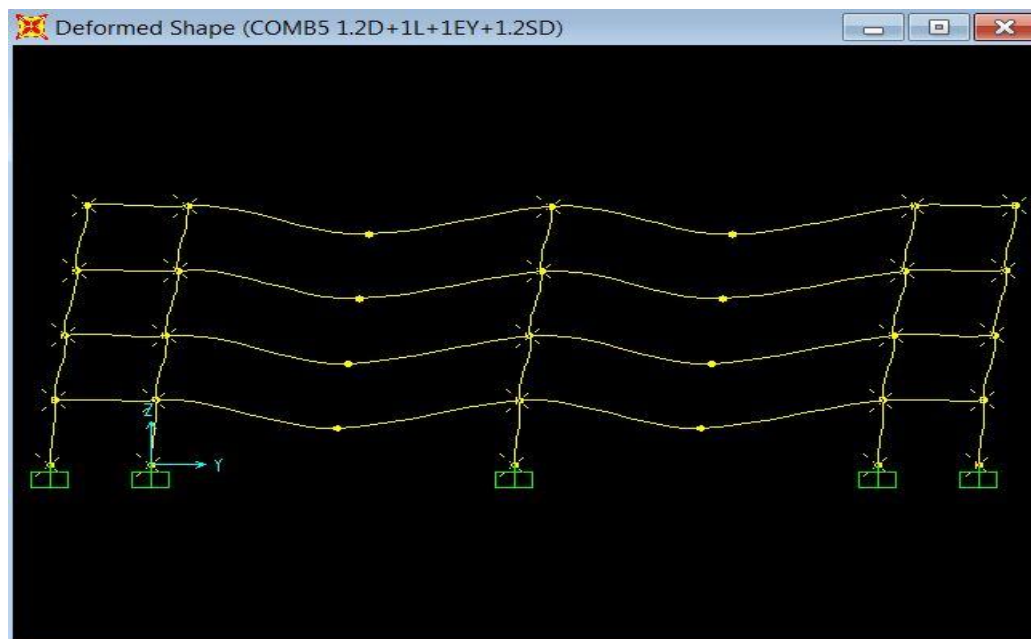
	SEDANG-Simpangan pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X									
	Kolom 338		Kolom 339		Kolom 340		Kolom 341		Kolom 342	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	8.787	3.931	8.766	3.923	8.732	3.928	8.629	3.938	8.566	4.054
Lantai 4	6.848	2.87	6.881	2.863	7.036	2.894	6.859	2.878	6.741	2.907
Lantai 3	4.319	1.673	4.36	1.665	4.593	1.688	4.381	1.603	4.222	1.614
Lantai 2	1.572	0.555	1.622	0.551	1.864	0.57	1.714	0.548	1.602	0.622
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kolom 343		Kolom 344		Kolom 345		Kolom 346			
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
Lantai 5	8.55	4.062	8.534	3.9	8.707	3.906	8.73	3.907		
Lantai 4	6.645	2.893	6.514	2.808	6.748	2.832	6.792	2.822		
Lantai 3	4.087	1.665	3.924	1.608	4.185	1.628	4.229	1.619		
Lantai 2	1.487	0.647	1.314	0.525	1.485	0.528	1.514	0.522		
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0		



Gambar 5.42 Grafik simpangan kolom tepi akibat gempa arah x

5.9.2 Simpangan Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y

Berikut ini merupakan simpangan maksimum, dari hasil analisis struktur SAP2000 yang ditinjau pada kolom tepi arah y dengan kombinasi 1,2D+1L+1EY.



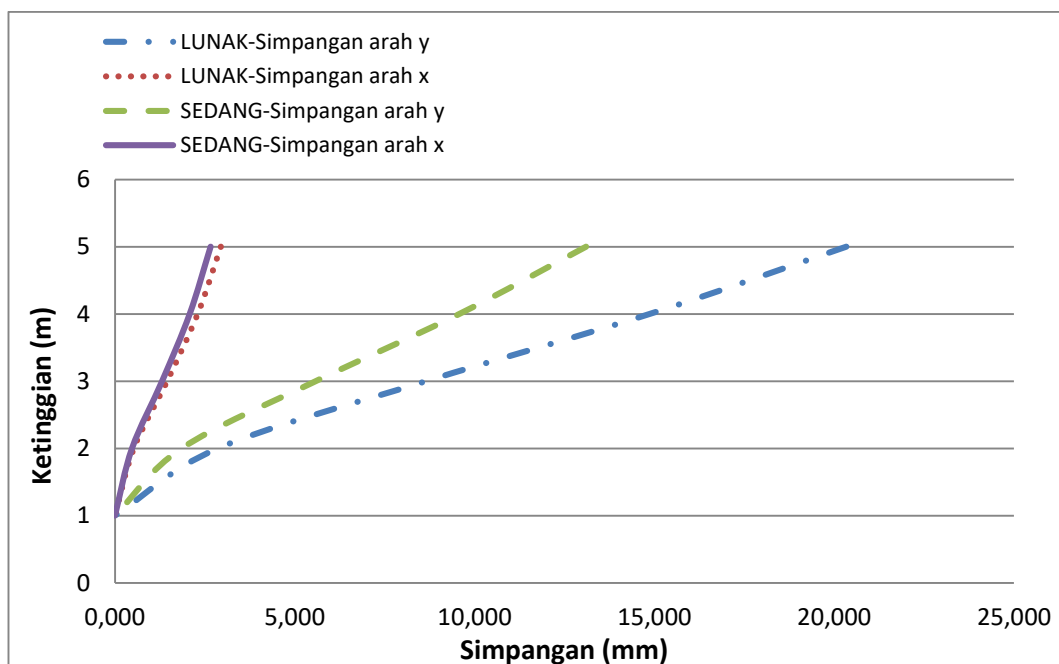
Gambar 5.43 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y

Tabel 5.36 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah lunak

	LUNAK-Simpangan pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y									
	Kolom 283		Kolom 292		Kolom 311		Kolom 329		Kolom 338	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	2.955	20.336	2.940	20.339	2.939	20.339	2.940	20.339	2.955	20.339
Lantai 4	2.301	14.865	2.302	14.879	2.300	14.879	2.302	14.879	2.301	14.862
Lantai 3	1.459	8.647	1.448	8.662	1.445	8.662	1.448	8.662	1.459	8.646
Lantai 2	0.528	2.857	0.526	2.871	0.522	2.871	0.526	2.871	0.528	2.856
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5.37 Simpangan kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah sedang

	SEDANG-Simpangan pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y									
	Kolom 283		Kolom 292		Kolom 311		Kolom 329		Kolom 338	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	2.672	13.097	2.658	13.099	2.658	13.099	2.658	13.099	2.672	13.100
Lantai 4	2.081	9.573	2.082	9.581	2.081	9.581	2.082	9.581	2.081	9.570
Lantai 3	1.320	5.579	1.309	5.588	1.308	5.588	1.309	5.588	1.320	5.578
Lantai 2	0.478	1.850	0.475	1.860	0.473	1.860	0.475	1.860	0.478	1.849
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.44 Grafik simpangan kolom tepi akibat gempa arah y

Dari hasil analisis akibat pembebanan gempa arah x dan arah y, terlihat bahwa nilai simpangan yang terjadi pada struktur dengan kondisi perletakan tanah

lunak memiliki nilai simpangan yang lebih besar dibandingkan pada struktur dengan perletakan tanah sedang. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh dari kekangan tanah pada perletakan tanah lunak lebih kecil daripada tanah sedang sehingga nilai simpangan yang terjadi pada kondisi tanah lunak tersebut akan lebih besar.

Simpangan struktur terhadap gaya gempa harus dikontrol untuk membatasi terjadinya peretakan beton yang berlebihan, untuk mencegah kerusakan non struktural dan untuk mencegah ketidaknyamanan penghuni. Dari hasil analisis struktur di atas, diperoleh hasil nilai simpangan maksimum sebesar 20,339 mm. Batasan simpangan antar tingkat (Δ_i) menurut SNI 03-1726-2012 tidak boleh melebihi nilai berikut ini.

$$\begin{aligned}\Delta_i \text{ ijin} &= 0,02 \times h \\ &= 0,02 \times 4000 \\ &= 80 \text{ mm} < \Delta_i \text{ maks} = 20,339 \text{ mm (oke)}\end{aligned}$$

5.10 STORY DRIFT STRUKTUR

Story drift dari suatu titik pada suatu tingkat ditentukan sebagai selisih simpangan horizontal titik tersebut relatif terhadap titik yang sesuai pada tingkat dibawahnya. Nilai *story drift* yang terjadi pada struktur bangunan, dapat mengidentifikasikan gaya geser yang terjadi pada kolom. Selain itu, besaran nilai *story drift* juga dapat dijadikan acuan awal, apakah struktur perlu untuk mempertimbangkan efek P-delta ($P-\Delta$).

Didalam analisis struktur nanti akan diketahui bahwa momen yang terjadi pada kolom yang mengalami goyangan akibat beban gempa nilainya merupakan fungsi langsung dari *story drift*. Apabila berhasil mengendalikan simpangan antar tingkat (*story drift control*), maka keberhasilan dalam desain bangunan tahan gempa dapat dicapai.

5.10.1 Story Drift Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X

Berikut ini merupakan *story drift* hasil analisis struktur SAP2000 yang ditinjau pada kolom tepi arah x dengan kombinasi 1,2D+1L+1EX.

Tabel 5.38 *Story drift* kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah lunak

	LUNAK-Story Drift pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X									
	Kolom 338		Kolom 339		Kolom 340		Kolom 341		Kolom 342	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	2.146	1.645	2.089	1.646	1.876	1.611	1.956	1.674	2.018	1.744
Lantai 4	2.801	1.864	2.791	1.866	2.707	1.871	2.746	1.941	2.79	1.96
Lantai 3	3.041	1.737	3.031	1.73	3.022	1.739	2.952	1.666	2.9	1.602
Lantai 2	1.739	0.857	1.795	0.851	2.064	0.878	1.902	0.842	1.779	0.916
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kolom 343		Kolom 344		Kolom 345		Kolom 346			
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
Lantai 5	2.107	1.761	2.235	1.688	2.171	1.669	2.149	1.683		
Lantai 4	2.832	1.896	2.869	1.87	2.838	1.873	2.837	1.873		
Lantai 3	2.88	1.63	2.891	1.688	2.989	1.708	3.007	1.702		
Lantai 2	1.648	0.939	1.453	0.803	1.643	0.816	1.674	0.807		
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0		

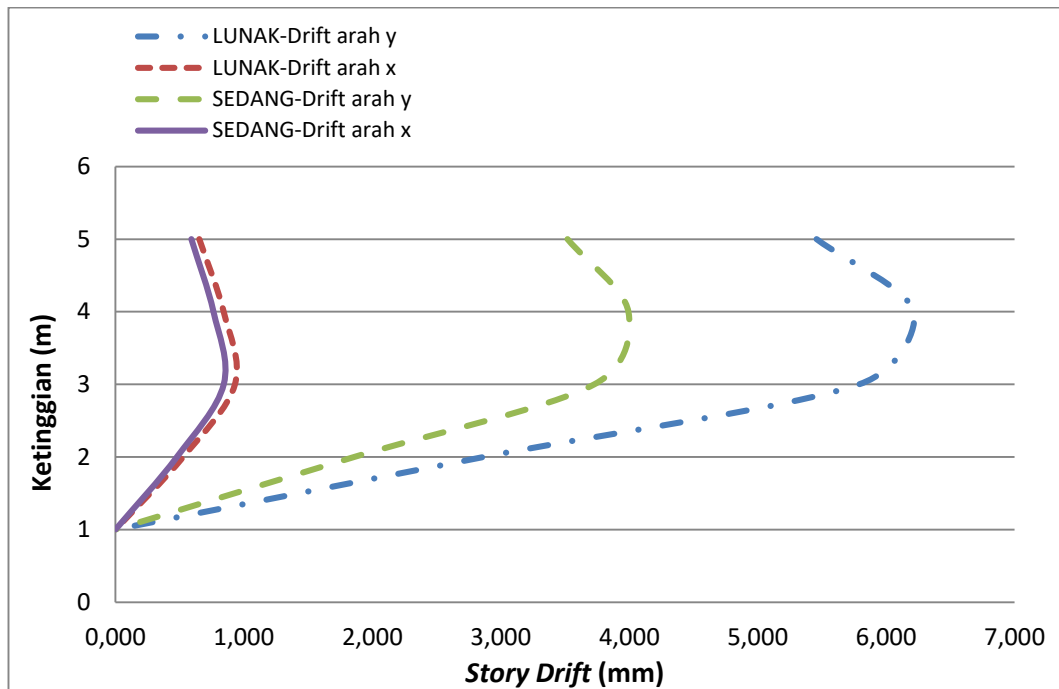
Tabel 5.39 *Story drift* kolom tepi akibat gempa arah x pada tanah sedang

	SEDANG-Story Drift pada Kolom Tepi Akibat Gempa Arah X									
	Kolom 338		Kolom 339		Kolom 340		Kolom 341		Kolom 342	
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy
Lantai 5	1.939	1.061	1.885	1.06	1.696	1.034	1.77	1.06	1.825	1.147
Lantai 4	2.529	1.197	2.521	1.198	2.443	1.206	2.478	1.275	2.519	1.293
Lantai 3	2.747	1.118	2.738	1.114	2.729	1.118	2.667	1.055	2.62	0.992
Lantai 2	1.572	0.555	1.622	0.551	1.864	0.57	1.714	0.548	1.602	0.622
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kolom 343		Kolom 344		Kolom 345		Kolom 346			
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy		
Lantai 5	1.905	1.169	2.02	1.092	1.959	1.074	1.938	1.085		
Lantai 4	2.558	1.228	2.59	1.2	2.563	1.204	2.563	1.203		
Lantai 3	2.6	1.018	2.61	1.083	2.7	1.1	2.715	1.097		
Lantai 2	1.487	0.647	1.314	0.525	1.485	0.528	1.514	0.522		
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	0	0		

5.10.2 Story Drift Struktur Kolom Tepi Akibat Gempa Arah Y

Tabel 5.40 *Story drift* kolom tepi akibat gempa arah y pada tanah lunak

[illegible][illegible]



Gambar 5.46 Grafik *story drift* kolom tepi akibat gempa arah y

Dari hasil analisis akibat pembebanan gempa arah x dan arah y, terlihat bahwa nilai *story drift* yang terjadi pada struktur dengan kondisi perletakan tanah lunak memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan pada struktur dengan perletakan tanah sedang. Terlihat dari grafik tersebut, nilai *story drift* yang terbesar tidak di tingkat ke 1, tetapi sedikit pada tingkat di atasnya, yaitu pada tingkat 3 dan 4.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis dari 2 variasi kelompok struktur, yaitu gedung parkir 5 lantai bentang 18 meter, pada zona gempa wilayah Jakarta, dimana pada masing-masing variasi dimodelkan dengan perletakan jepit, pada kondisi tanah lunak (varian 1) dan pada kondisi tanah sedang (varian 2), hasil dari analisis tersebut secara umum dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan perbandingan desain elemen struktur gedung parkir dengan balok prategang bentang panjang, yang ditinjau pada kondisi tanah sedang dan tanah lunak adalah sebagai berikut ini.
 - a. Struktur yang didesain pada kondisi tanah lunak (varian 1) memberikan hasil gaya-gaya dalam yang lebih besar daripada kondisi tanah sedang (varian 2) dengan selisih sebesar 18,4112 % untuk momen lentur, 7,5384 % untuk gaya geser dan 6,4541 % untuk gaya aksial.
 - b. Struktur yang didesain pada kondisi tanah lunak (varian 1) memberikan hasil kebutuhan tulangan struktur yang lebih besar 10,5298 % dari kondisi tanah sedang (varian 2).
2. Berdasarkan perilaku struktur gedung terhadap beban gempa, yang difokuskan pada simpangan struktur dan story drift adalah sebagai berikut ini.
 - a. Berdasarkan perilaku simpangan struktur pada kolom tepi bangunan, kondisi pada tanah lunak (varian 1) memberikan nilai yang lebih besar daripada kondisi pada tanah sedang (varian 2) dengan selisih 32,4557 %.
 - b. Berdasarkan perilaku *story drift* yang terjadi, struktur dengan kondisi pada tanah lunak (varian 1) memberikan nilai yang lebih besar daripada kondisi pada tanah sedang (varian 2) dengan selisih sebesar 31,6908 %.
 - c. Pengaruh dari kekangan tanah pada kondisi tanah lunak (varian 1) menghasilkan nilai yang lebih besar daripada kondisi tanah sedang

(varian 2). Hal ini menunjukkan adanya pengaruh dari kondisi tanah terhadap beban gempa pada analisis struktur yang telah dilakukan.

6.2 SARAN

Dari analisis yang telah dilakukan, maka diharapkan untuk penelitian lebih lanjut dapat memenuhi beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Perlu untuk mempertimbangkan sistem struktur dinding geser, sebagai sistem pengaku tambahan yang dapat dipakai untuk mengurangi atau mengendalikan besaran nilai dari gaya-gaya dalam yang terjadi.
2. Dalam pemodelan struktur terhadap pembebanan gempa, perlu untuk meninjau analisis struktur terhadap beban dinamik yang berupa *time history*.
3. Untuk perencanaan geometri denah gedung parkir, perlu untuk menggunakan *software archicad*, agar dalam merencanakan dimensi penampang struktur dapat diperoleh hasil yang lebih akurat dan lebih baik.
4. Dalam perencanaan balok prategang bentang panjang, perlu untuk mempertimbangkan pemodelan balok I, balok T, maupun balok T ganda, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik sebagai perbandingan.
5. Perlu untuk dilakukan analisis struktur, dengan mempertimbangkan penggunaan material beton prategang pada kolom, yang memikul balok bentang panjang, agar diperoleh dimensi kolom yang lebih langsing.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318, 2011, *Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary*, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2010, (<http://sp2010.bps.go.id/>). Diakses 5 September 2016.
- Budiadi, A., 2008, *Desain Praktis Beton Prategang*, Edisi Pertama, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 1998, *Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir*, Departemen Perhubungan, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 1996, *Pedoman Teknis Penyelenggaraan Fasilitas Parkir*, Departemen Perhubungan, Jakarta.
- Hermawan, R. M., 2012, *Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Puncak Permai dengan Menggunakan Balok Beton Pratekan pada Lantai 15 sebagai Ruang Pertemuan*, Jurnal, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kelvin, 2014, *Perencanaan Portal Bangunan Bertingkat 10 dengan Menggunakan Prestressed Concrete Sesuai dengan ACI 318-05*, Jurnal Teknik Sipil, Vol.3 No.1, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Lin, T. Y., 1982, *Desain Struktur Beton Prategang*, Edisi Ketiga versi SI, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Lin, T. Y., 1982, *Desain Struktur Beton Prategang*, Edisi Ketiga versi SI, Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCormac, Jack C., 2003, *Desain Beton Bertulang*, Edisi Kelima, Jilid 1, Terjemahan oleh Sumargo, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- McCormac, Jack C., 2003, *Desain Beton Bertulang*, Edisi Kelima, Jilid 2, Terjemahan oleh Sumargo, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E. G., 1990, *Beton Bertulang*, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, Penerbit PT. Eresco, Jakarta.
- Nawy, E. G., 2001, *Beton Prategang*, Edisi Ketiga, Jilid 1, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E. G., 2001, *Beton Prategang*, Edisi Ketiga, Jilid 2, Terjemahan oleh Bambang Suryoatmono, Penerbit Erlangga, Jakarta.

- Nobel, A., 2012, *Studi Perilaku Struktur Gedung dengan Kolom Miring Beton Bertulang Bentang Panjang terhadap Beban Gempa*. Tugas Akhir Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Peraturan Indonesia SKBI 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Peraturan Indonesia SNI 1726 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Peraturan Indonesia SNI 2847 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Perdana, S. W. A., 2009, *Perancangan Struktur Gedung Parkir Menara Bossowa*. Jurnal Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Setiadi, R. R., 2012, *Studi Perilaku Struktur Gedung Akibat Pengaruh Gempa dengan Mempertimbangkan Efek Soil-Structure Interaction*. Tugas Akhir Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis pembebanan dengan SAP2000

Location | Assignments | **Loads**

Identification

Label: 126_P1_LT5

Load Pattern	LIVE
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	3.93
Distribution Type	Two way
Load Pattern	SUPER DEAD
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	0.42
Distribution Type	Two way

Assign Load...

KN, m, C

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

1. Beban pada pelat

Tabular Data

Load Pattern	TENSION
Load Type	Force
Jack From This Location	I-End (Start)
Tendon End Force (KN)	1962.
Tendon End Stress (KN/m ²)	
Curvature Coefficient (Unitless)	0.
Wobble Coefficient (1/m)	0.
Anchorage Set Slip (m)	0.
Loss - Elastic Shortening Stress (KN/m ²)	0.
Loss - Creep Stress (KN/m ²)	0.
Loss - Shrinkage Stress (KN/m ²)	0.
Loss - Steel Relaxation Stress (KN/m ²)	0.

Units

KN, m, C

Done

2. Beban pada tendon

Location | Assignments | **Loads** | Design

Identification

Label: Design Procedure:

Load Pattern	SUPER DEAD
Distributed Force	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Start Force/Length	2.5 at 0.
End Force/Length	2.5 at 7.5

Assign Load...

Reset All

Update Display

Modify Display

OK

Cancel

Double click white background cell to edit item.

3. Beban pada dinding

Function Name: Function Damping Ratio:

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat/Long.

☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code

☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees):

Site Longitude (degrees):

Site Zip Code (5-Digits):

0.2 Sec Spectral Accel, Ss:

1 Sec Spectral Accel, S1:

Long-Period Transition Period:

Site Class:

Site Coefficient Fa:

Site Coefficient Fv:

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = (2/3) * Fa * Ss:

SD1 = (2/3) * Fv * S1:

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.2427
0.1753	0.6067
0.8764	0.6067
1.	0.5317
1.2	0.4431
1.4	0.3798
1.6	0.3323
1.8	0.2954
2.	0.2658

Add

Modify

Delete

Function Graph

Display Graph

(0.0663, 0.3804)

4. Response spectrum pada tanah lunak

Function Name
IBCSNI-SEDANG

Function Damping Ratio
0.05

Parameters

☐ Ss and S1 from USGS - by Lat/Long.
☐ Ss and S1 from USGS - by Zip Code
☒ Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees) ?
Site Longitude (degrees) ?
Site Zip Code (5-Digits) ?
0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0.65
1 Sec Spectral Accel, S1 0.275
Long-Period Transition Period 8

Site Class D
Site Coefficient, Fa 1.28
Site Coefficient, Fv 1.85

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = (2/3) * Fa * Ss 0.5547
SD1 = (2/3) * Fv * S1 0.3392

Convert to User Defined

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.2219
0.1223	0.5547
0.6115	0.5547
0.8	0.424
1.	0.3392
1.2	0.2826
1.4	0.2423
1.6	0.212
1.8	0.1884

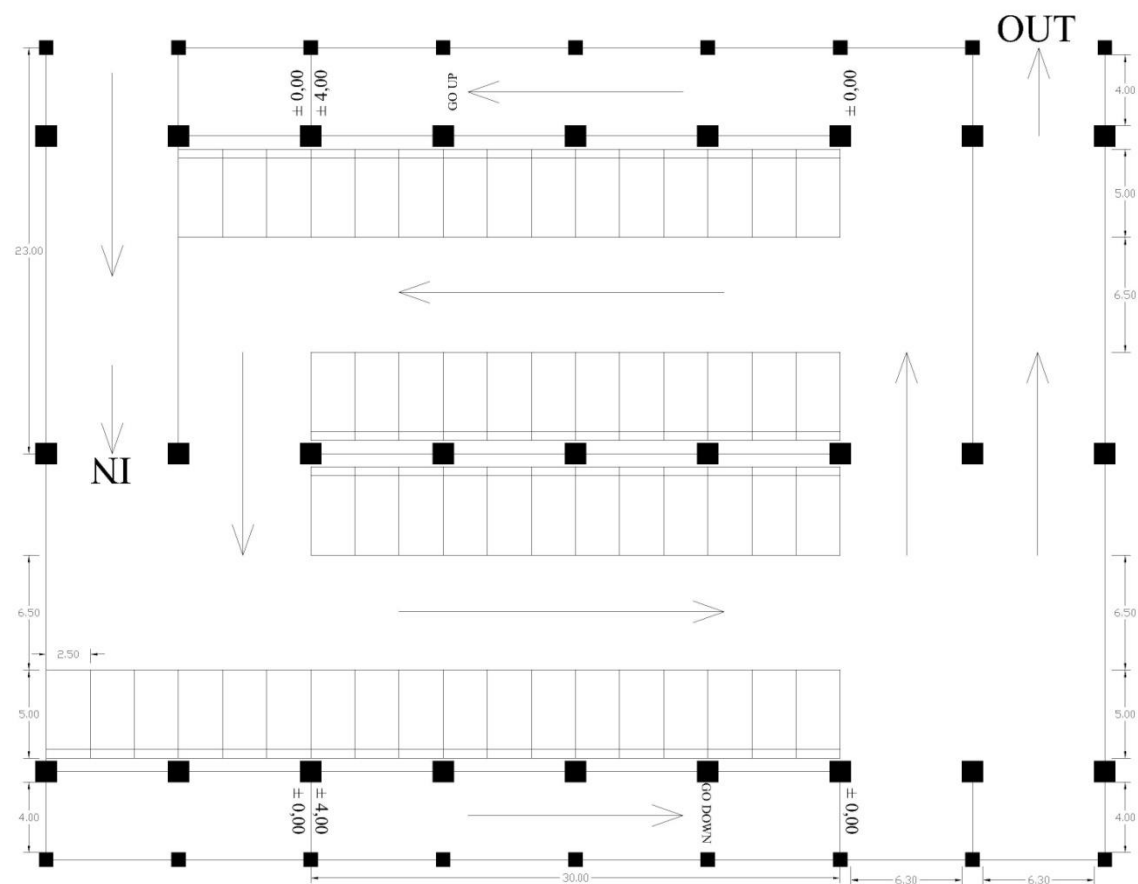
Add
Modify
Delete

Function Graph

Display Graph

5. Response spectrum pada tanah sedang

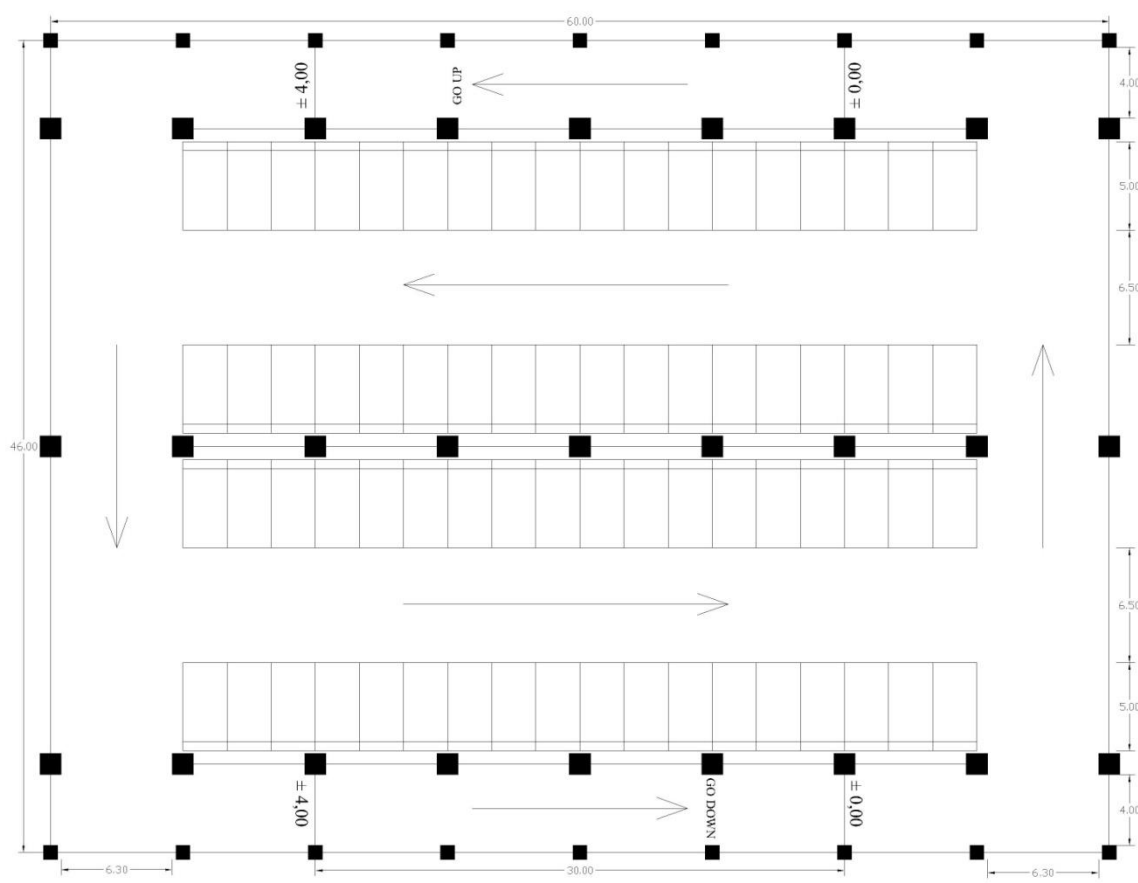
LAMPIRAN 2.1



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DENAH GEDUNG PARKIR LANTAI 1
Total per lantai : 57 Mobil

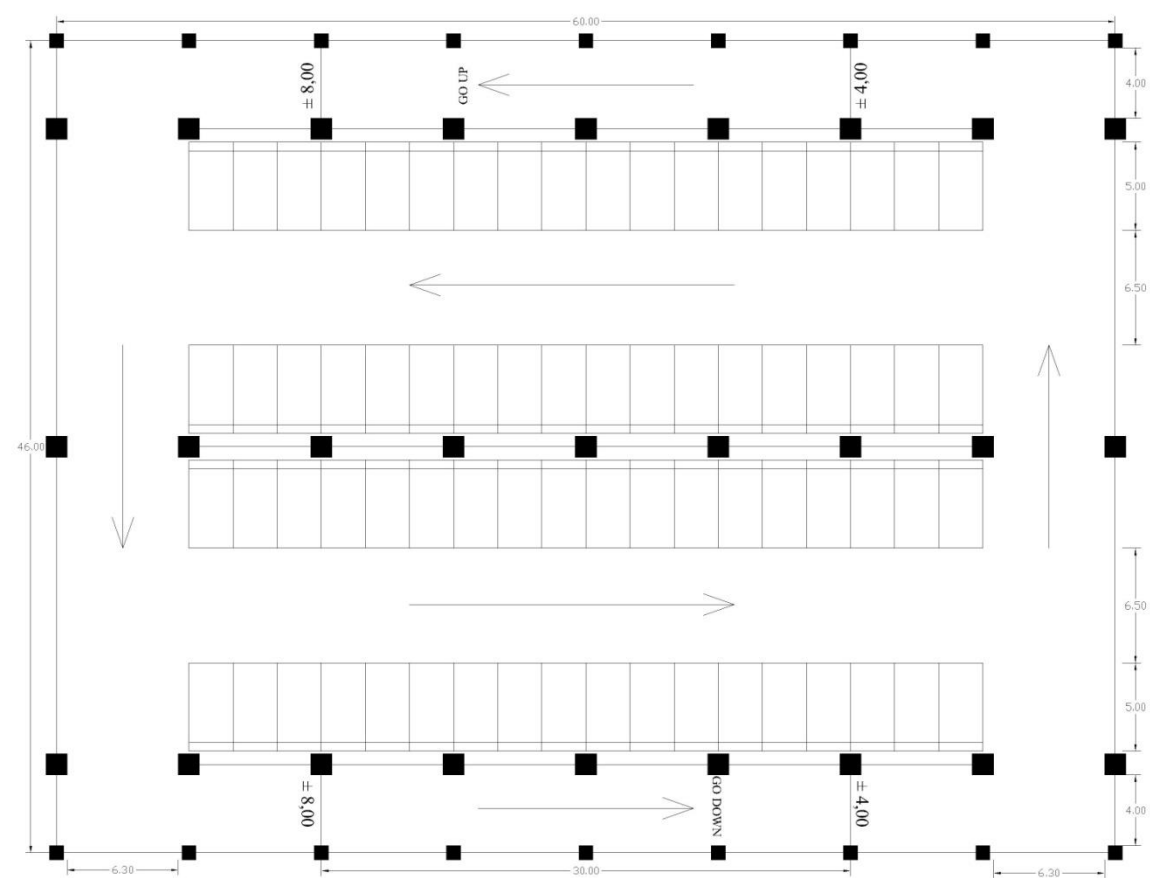
LAMPIRAN 2.2



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DENAH GEDUNG PARKIR LANTAI 2
Total per lantai : 72 Mobil

LAMPIRAN 2.3

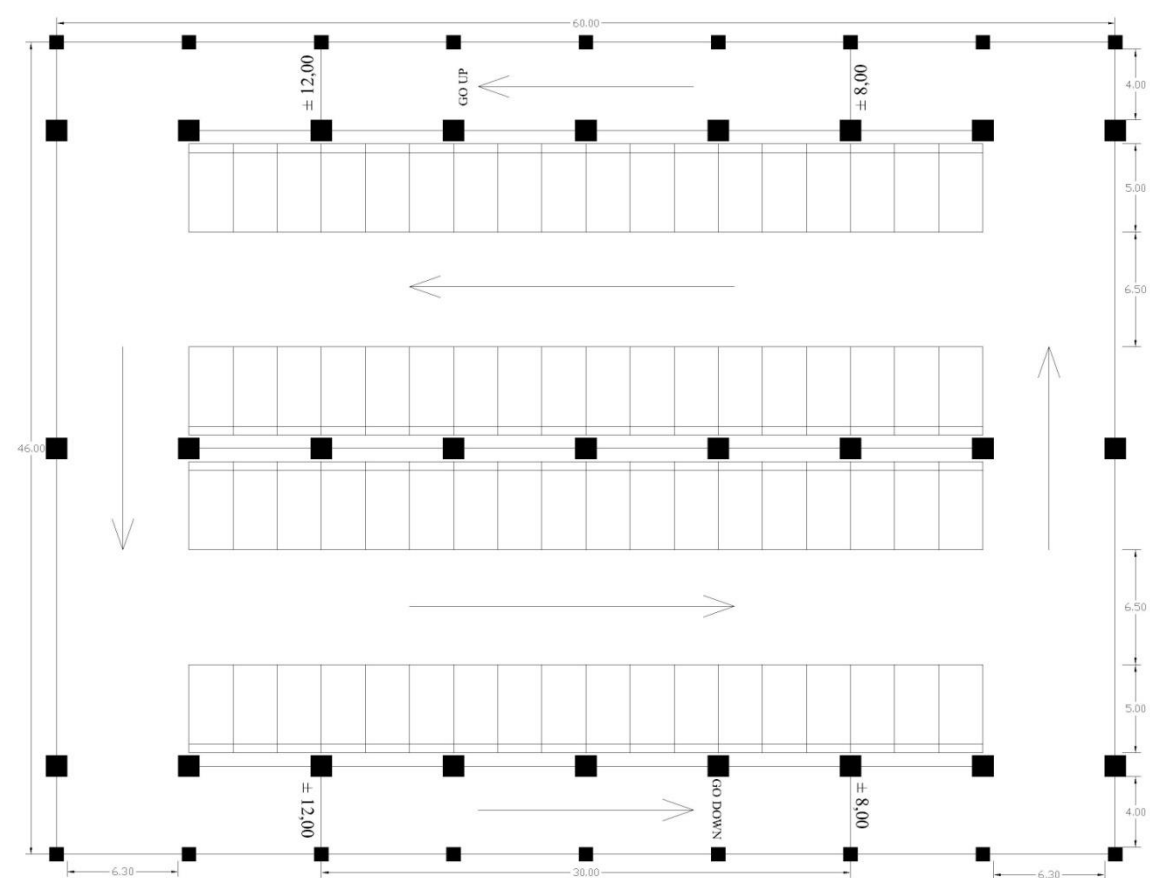


PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DENAH GEDUNG PARKIR LANTAI 3

Total per lantai : 72 Mobil

LAMPIRAN 2.4

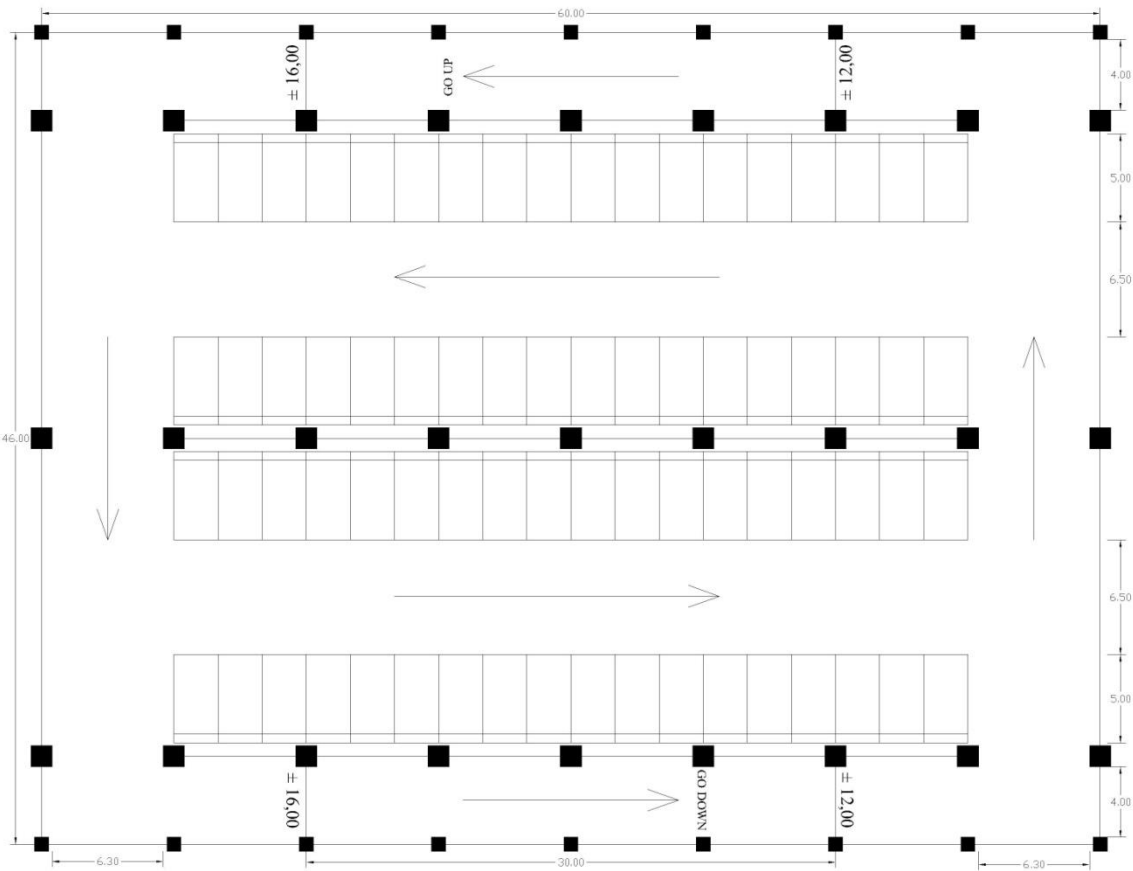


PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DENAH GEDUNG PARKIR LANTAI 4

Total per lantai : 72 Mobil

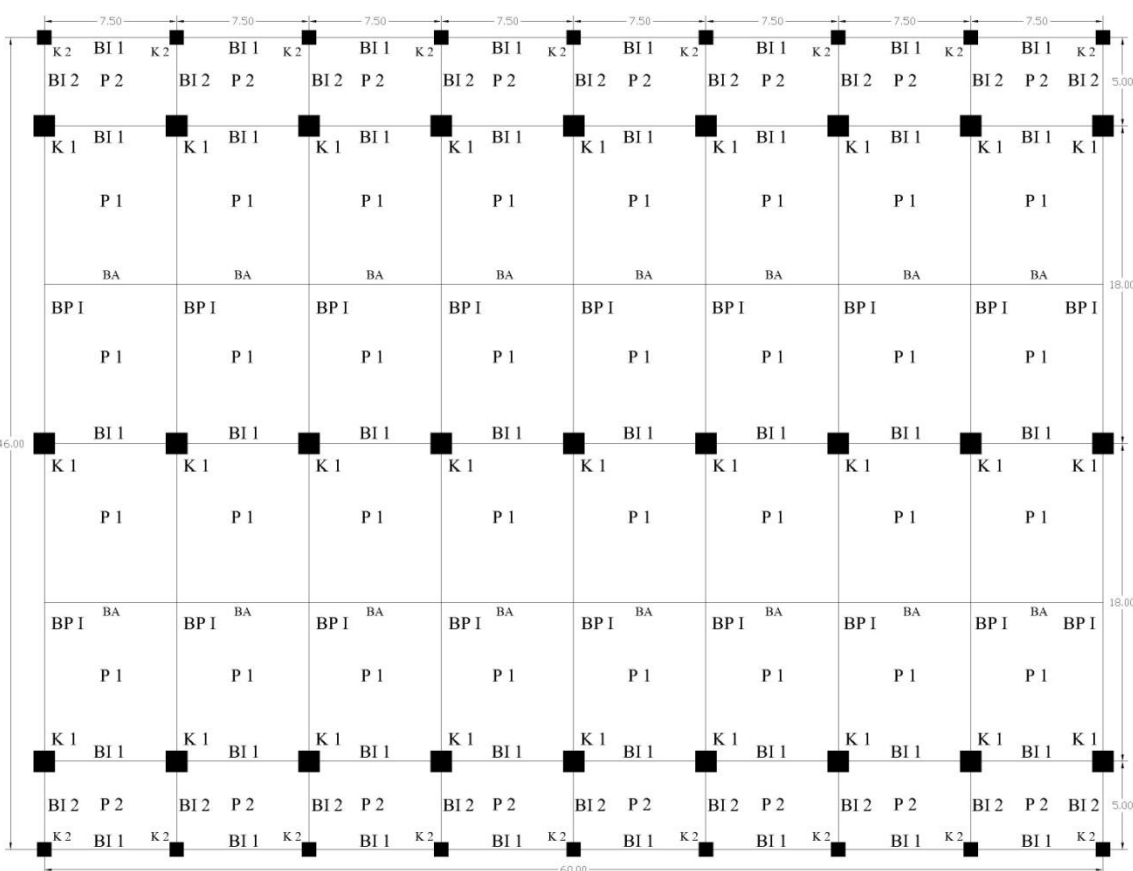
LAMPIRAN 2.5



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

DENAH GEDUNG PARKIR LANTAI 5
Total per lantai : 72 Mobil

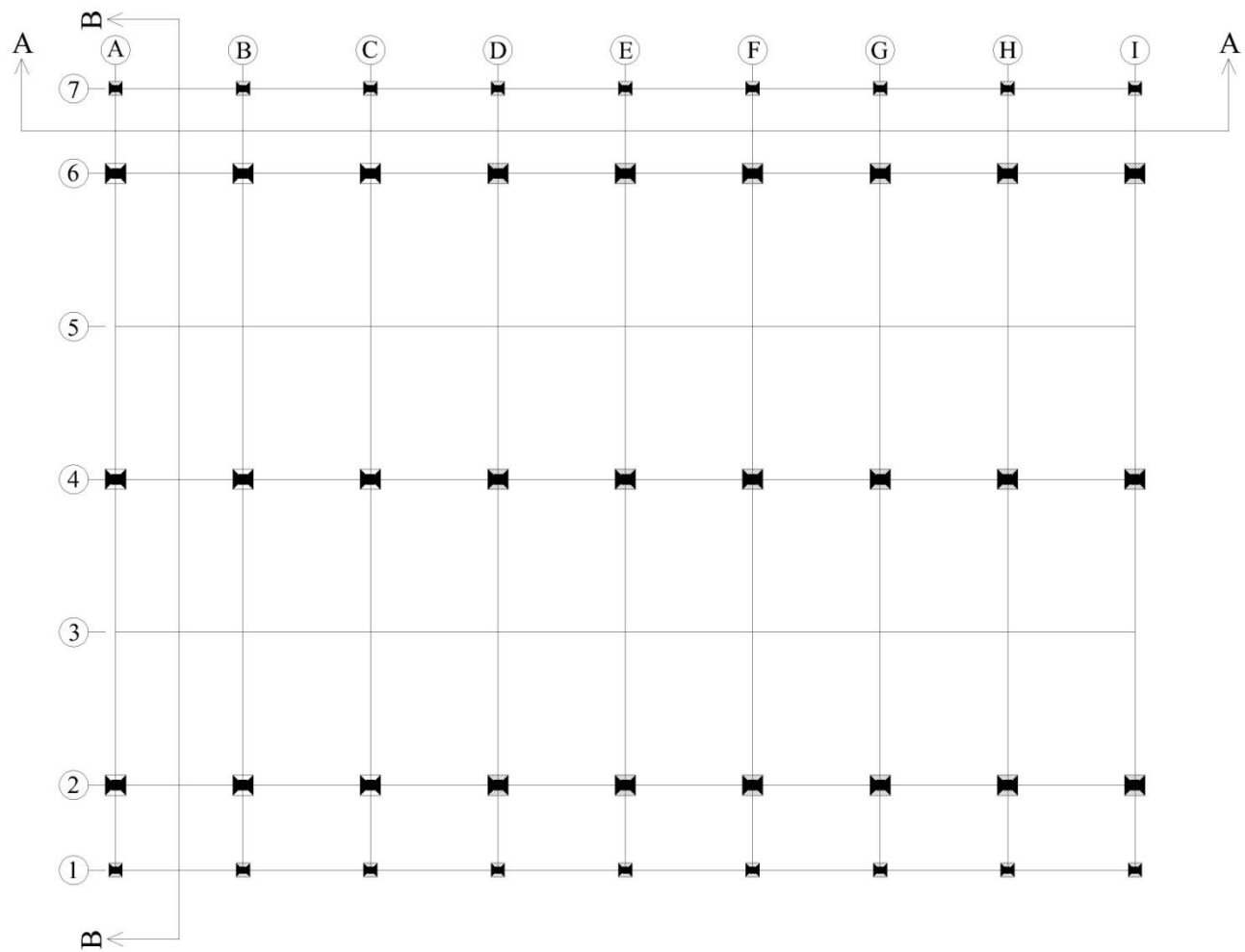
LAMPIRAN 2.6



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

PRELIMINARI STRUKTUR PENAMPANG

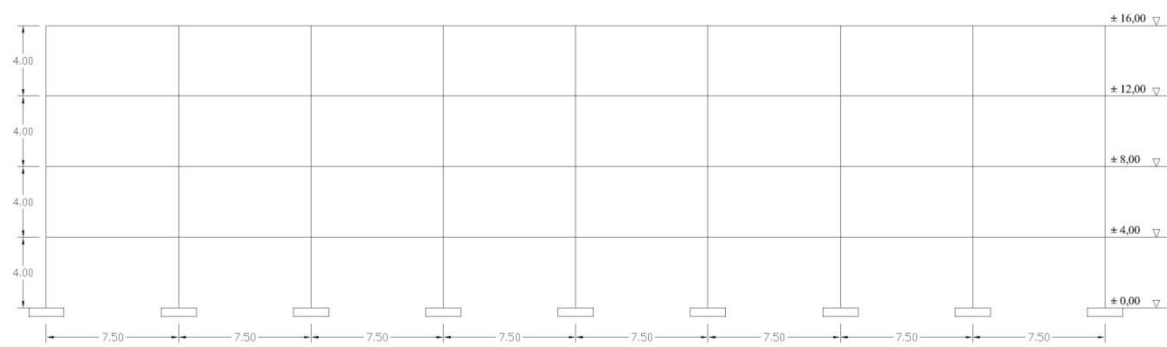
LAMPIRAN 2.7



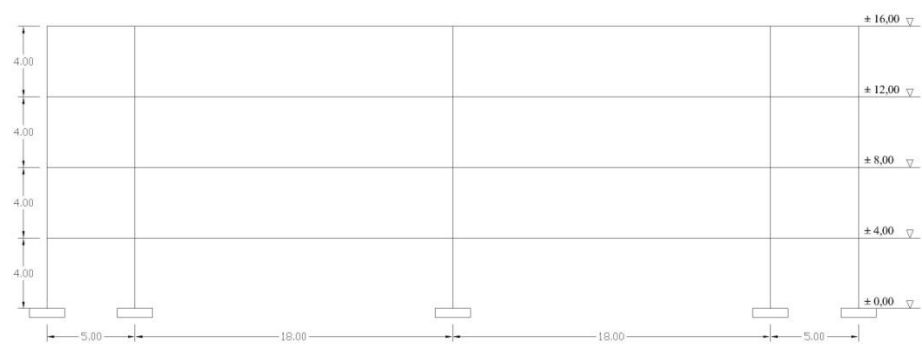
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

POTONGAN DENAH GEDUNG PARKIR

LAMPIRAN 2.8



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

POTONGAN A-A DAN POTONGAN B-B