

**TUGAS AKHIR**

**PERENCANAAN ULANG PELAT LANTAI DENGAN  
WAFFLE SLAB PADA GEDUNG LAYANAN  
AKADEMIK UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
(*REDESIGN CONVENTIONAL SLAB WITH WAFFLE  
SLAB AT ACADEMIC SERVICE BUILDING'S STATE  
UNIVERSITY OF YOGYAKARTA*)**

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



**ADITRIA INDRA CAHYA  
10.511.023**

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

## TUGAS AKHIR

# PERENCANAAN ULANG PELAT LANTAI DENGAN WAFFLE SLAB PADA GEDUNG LAYANAN AKADEMIK UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA (REDESIGN CONVENTIONAL SLAB WITH WAFFLE SLAB AT ACADEMIC SERVICE BUILDING'S STATE UNIVERSITY OF YOGYAKARTA)

Disusun oleh



Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana

Diuji pada tanggal 14 September 2017  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Ir. Dr. Harsoyo, M.Sc.

NIK : 835110202

Tanggal : 29/9/2017

Penguji I

Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D.

NIK : 845110101

Tanggal: 02 okt 2017

Penguji II

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.

NIK : 155111306

Tanggal: 29/9/2017

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

NIK: 955110103

## 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 perundangundangan yang berlaku.

Yogyakarta, 14 September 2017  
Yang membuat pernyataan,



Aditria Indra Cahya  
(10511023)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbilalamiin, puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir yang berjudul *Perencanaan Ulang Pelat Lantai Dengan Waffle Slab Pada Gedung Layanan Akademik Universitas Negeri Yogyakarta*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Strata satu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat kritik, saran, masukan, dan dukungan semangat dari berbagai pihak akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Harsoyo., M.Sc, selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Ir. Suharyatma, M.T., dan Ibu Yunalia Muntafi, S.T,M.T selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
4. Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U dan Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng selaku dosen penguji pendadaran tugas akhir.
5. Orang tua penulis yaitu Mama Utami Isfandiari, Papa Eddy Setiabudi, Bunda Etty Sri Lestari Dewi yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
6. Kakak penulis yaitu Pratama Budhi Nugraha, Adwitya Dimas Satria, dan Yessie Hermitasari yang selalu memberi semangat dan dukungannya.
7. Teman dekat yaitu Tifany Eka Siswati yang telah saling menemani dalam perjuangan kuliah serta selalu memberi semangat, doa, dukungan.
8. Teman-teman Teknik Sipil 2010 Universitas Islam Indonesia yang telah memberi semangat dan telah menjadi bagian dari hidup penulis.

9. Teman-teman kontrakan Sarang Sipil 2010 yaitu Ari, Sudiro, Helda, Fajri, Aak, Simbah, Demi, Jafar, Gondrong, Anjar, Akbar, Erlang, Helmi, Abror, Andi, Ucup, Jaja, Dencuk dan Abdul yang selalu memberi semangat dan bantuan.

10. Teman-teman dan Sahabat yang selalu memberi dukungan dan bantuan.

Akhir dari pengantar ini, kami berharap agar Tugas Akhir ini bermanfaat, sesuai dengan tujuan dan manfaatnya. Baik bagi rekan-rekan akademik teknik sipil maupun pembaca. Kritik dan saran yang membangun selalu terbuka demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 14 September 2017

Penulis,

Aditria Indra Cahya

10511023

## DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 LATAR BELAKANG	2
1.2 RUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN	2
1.4 BATASAN MASALAH	2
1.5 MANFAAT	3
1.6 LOKASI GEDUNG	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 UMUM	5
2.2 PENELITIAN SEBELUMNYA	12
2.2.1 Perencanaan Ulang Struktur (Redesain) Dedy Jaya Mall (Tegal)	12
2.2.2 Redesain Gedung Hotel Inna Garuda Yogyakarta Menggunakan Komposit Baja – Beton	12
2.2.3 Analisis Pelat Dua Arah Dengan Metode Perencanaan Langsung (Studi Kasus Pelat Dengan Balok, Pelat Dengan Drop Panel, Pelat Datar)	13
2.3 KEASLIAN PENELITIAN	13
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 PELAT LANTAI	15

3.2 WAFFLE SLAB	15
3.2.1 Dimensi Standard Dome	15
3.2.2 Dimensi Dan Ketebalan Solid head (Drop Panel)	17
3.3 PEMBEBANAN	17
3.3.1 Beban mati	17
3.3.2 Beban hidup	18
3.3.3 Beban Gempa	19
3.3.4 Kuat Perlu	26
3.4 PERENCANAAN PELAT DUA ARAH WAFFLE SLAB	28
3.4.1 Perbandingan Rasio Kekakuan Balok dan Pelat	30
3.4.2 Ketebalan Minimum Pelat Lantai Dua Arah	30
3.4.3 Perhitungan Gaya Geser	32
3.4.4 Perhitungan Momen Statis	35
3.4.5 Penulangan Waffle Slab	39
3.5 RENCANA ANGGARAN BIAYA	41
3.5.1 Analisis Harga Satuan	41
3.5.2 Volume Pekerjaan	42
<b>BAB IV METODE PERENCANAAN</b>	43
4.1 TINJAUAN UMUM	43
4.1.1 Jenis Penelitian	43
4.2 DATA STRUKTUR	43
4.3 TAHAP PERENCANAAN (FLOWCHART)	44
4.4 JADWAL TUGAS AKHIR	48
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	49
5.1 UMUM	49
5.2 DATA PERENCANAAN GEDUNG	49
5.3 PERENCANAAN WAFFLE SLAB	51
5.3.1 Dimensi Dome dan Ribs	51

5.3.2 Tebal Slab dan Tinggi Ribs	52
5.3.3 Solid head	56
5.3.4 Permodelan Struktur dengan Etabs	56
5.4 PEMBENANAN LANTAI	58
5.5 MOMEN	63
5.6 GESER SOLID HEAD	89
5.6.1 Gaya Geser	90
5.7 RENCANA ANGGARAN BIAYA	95
5.7.1 Daftar Harga	95
5.7.2 Analisis Harga Satuan pekerjaan	96
5.7.3 Volume Pekerjaan	100
5.7.4 Biaya	102
5.8 PERBANDINGAN RAB	104
5.9 PEMBAHASAN	105
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	108
6.1 SIMPULAN	108
6.2 SARAN	108
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	113

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Ini Dengan Penelitian Terdahulu	14
Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, $L_o$ dan Beban Hidup Terpusat Minimum	18
Tabel 3.2 Faktor Amplikasi Untuk Periode Pendek ( $F_a$ )	20
Tabel 3.3 Faktor Amplikasi Untuk Periode 1 Detik ( $F_v$ )	21
Tabel 3.4 Nilai parameter perioda pendekatan $C_t$ dan $x$	23
Tabel 3.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	24
Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan Gempa	26
Tabel 3.7 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior (satuan dalam millimeter)	30
Tabel 3.8 Waffle Flat Slabs (19" x 19" voids at 2'-0")-Equivalent Thickness	32
Tabel 3.9 Waffle Flat Slabs (30" x 30" voids at 3'-0")-Equivalent Thickness	32
Tabel 3.10 Distribusi Momen Total Terfaktor	36
Tabel 3.11 Presentase Momen Terfaktor Negatif Dalam Yang Harus Dipikul Lajur Kolom	37
Tabel 3.12 Presentase Momen Terfaktor Negatif Luar Yang Harus Dipikul Lajur Kolom	38
Tabel 3.13 Presentase Momen Terfaktor Positif Yang Harus Dipikul Lajur Kolom	38
Tabel 4.1 Jadwal Tugas Akhir Perencanaan Ulang	48
Tabel 5.1 Equivalent Thickness 27,559" Dome	55
Tabel 5.2 Hasil Momen dengan Beban Hidup Merata	59
Tabel 5.3 Hasil Momen dengan Beban Hidup Terpusat	59
Tabel 5. 4 Nilai Tinggi Lantai dan Berat Lantai	62
Tabel 5. 5 Gaya Gempa Arah X	62
Tabel 5. 6 Gaya Gempa Arah Y	63
Tabel 5.7 Momen Interior Frame Tipe A	64

Tabel 5.8 Momen Exterior Frame Tipe A	65
Tabel 5.9 Rekapitulasi Momen Arah X	74
Tabel 5.10 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif	74
Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif	75
Tabel 5.12 Rekapitulasi Momen Arah Y	76
Tabel 5.13 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif	76
Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif	77
Tabel 5.15 Rekapitulasi Momen Arah X	78
Tabel 5.16 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif	78
Tabel 5.17 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif	79
Tabel 5.18 Rekapitulasi Momen Arah Y	79
Tabel 5.19 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif	80
Tabel 5.20 Rekapitulasi Momen Arah X	81
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif	82
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif	82
Tabel 5.23 Rekapitulasi Momen Arah Y	83
Tabel 5.24 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif	84
Tabel 5.25 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif	84
Tabel 5.26 Rekapitulasi Momen Arah X	85
Tabel 5.27 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif	85
Tabel 5.28 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif	86
Tabel 5.29 Rekapitulasi Momen Arah Y	87
Tabel 5.30 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif	88
Tabel 5.31 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif	88
Tabel 5.32 Momen Geser	90
Tabel 5.33 Geser Depan Kolom	92
Tabel 5.34 Geser Depan Solid head	94
Tabel 5. 35 Daftar Harga Bahan Dan Upah Pekerja	95
Tabel 5.36 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Cor beton 1m <sup>3</sup>	97
Tabel 5.37 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pembesian 1kg	97
Tabel 5.38 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Bekisting Pelat 1m <sup>2</sup>	98

Tabel 5.39 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Perancah 1m <sup>2</sup>	98
Tabel 5. 40 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Bekisting Balok 1m <sup>2</sup>	99
Tabel 5. 41 Harga Satuan Pekerjaan Perancah Balok 1m <sup>2</sup>	100
Tabel 5. 42 Detail Tulangan Waffle Slab Arah X	101
Tabel 5. 43 Detail Tulangan Waffle Slab Arah Y	101
Tabel 5. 44 Perhitungan Volume Pelat	101
Tabel 5.45 Perhitungan Volume Balok Konvensional	102
Tabel 5.46 Perhitungan Volume Pelat Konvensional	102
Tabel 5.47 Rencana Anggaran Biaya Waffle Slab	103
Tabel 5.48 Rencana Anggaran Biaya Pelat Dan Balok Konvensional	103
Tabel 5.49 Perbandingan Volume Pekerjaan	104
Tabel 5.50 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya	104
Tabel 5.51 Rekap Penulangan Waffle Slab Arah X Lantai 1,2 dan 3	106
Tabel 5.52 Rekap Penulangan Waffle Slab Arah Y Lantai 1,2 dan 3	106

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Universitas Negeri Yogyakarta Kampus Wates	4
Gambar 2.1 Flat Plate	6
Gambar 2.2 Penerapan Flat Plate Pada Gedung Parkir	7
Gambar 2.3 Contoh Pelat Lantai Dengan Drop Panel	8
Gambar 2.4 Penerapan Pelat Lantai Dengan Drop Panel	8
Gambar 2.5 Pelat Lantai Dua Arah Dengan Balok	8
Gambar 2.6 Penerapan Pelat Lantai Dua Arah Dengan Balok	9
Gambar 2.7 Waffle Slab	10
Gambar 2.8 Cetakan Untuk Membuat Waffle Slab Dan Penulangan	11
Gambar 2.9 Waffle Slab Pada Gedung Perkantoran	11
Gambar 3.1 Ukuran Waffle Slab Dome 30"	16
Gambar 3.2 Ukuran Waffle Slab Dome 19"	16
Gambar 3.3 Dimensi Solid head	17
Gambar 3.4 Peta Spektrum Respon Percepatan Perioda 0.2 detik ( $S_s$ )	19
Gambar 3.5 Peta Spektrum Respon Percepatan Perioda 1 Detik ( $S_1$ )	20
Gambar 3.6 Grafik Spektrum Respon Desain	22
Gambar 3.7 Penjelasan $l_1$ dan $l_2$	30
Gambar 3.8 Kedalaman Rib Dan Slab	31
Gambar 3.9 Daerah Gaya Geser Pada Muka Kolom	34
Gambar 3.10 Daerah Gaya Geser Pada Tepi Solid head	34
Gambar 3.11 Penjelasan a dan b	35
Gambar 3.12 Lajur Kolom Dan Lajur Tengah	37
Gambar 4.1.a Flow Chart Perencanaan Ulang Pelat Lantai Gedung UNY	46
Gambar 5.1 Denah Lantai Awal	50
Gambar 5.2 Desain Ulang Slab Lantai 1 dan 2 Dengan Waffle Slab	50
Gambar 5.3 Desain Ulang Slab Lantai 3 Dengan Waffle Slab	51
Gambar 5.4 Interpolasi Equivalent Thickness	53

Gambar 5.5 Interpolasi Ukuran Dome 30 in x 30 in Dan Ukuran Dome 19 in x 19 in	54
Gambar 5.6 Permodelan 2D Waffle Slab	57
Gambar 5.7 Permodelan 3D Waffle Slab	57
Gambar 5.8 Penjelasan Tipe Slab	58
Gambar 5.9 Nilai Waktu Getar Alami Arah X	61
Gambar 5.10 Nilai Waktu Getar Alami Arah Y	61
Gambar 5.11 Pembagian Tipe Lantai	63
Gambar 5.12 Letak Momen	64
Gambar 5.13 Ukuran Slab Pada Tipe A	67
Gambar 5.14 Interior Frame Arah X	68
Gambar 5.15 Exterior Frame Arah X	70
Gambar 5.16 Posisi Solid head	90
Gambar 5.17 Perbandingan Volume Pekerjaan	104
Gambar 5.18 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya	105

## ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang mengalami pertumbuhan dalam segala bidang. Perkembangan tersebut ditandai dengan banyaknya bangunan bertingkat. Bangunan itu sendiri adalah konstruksi struktural dan non struktural yang dirancang dan dibuat oleh manusia yang didirikan secara tetap pada suatu tempat. Struktur yang langsung menerima beban yakni pelat lantai. Perencanaan pelat lantai dapat dibuat dengan beberapa macam jenis pelat lantai, di antaranya adalah pelat satu arah, pelat dua arah, *flat plate*, pelat lantai dengan *drop panel*, *waffle slab*, dan pelat lantai *grid*. Dengan belum banyaknya digunakan *waffle slab* di Indonesia, maka cara merancang *waffle slab* masih memerlukan pengkajian. Oleh karena hal tersebut, penelitian ini akan dilakukan perencanaan ulang pada suatu gedung dengan menggunakan *waffle slab*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cara merencanakan pelat lantai jenis *waffle slab*, serta dapat membandingkan RAB pelat gedung terdahulu dengan pelat jenis *waffle slab*.

Perencanaan *waffle slab* dimulai dengan menentukan dimensi pelat, serta menentukan dimensi *waffle slab*. Dimensi *waffle slab* terdiri dari dimensi *rib*, dimensi *dome*, dimensi *solid head*, serta tebal *slab*. Penelitian ini direncanakan dengan bentang antar kolom sama dengan bangunan *existing*. Dimensi yang direncanakan yakni dengan dimensi *dome* 70cm x 70cm, lebar *rib* 15cm, lebar *solid head* 2,7m, tebal *rib* 21cm, dan tebal *slab* 8cm. Metode yang digunakan yakni metode perencanaan langsung sesuai dengan SNI. Pelat Lantai *waffle slab* dimodelkan dengan aplikasi ETABS vr 9.6.0. Hasil *output* dari aplikasi etabs akan dianalisis untuk mendapatkan tulangan. Selanjutnya membuat simpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dimensi pelat *waffle slab* lebih luas yakni 5m x 5m dan 7m x 7,5m. Tulangan yang digunakan adalah ukuran D22 serta D13. Penelitian ini juga membandingkan rencana anggaran biaya pelat balok konvensional dengan pelat lantai *waffle slab*. Hasil rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pelat balok konvensional sebesar Rp 1.523.929.145,54 sedangkan untuk rencana anggaran biaya pekerjaan *waffle slab* sebesar Rp 1.479.805.662,44. Anggaran biaya untuk pekerjaan *waffle slab* lebih hemat 2,89% dibanding dengan pelat balok konvensional.

*Key words:* *Waffle Slab*, Perencanaan langsung, Dimensi, Tulangan, Biaya.

## ABSTRACT

*Indonesia is a developing country that experiencing growth in all areas. The development was characterized by the number of multi-storey buildings. The structural and non structural construction building was designed and created by humans that established permanently at some place. The structure that accepted the load directly was the floor slab. The design of the floor slab could be made with several types such as one-way plates, two-way plates, flat plates, floor plates with drop panel, waffle slab, and grid floor plates. Because of the rarity of usage the waffle slab in Indonesia so the way to design the waffle slab still required the assessment. Therefore in this research would be redesign a building by using waffle slab. The purpose of this research was to know the design of the waffle slab, and can comparing the budget plan from previous building with the waffle slab.*

*Designing the waffle slab began by determining the dimensions of the slab, and determining the dimensions of the waffle slab. Dimensions of the waffle slab consists of the dimensions of the rib, the dimensions of the dome, the dimensions of the solid head, and the thickness of the slab. This research was designed with spans between columns which equal to existing buildings. The designed of dimensions were 70cm x 70cm for dome, rib width 15cm, width of 2.7m solid head, 21cm thick rib, and 8cm thick slab. The method used was direct planning method in accordance with SNI. Waffle slab was modeled with ETABS v 9.6.0 application. Output of the etabs application would be analyzed for reinforcement. Next step was made a conclusion from the results of the analysis that has been done.*

*The result showed that the dimensions of the waffle slab wider slab that was 5m x 5m and 7m x 7,5m. Reinforcement used was bar size of D22 and D13. This study was compared the budget plan of the conventional beam slab with the waffle slab. The result of budget plan for conventional beam slab work was Rp 1,523,929,145,54 while for budget plan of the waffle slab work cost was Rp 1,479,805,662,44. Budget plan for the waffle slab was 2.89% cheaper than conventional beam slab.*

*Key words: Waffle Slab, Direct Planning, Dimension, Reinforcement, Cost.*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang mengalami pertumbuhan dalam segala bidang. Salah satu bidang yang mengalami pertumbuhan yang pesat yakni bidang konstruksi. Perkembangan bidang konstruksi di Indonesia banyak dijumpai pada kota-kota besar. Perkembangan tersebut ditandai dengan banyaknya bangunan bertingkat. Beragam bangunan telah didirikan dengan berbagai macam bentuk dan desain. Bangunan – bangunan tersebut merupakan konstruksi struktural dan non struktural yang dirancang dan didirikan secara tetap pada suatu tempat. Struktur bangunan terutama pada gedung terdiri dari struktur bagian atas dan struktur bagian bawah. Salah satu bagian struktur atas bangunan yang langsung menerima beban yaitu pelat lantai. Pelat lantai didukung oleh balok diteruskan ke kolom. Beberapa fungsi pelat lantai di antaranya adalah untuk memisahkan lantai pada bangunan, mencegah masuknya air tanah ke dalam bangunan, tempat kabel listrik ditempatkan, menyalurkan beban ke balok, dan sebagai tempat berpijak pengguna lantai atas. (Asri, 2012)

Perencanaan pelat lantai dapat dibuat dengan beberapa macam jenis pelat lantai, di antaranya adalah pelat lantai satu arah dan dua arah, *flat plate*, pelat lantai *drop panel*, pelat lantai *waffle (waffle slab)*, dan pelat lantai *grid*. Banyak jenis pelat lantai yang dapat digunakan. Namun, pelat lantai jenis *waffle slab* sangat jarang digunakan di Indonesia. Pelat lantai jenis *waffle slab* telah lama ditemukan dan telah banyak dipergunakan oleh negara lain seperti Jerman, Amerika, dan Singapura. Pemahaman dan pengaplikasian *waffle slab* sudah banyak diterapkan. *Waffle slab* mempunyai beberapa kelebihan salah satunya bentangnya lebih besar. Bentang yang dapat dicakup *waffle slab* cukup besar antara 6 meter hingga 12 meter. Kelebihan lain dari *waffle slab* dapat juga direncanakan tanpa banyak kolom dan dapat juga direncanakan tanpa balok. Pengguna dapat merasa diuntungkan oleh hal tersebut karena penggunaan ruang

antar lantai menjadi lebih lapang. Sebagaimana pelat lantai pada umumnya, *waffle slab* dibuat menggunakan material beton

bertulang. Ciri khas dari pelat lantai jenis *waffle slab* adalah adanya *rib* (rusuk) yang menyilang tegak lurus satu dengan yang lain. Penyilangan rusuk menyebabkan *waffle slab* memiliki sifat yang lebih kaku dibanding dengan pelat lantai biasa. (Budiadi, 2008)

Dengan belum banyaknya digunakan *waffle slab* di Indonesia, maka cara merancang *waffle slab* masih memerlukan pengkajian. Oleh karena hal tersebut pada penelitian ini akan dilakukan perencanaan ulang pada suatu gedung dengan menggunakan *waffle slab*. Pada desain awalnya gedung tersebut direncanakan dengan pelat lantai-balok. Pelat lantai gedung tersebut akan direncanakan ulang dengan *waffle slab*.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana dimensi dan hasil penulangan pelat lantai jenis *waffle slab* pada gedung layanan akademik UNY ?
2. Bagaimana perbandingan RAB pelat balok konvensional dengan pelat lantai jenis *waffle slab* ?

## **1.3 TUJUAN**

Sesuai dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mendapatkan :

1. Dimensi dan penulangan pelat lantai jenis *waffle slab* pada gedung layanan akademik UNY dan
2. Hasil perbandingan RAB pelat balok konvensional dengan pelat lantai jenis *waffle slab*.

## **1.4 BATASAN MASALAH**

Batasan masalah sangat diperlukan dalam sebuah penelitian. Batasan masalah bertujuan agar penelitian dapat terfokus pada tujuan yang akan dicapai. Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Perencanaan *waffle slab* dilakukan sebagai perencanaan ulang pada gedung layanan akademik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) kampus Wates.
2. Bantuan *software* yang digunakan yakni ETABS vr 9.6.0.
3. Perencanaan ulang hanya sebatas pelat lantai, tidak merencanakan struktur lain (pondasi, kolom, dinding geser).
4. Perencanaan ulang tidak mengubah jarak bentang kolom serta tidak mengubah dimensi kolom.
5. Beban angin tidak diperhitungkan.
6. Mutu beton direncanakan sama seperti perencanaan sebelumnya yaitu  $f'c = 25$  MPa.
7. Mutu baja tulangan pada pelat lantai jenis *waffle slab*
  - a. Untuk diameter  $< 10$  mm, digunakan BJTP 24  $\rightarrow$  240 MPa.
  - b. Untuk diameter  $\geq 10$  mm, digunakan BJTD 40  $\rightarrow$  400 MPa.
8. Rencana anggaran biaya (RAB) mengacu pada Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan SNI-2016.
9. Perencanaan pembebanan struktur mengacu pada beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727-2013.

## 1.5 MANFAAT

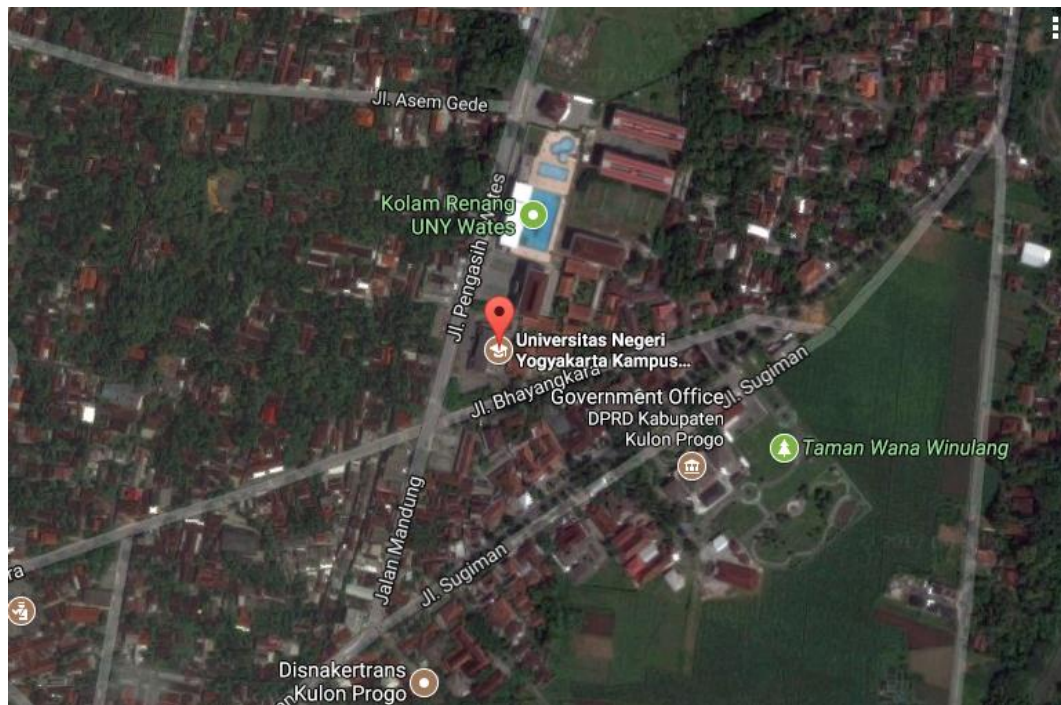
Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah informasi dan wawasan dalam pengembangan pengetahuan perencanaan pelat lantai khususnya *waffle slab*,
2. Dapat dijadikan pilihan alternatif dalam perencanaan pelat lantai pada bangunan- bangunan bertingkat.

## 1.6 LOKASI GEDUNG

Gedung layanan akademik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) kampus Wates terletak di Jalan Bhayangkara No. 7, desa Watulunyu, kecamatan Wates, kabupaten Kulon Progo, provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Jarak kota Wates berada kurang lebih 30 km dari pusat kota Yogyakarta.

Gambar 1.1 merupakan peta lokasi gedung layanan akademik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) kampus Wates berada.



**Gambar 1.1 Peta Lokasi Universitas Negeri Yogyakarta Kampus Wates**

Sumber: (<http://maps.google.com>)

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 UMUM

Gedung merupakan suatu struktur konstruksi yang terdiri dari beberapa elemen. Elemen – elemen struktur gedung berupa kolom, balok, pelat lantai, dan pondasi. Pada umumnya pelat lantai dibagi menjadi dua macam yakni pelat lantai satu arah dan pelat lantai dua arah. Jenis – jenis struktur pelat lantai :

#### 1. Pelat Lantai Satu Arah

Struktur pelat persegi dengan perbandingan dimensi bentang lebih dari dua.

$$\frac{l_{panjang}}{l_{pendek}} > 2 \quad (2.1)$$

Keterangan:  $l_{panjang}$  = bentang panjang dari pelat persegi

$l_{pendek}$  = bentang pendek dari pelat persegi

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

Sistem pelat satu arah apabila ditumpu pada dua ujungnya maka disebut pelat sederhana sedangkan bila pelat ditumpu pada sisi memanjangnya lebih dari dua tumpuan maka sistem pelat ini di sebut pelat menerus. (Budiadi, 2008)

Dapat disebut sebagai pelat satu arah karena pelat hanya menahan satu arah momen yang dominan. Pelat dengan momen yang hanya bekerja satu arah  $l_{panjang}$  maka akan diberi tulangan pokok satu arah sejajar dengan bentangnya. Untuk menjaga posisi dari tulangan pokok tidak berubah maka diperlukan tulangan bagi. Arah pemasangan tulangan bagi dipasang tegak lurus dengan tulangan pokok. (Ghoofi, 2012)

#### 2. Pelat Lantai Dua Arah

Struktur pelat persegi dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendeknya kurang dari dua atau sama dengan dua.

$$\frac{l_{panjang}}{l_{pendek}} \leq 2 \quad (2.2)$$

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

Sistem pelat dua arah ini menahan momen dari dua arah, yaitu dari arah L panjang dan arah L pendek. Menahan momen dari dua arah maka tulangan pokok pun dipasang dua arah. Tulangan pokok berada pada daerah tumpuan maupun daerah lapangan. (Ghoofi, 2012)

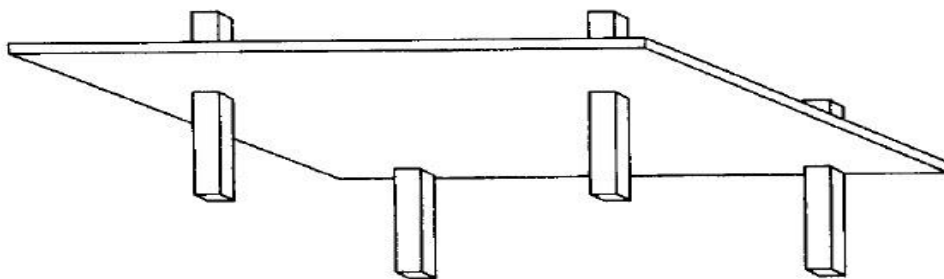
Daerah lapangan berada pada tengah – tengah bentang L panjang maupun pendek yang dikelilingi oleh daerah tumpuan. Dimensi dari daerah lapangan sebesar setengah dari masing – masing bentang sedangkan daerah tumpuan sebesar sisa dari daerah lapangan yang dibagi rata pada ujung bentang. Untuk daerah tumpuan selain dipasang tulangan pokok juga dipasang tulangan bagi.

Jenis pelat dua arah dibagi dalam beberapa jenis, yaitu :

a. Pelat datar (*flat-plate floors*)

Pelat beton bertulang yang langsung ditumpu oleh kolom tanpa menggunakan balok. Tebal pelat lantai ini merata sehingga beban yang di terima akan diteruskan langsung ke kolom tanpa bantuan balok. Jenis pelat ini biasa digunakan untuk beban yang tidak terlalu berat, seperti pada sekolah maupun apartemen. Bentang yang biasa diaplikasikan berkisar antara 6 – 7,5 m dan kekakuan yang dimiliki lebih rendah. Pelat lantai datar ini lebih ekonomis dan cepat dalam pengerjaan. (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

Contoh *flat plate* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Flat Plate**

Sumber : (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

Penerapan struktur *flat plate* pada gedung parkir dapat dilihat pada Gambar 2.2



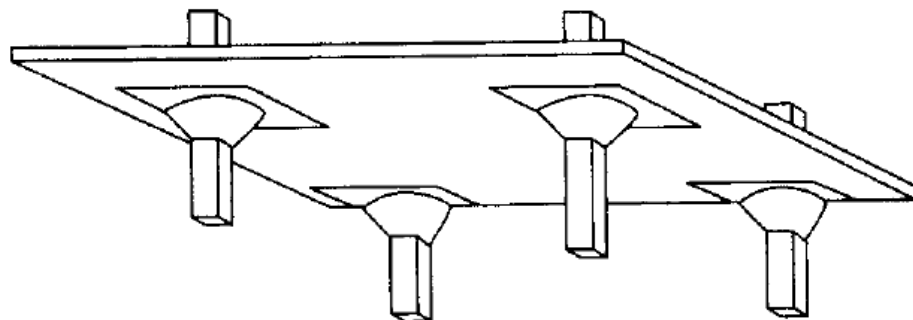
**Gambar 2.2 Penerapan Flat Plate Pada Gedung Parkir**

Sumber : ([taxonomy.openquake.org/terms/flat-slab-plate-or-waffle-slab—lfls](http://taxonomy.openquake.org/terms/flat-slab-plate-or-waffle-slab—lfls))

b. Pelat lantai dengan *drop panel*

Pelat lantai dengan drop panel terdiri dari pelat datar, *drop panel* dan *capital column*. Bagian kritis pada jenis pelat ini terdapat pada sekitar kolom oleh karena itu perlu adanya penebalan kolom untuk menahan gaya geser, dan *pons*. Penebalan kolom disebut sebagai *drop panel* dan penebalan yang membentuk kepala kolom disebut *capital column*. Ketebalan pelat drop panel paling tidak lebih dari  $\frac{1}{4}$  tebal pelat lantai. Bentang yang digunakan berkisar 6 – 9 m. Pelat *drop panel* umumnya digunakan untuk bangunan yang rendah resiko terkena gempa. (Wahyudi & Rahim, 1997)

Contoh pelat lantai dengan *drop panel* dapat di lihat di Gambar 2.3.



### Gambar 2.3 Contoh Pelat Lantai Dengan *Drop Panel*

Sumber : (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

Penerapan sistem *drop panel* pada gedung dapat dilihat pada Gambar 2.4.

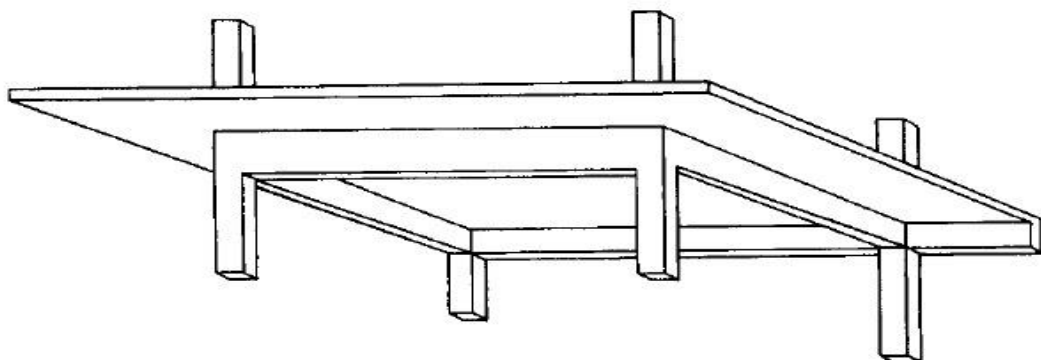


### Gambar 2.4 Penerapan Pelat Lantai Dengan *Drop Panel*

Sumber : (<http://www.nexus.globalquakemodel.org>)

#### c. Pelat lantai dua arah dengan balok

Pelat terdiri dari slab menerus yang di tumpu oleh balok-balok. Beban yang diterima oleh pelat akan diteruskan ke balok pendukung yang selanjutnya akan diteruskan ke kolom. Bentang yang secara umum digunakan berkisar antara 3 – 6 m. Tebal dari pelat dua arah dengan balok ditetapkan berdasarkan pertimbangan struktur yang dapat mencakup aspek keamanan.



Jenis pelat ini banyak digunakan pada sistem lantai yang tidak beraturan. (Wahyudi dan Rahim, 1997)

Contoh pelat dengan balok dapat di lihat di Gambar 2.5.

### Gambar 2.5 Pelat Lantai Dua Arah Dengan Balok

Sumber : (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

Penerapan pelat dengan balok pada gedung dapat dilihat pada Gambar 2.6.



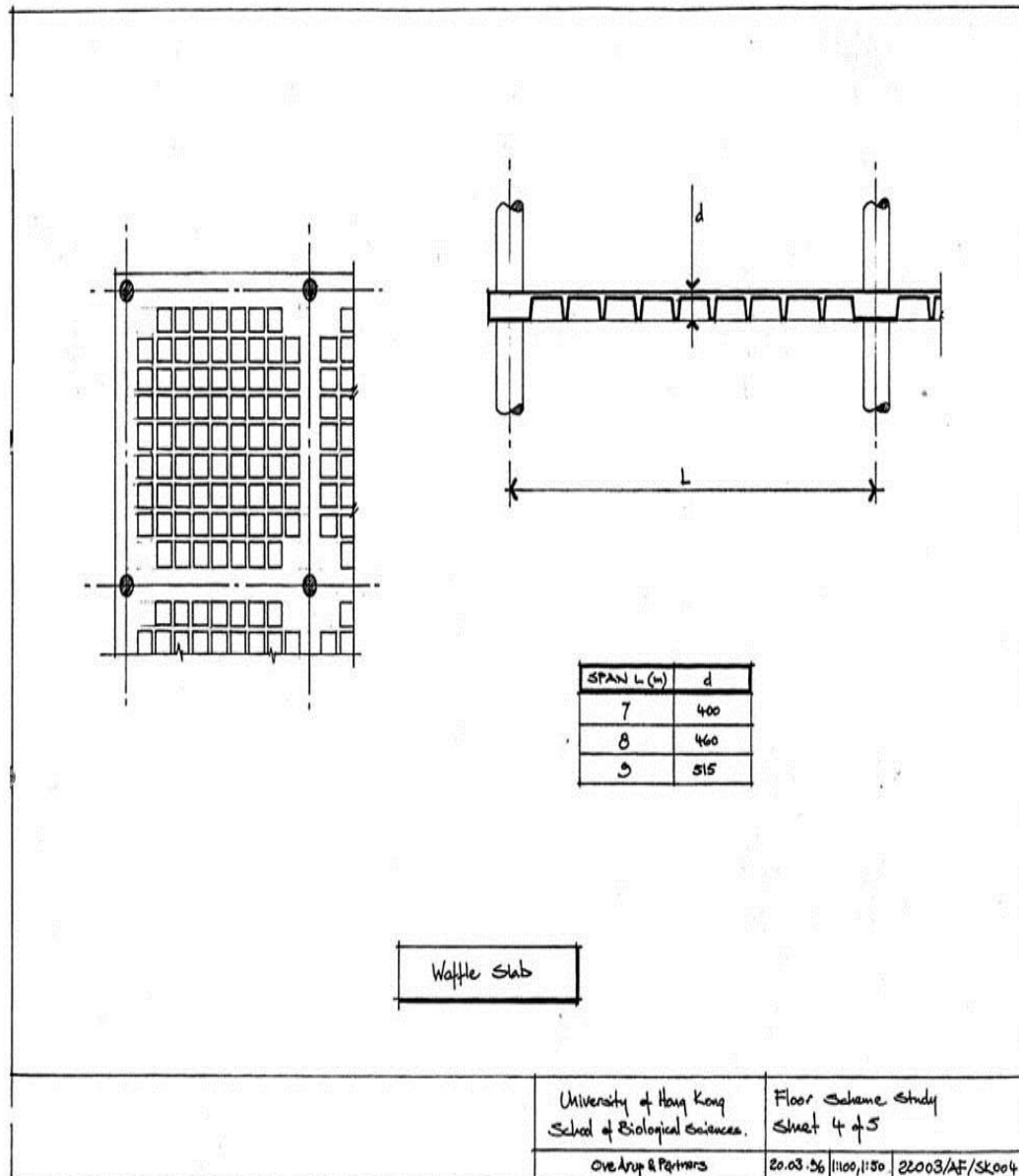
**Gambar 2.6 Penerapan Pelat Lantai Dua Arah Dengan Balok**

Sumber : prorakyat.co.id

d. Pelat lantai *waffle* (*waffle slab*)

*Waffle slab* adalah pelat lantai yang mempunyai balok-balok kecil yang saling menyilang. Penyilangan balok-balok terbilang cukup rapat. Pelat ini dimaksudkan untuk mengurangi berat pelat sendiri. Jenis pelat lantai dapat dicetak dengan beberapa media salah satunya dengan *fiberglass* yang membentuk kotak-kotak. Banyak desain yang dapat digunakan untuk jenis pelat *waffle slab* ini, ada yang menggunakan penebalan kolom yang biasa disebut *drop panel* atau *solid head*, dan juga balok untuk menghubungkan antar kolom. Balok-balok kecil ini bertujuan untuk menahan beban yang berada di tengah pelat agar diteruskan ke perbesaran kolom. Beban yang dapat ditahan lebih besar dibandingkan dengan pelat datar. Secara umum *waffle slab* digunakan dalam bentang yang besar yakni 6 – 12 m.

Contoh *waffle slab* dapat di lihat di Gambar 2.7.



**Gambar 2.7 Waffle Slab**

Sumber : ([http://www.mech.hku.hk/sbe/case\\_study/case/hk/hku-bsb/bb5.jpg](http://www.mech.hku.hk/sbe/case_study/case/hk/hku-bsb/bb5.jpg))

Cetakan untuk membuat *waffle slab* dan penulangan dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8 Cetakan Untuk Membuat *Waffle Slab* Dan Penulangan**

Sumber : (<http://www.atex.org.uk/photos/welc1.jpg>)

Penerapan *waffle slab* pada gedung dapat dilihat pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9 *Waffle Slab* Pada Gedung Perkantoran**

Sumber : (<http://www.geoplast.it/images09/skydome-index.jpg>)

## **2.2 PENELITIAN SEBELUMNYA**

Perencanaan ulang bangunan terutama pada gedung telah dilakukan oleh beberapa perencana terdahulu yang membahas dan merencanakan ulang gedung terutama menggunakan struktur beton.

### **2.2.1 Perencanaan Ulang Struktur (Redesain) Dedy Jaya Mall (Tegal)**

Gedung Dedy Jaya Mall berada di Tegal didirikan di tanah seluas 2.488 m<sup>2</sup>. Struktur utama gedung Dedy Jaya Mall didesain menggunakan pelat lantai dengan balok, kolom, dan pondasi tiang bor. Modifikasi dilakukan pada perencanaan gedung ini, dari yang semula 3 lantai dijadikan 4 lantai. Modifikasi penambahan jumlah lantai menyebabkan perencanaan ulang pondasi. Masalah yang diangkat yakni perbandingan analisis pembenanan beban gempa dengan analisis yang tidak menggunakan beban gempa. Analisis struktur menggunakan program SAP2000.

Hasil dari perencanaan ulang struktur pada gedung Dedy Jaya Mall didapati perbedaan pada analisis pembenanan gempa dengan analisis tanpa pembenanan gempa. Pondasi tiang bor direncanakan ulang menjadi pondasi tiang pancang. Untuk struktur atap, pelat, dan tangga sama tetapi terdapat perbedaan jumlah tulangan balok untuk bentang pendek. Balok bentang pendek dengan pembenanan gempa membutuhkan tulangan tarik 6D16 dan tulangan desak 3D16, balok tanpa beban gempa membutuhkan tulangan tarik 4D16 dan tulangan desak 2D16. (Wijaya, 2009)

### **2.2.2 Redesain Gedung Hotel Inna Garuda Yogyakarta Menggunakan Komposit Baja – Beton**

Struktur komposit baja-beton digunakan untuk redesain gedung Hotel Inna Garuda Yogyakarta. Perencanaan direncanakan mulai dari atap, pelat, balok, kolom, tangga, lift dan pondasi. Pelat lantai dan pelat atap direncanakan menggunakan pelat komposit, yaitu dengan menggunakan dek baja bergelombang dan beton. Pada bagian atap terdiri dari 3 zona, zona 1 dan 3 berada di bagian utara dan selatan sedangkan zona di apit zona 1 dan 3. Pada perencanaan atap zona 1 dan 3 menggunakan pelat atap sedangkan zona 2 menggunakan rangka baja. Analisis dan permodelan struktur rangka komposit baja-beton digunkannya

program ETABS 8.0. Analisis struktur atap rangka baja dilakukan secara 2D dengan program SAP2000 v14.

Hasil dari penelitian ini, pelat lantai menggunakan dek baja bergelombang karena pelat direncanakan 1 arah. Steel deck yang digunakan tipe P-2432 dari Canam Asia. Ketebalan *steel deck* 0,91 mm dan beban desain 661,98 kg/m<sup>2</sup> lebih besar dari beban berguna sehingga aman. (Safitri, 2013)

### **2.2.3 Analisis Pelat Dua Arah Dengan Metode Perencanaan Langsung (Studi Kasus Pelat Dengan Balok, Pelat Dengan *Drop Panel*, Pelat Datar)**

Analisis pelat dua arah dengan metode perencanaan langsung dibatasi pada perencanaan sistem pelat dua arah pada Sekolah Dasar Santo Yusuf Semarang. Metode analisis pelat dua arah yang digunakan yakni metode perencanaan langsung. Metode perencanaan langsung akan digunakan untuk menganalisis pelat dengan balok, pelat dengan drop panel dan pelat datar. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan, hasil desain dan biaya konstruksi antara pelat dengan balok, pelat dengan *drop panel* dan pelat datar.

Hasil dari analisis pelat dua arah dengan menggunakan metode langsung tebal pelat yang digunakan dari masing-masing jenis pelat berbeda seperti tebal 120 mm digunakan untuk pelat dengan balok, untuk tebal 150 mm digunakan untuk pelat datar sedangkan tebal 100mm digunakan pelat dengan drop panel. Perbedaan dialami juga pada perhitungan tulangan seperti pada pelat dengan balok terdapat kelebihan sebesar 12% dari tulangan yang di butuhkan, kelebihan 7% dari tulangan yang dibutuhkan terdapat pada pelat datar dan pelat dengan drop panel terdapat kelebihan 8% dari tulangan yang di butuhkan. Analisis biaya konstruksi untuk pelat dengan balok dibutuhkan Rp 49.157.243,30, pelat datar dibutuhkan biaya Rp 35.227.399,49, sedangkan pada pelat dengan *drop panel* dibutuhkan biaya sebesar Rp 30.228.582,54. (Sesaria & Febita, 2008)

## **2.3 KEASLIAN PENELITIAN**

Keaslian penelitian ini dibandingkan dengan penelitian yang terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Ini Dengan Penelitian Terdahulu**

No	Iwin Wijaya, 2009	Kurnia safitri, 2013	Sesaria & Febita, 2008	Penelitian ini
1.	Pelat lantai balok konvensional	Pelat komposit (dek baja bergelombang dan beton)	Pelat dengan balok, pelat dengan <i>drop panel</i> , pelat datar	<i>Waffle slab</i>
2.	SAP 2000	ETABS vr 8 dan SAP2000 vr 14	-	ETABS vr 9.0
3.	Dedy jaya mall Tegal	Hotel inna garuda Yogyakarta	SD santo yusuf Semarang	Gedung layanan akademik Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) kampus Wates

Perencanaan ulang pada gedung layanan Akademik Universitas Negeri Yogyakarta dengan menggunakan pelat lantai jenis *waffle slab* belum pernah dilakukan. Diharapkan penelitian ini dapat memberi kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya bidang struktur.

## **BAB III LANDASAN TEORI**

### **3.1 PELAT LANTAI**

Dalam dunia konstruksi beton bertulang, pelat lantai digunakan untuk mendapatkan permukaan datar yang berguna. Pelat lantai merupakan struktur bidang datar yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensi lebar dan panjangnya. Struktur bidang datar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar.

### **3.2 WAFFLE SLAB**

Salah satu jenis pelat lantai yakni *waffle slab*. *Waffle slab* adalah pelat lantai yang mempunyai balok-balok kecil yang saling menyilang. Penyilangan balok-balok pada umumnya memiliki jarak 19 – 30 in. Balok-balok kecil ini bertujuan di antaranya untuk memberi pengaku dan menahan beban yang berada di tengah pelat agar diteruskan ke perbesaran kolom. Penyilangan balok – balok kecil ini menyebabkan adanya rongga yang umumnya disebut *dome*. *Dome* ini dimaksudkan untuk mengurangi berat pelat sendiri. Bentuk *dome* ini dapat dicetak dengan beberapa media salah satunya dengan *fiber glass* yang membentuk kotak-kotak.

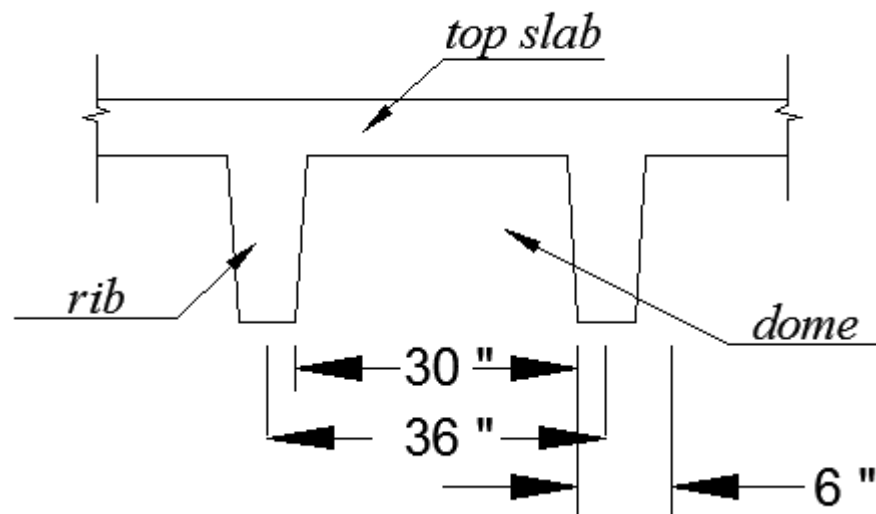
Banyak desain yang dapat digunakan untuk jenis pelat *waffle* ini, ada yang menggunakan penebalan kolom yang biasa disebut drop panel atau *solid head*, dan juga terdapat desain yang menggunakan balok untuk menghubungkan antar kolom.

#### **3.2.1 Dimensi *Standard Dome***

Dalam mendesain *waffle slab*, *dome* memiliki ukuran tersendiri. Menurut Ali pada *lecture*-nya tahun 2011, berikut ini standar ukuran *dome* yang paling banyak digunakan :

1. Ukuran *dome* 30 x 30 in. dengan memiliki lebar *rib* (balok kecil) 6 in. Jarak as *rib* ke as *rib* menjadi 36 in.

Ukuran *dome* dan *rib* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

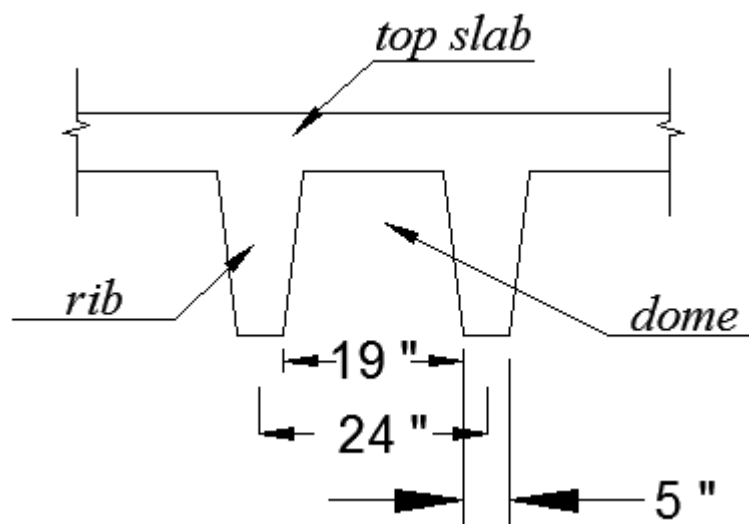


**Gambar 3.1 Ukuran Waffle Slab Dome 30"**

Sumber: (Ali, 2011)

- Ukuran *dome* 19 x 19 in. dengan memiliki lebar *rib* (balok kecil) 5 in. Jarak as *rib* ke as *rib* menjadi 24 in.

Ukuran *dome* dan *rib* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Ukuran Waffle Slab Dome 19"**

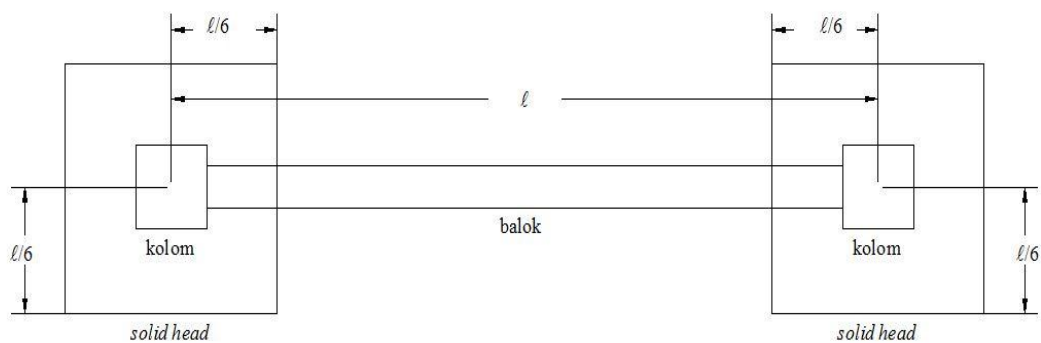
Sumber: (Ali, 2011)

### 3.2.2 Dimensi Dan Ketebalan *Solid head* (*Drop Panel*)

*Solid head* dapat disebut juga dengan perbesaran kolom. Perbesaran ini terjadi pada bagian ujung kolom yang menyatu dengan pelat lantai. Berikut ini merupakan ketentuan lebar dan tebal dari *solid head* (perbesaran kolom) :

1. Lebar *solid head* ditentukan berdasarkan panjang bentang satu kolom ke kolom satunya. Lebar setengah dari satu sisi *solid head* didapatkan dengan panjang bentang satu kolom ke kolom satunya dibagi dengan 6.

Untuk penjelasan *solid head* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3 Dimensi *Solid head***

Sumber: (Ali, 2011)

2. Ketebalan *solid head* adalah penjumlahan tinggi *rib* dan tebal *flat slab*

### 3.3 PEMBEBANAN

Pembebanan dalam suatu perencanaan bangunan adalah hal yang sangat perlu diperhatikan. Beban yang terjadi dan yang direncanakan terjadi harus ditahan oleh struktur bangunan. Hal ini bertujuan untuk membedakan jenis beban dan besar beban yang bekerja pada struktur.

#### 3.3.1 Beban mati

Beban mati adalah beban dari semua bagian gedung yang bersifat tidak bergerak (tetap) termasuk segala unsur tambahan. Beban mati dapat dikatakan sebagai berat sendiri bangunan. Di antara beban mati tersebut adalah kolom, balok, pelat dan bagian – bagian pada struktur yang melekat pada bangunan. Bagian – bagian pada struktur yang dimaksud adalah sebagai berikut :

- dinding
- keramik
- spesi
- lapisan kedap air

### 3.3.2 Beban hidup

Beban Hidup adalah beban yang disebabkan dari penggunaan dan penghunian suatu gedung. Beban hidup diungkapkan sebagai beban yang pasti ada dan dapat dipindahkan. Beban hidup pada bangunan di antaranya disebabkan oleh beban orang, meja, kursi. Pada atap, beban hidup dapat diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan serta material dan dapat juga diakibatkan oleh benda yang bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi hunian. Berikut ini merupakan beban hidup yang terkait pada penelitian ini. Nilai beban hidup lantai yang terkait pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum,  $L_o$  dan Beban Hidup Terpusat Minimum**

Hunian atau Penggunaan	Merata Psf ( $\text{kN/m}^2$ )	Terpusat lb (kN)
Gedung Perkantoran		
• Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
• Lobi dari koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
• Kantor	50 (2,40)	2000 (8,90)
• Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)

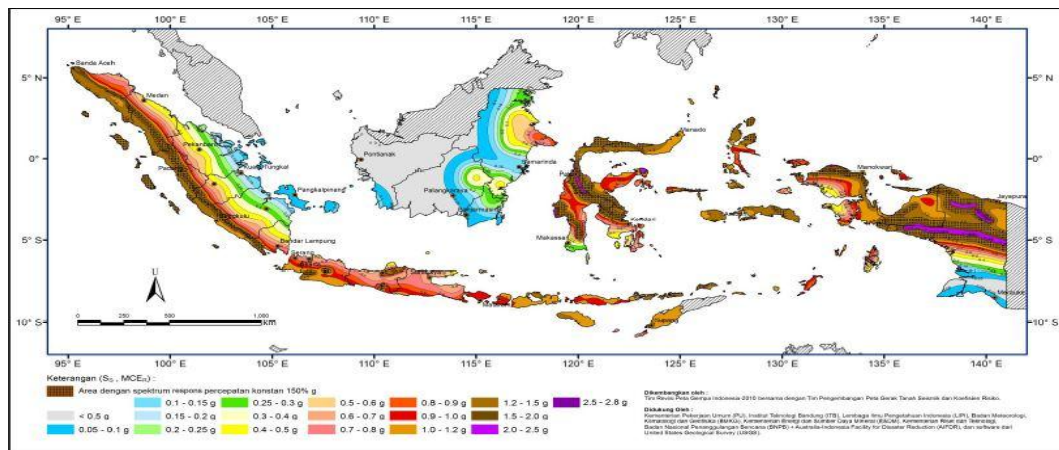
Sumber : (BSN, 03 - 1727 Beban minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, 2013)

Sesuai dengan Tabel 3.1 terdapat dua tipe beban hidup yakni beban hidup merata dan beban hidup terpusat. Beban hidup yang digunakan yaitu dipilih yang menghasilkan efek beban terbesar.

### 3.3.3 Beban Gempa

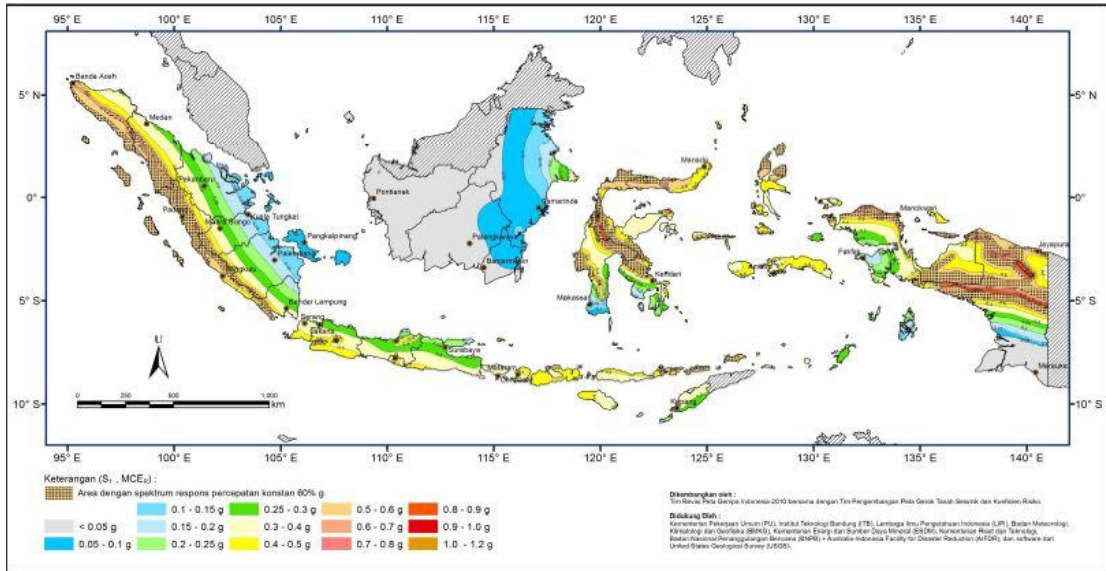
Beban gempa merupakan beban yang diakibatkan oleh gempa. Gempa yang terjadi dapat disebabkan oleh pergeseran lempeng bumi (gempa tektonik), pergerakan lava bumi yang keluar dari kubah lava (gempa vulkanik), atau ledakan (*blasting*). Berikut ini langkah – langkah dalam merencanakan pembebanan gempa bumi yang disebabkan pergeseran lempeng bumi :

Menentukan parameter percepatan batuan dasar, yaitu  $S_s$  (pada periode pendek) dan  $S_l$  (pada periode 1 detik). Parameter percepatan batuan dasar dapat didesain dengan menggunakan peta gempa Indonesia tahun 2010. Penentuan nilai  $S_s$  dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan penentuan nilai  $S_l$  dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.4 Peta Spektrum Respon Percepatan Periode 0.2 detik ( $S_s$ )**

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)



**Gambar 3.5 Peta Spektrum Respon Percepatan Periode 1 Detik ( $S_1$ )**

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

1. Menentukan koefisien situs (*Site coefficient*),  $F_a$  dan  $F_v$  untuk wilayah yang ditinjau. Untuk penentuan respon spektra percepatan gempa di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik ( $F_a$  dan  $F_v$ ) pada periode 0,2 detik dan 1 detik.  $F_a$  adalah faktor amplifikasi periode pendek 0,2 detik, dan  $F_v$  adalah faktor amplifikasi periode 1 detik.

Faktor amplifikasi  $F_a$  ditampilkan dalam Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2 Faktor Amplifikasi Untuk Periode Pendek ( $F_a$ )**

Klasifikasi <i>Site</i>	$S_s$				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
Batuan keras ( <i>SA</i> )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan ( <i>SB</i> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah sangat padat dan batuan lunak ( <i>SC</i> )	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah sedang ( <i>SD</i> )	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah lunak ( <i>SE</i> )	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah khusus ( <i>SF</i> )	$S_s$	$S_s$	$S_s$	$S_s$	$S_s$

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

Faktor amplifikasi  $F_v$  ditampilkan dalam Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3 Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik ( $F_v$ )**

Klasifikasi Site	$S_I$				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
Batuan keras ( $SA$ )	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan ( $SB$ )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah sangat padat dan batuan lunak ( $SC$ )	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah sedang ( $SD$ )	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah lunak ( $SE$ )	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah khusus ( $SF$ )	$SS$	$SS$	$SS$	$SS$	$SS$

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

## 2. Menentukan parameter respon spektrum

Hubungan koefisien – koefisien situs dan parameter respon spektra

$$SM_s = Fa \times S_s \quad (3.3)$$

Keterangan :  $Fa$  = faktor amplifikasi pada periode pendek

$SM_s$  = parameter spektrum respon percepatan periode pendek

$$SM_1 = F_v \times S_1 \quad (3.4)$$

Keterangan :  $F_v$  = faktor amplifikasi pada periode 1 detik

$SM_1$  = Parameter spektrum respon percepatan 1 detik

## 3. Spektrum respon desain

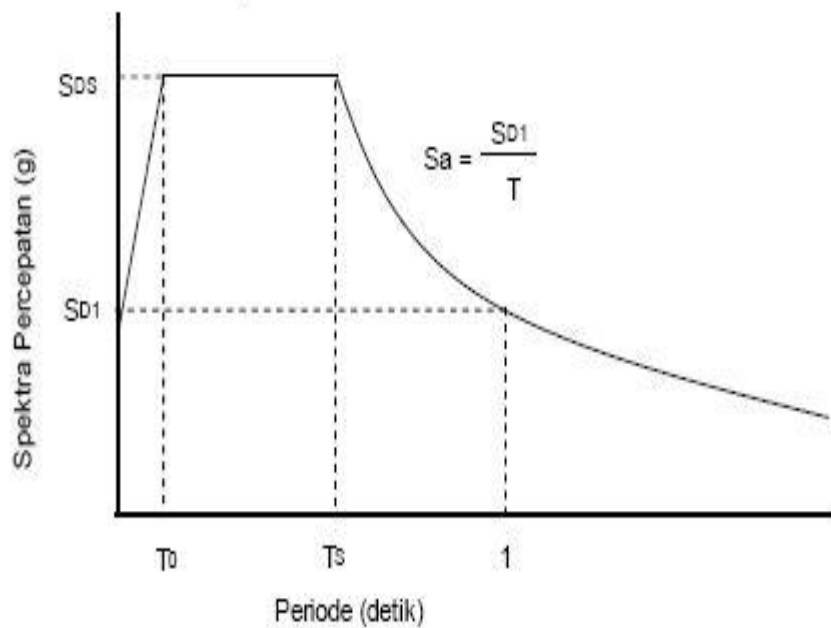
$$Sds = \frac{2}{3} SM_s \quad (3.5)$$

Keterangan :  $Sds$  = parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek

$$Sd1 = \frac{2}{3} S_1 \quad (3.6)$$

Keterangan :  $Sd1$  = parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik

Grafik spektrum respon desain yang menghubungkan periode dengan spectra percepatan dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini :



**Gambar 3.6 Grafik Spektrum Respon Desain**

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

Keterangan :

- a. Untuk periode lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan,  $S_a$  didapatkan dari persamaan berikut :

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

- b. Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon percepatan,  $S_a$  adalah sama dengan  $S_{DS}$ .

- c. Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan,  $S_a$  didapatkan dari persamaan berikut :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.8)$$

Keterangan :  $T$  = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \times T_s \quad (3.9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.10)$$

5. Menentukan waktu getar alami struktur ( $T$ )

Waktu getar alami struktur ( $T$ ) dihitung untuk digunakan pada perhitungan nilai  $S_a$ . Untuk mencari nilai  $T$  dapat dilihat dari persamaan berikut ini.

$$T = C_t \times H^x \quad (3.11)$$

Keterangan:  $H$  = tinggi struktur bangunan dari permukaan hingga tingkat tertinggi struktur

Nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini :

**Tabel 3.4 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang di isyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

#### 6. Geser dasar seismik

Geser dasar seismik adalah gaya geser pada bangunan yang dipengaruhi oleh berat bangunan dan koefisien respon seismik. Menentukan geser dasar seismik ( $V$ ) dengan persamaan berikut ini.

$$V = C_s \times W \quad (3.12)$$

Keterangan :  $C_s$  = koefisien respon seismik

##### a. Koefisien respon seismik

Koefisien respon seismik ( $C_s$ ) ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$C_s = \frac{(S_{ds} I)}{R} \quad (3.13)$$

Keterangan :  $I$  = faktor keutamaan struktur

$R$  = tingkat daktilitas struktur

Nilai  $C_s$  yang hitung sesuai dengan persamaan 3.13 tidak perlu melebihi persamaan berikut ini.

$$C_s = \frac{S_{d1} \times I}{T \times R} \quad (3.14)$$

Nilai  $C_s$  harus tidak kurang dari persamaan berikut ini.

$$C_s = 0.044 \times S_{d5} \times I \geq 0.01 (g) \quad (3.15)$$

Pembagian Kategori resiko dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini :

**Tabel 3.5 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung Untuk Beban Gempa**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan UGD - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo	III

Lanjutan Tabel 3.5 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan misal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

Faktor keutamaan struktur dapat dilihat pada tabel kategori desain seismik berikut ini :

**Tabel 3. 6 Faktor Keutamaan Gempa**

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : (BSN, SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012)

7. Menghitung gaya horizontal gempa ekivalen statik ( $F_i$ )

$$F_i = \frac{W_i H_i^k}{\sum W_i H_i^k} \times V \quad (3.16)$$

Keterangan :  $F_i$  = gaya horizontal gempa

$W_i$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang di tempatkan atau dikenakan pada tingkat I atau x

$H_i$  = tinggi (m) dari dasar sampai tingkat I atau x

$K$  = eksponen yang terkait dengan perioda sebagai berikut :

- Untuk struktur dengan  $T \leq 0.5$  detik,  $k = 1$
- Untuk struktur dengan  $T \geq 2.5$  detik,  $k = 2$
- Untuk struktur dengan nilai  $0.5 < T < 2.5$ ,  $k = 2$  atau harus ditentukan dengan interpoasi linier antara 1 dan 2

### 3.3.4 Kuat Perlu

Struktur dan komponen struktur harus direncanakan sehingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu menurut “SNI 2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*”. Perhitungan yang berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor. Dengan kombinasi pembenanan sebagai berikut ini,

$$U = 1,4D \quad (3.17)$$

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } R) \quad (3.18)$$

$$U = 1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0L \text{ atau } 0,5W) \quad (3.19)$$

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

(3.20)

$$U = 1,2D + 1,0 + 1,0L \quad (3.21)$$

$$U = 0,9D + 1,0W \quad (3.22)$$

$$U = 0,9D + 1,0E \quad (3.23)$$

Keterangan :

$U$  = kekuatan perlu

$D$  = beban mati

$L$  = beban hidup

$Lr$  = beban hidup atap

$R$  = beban hujan

$W$  = beban angin

$E$  = beban gempa

Kecuali sebagai berikut :

- (a) Faktor beban pada beban hidup  $L$  dalam persamaan (3.19) sampai (3.21) diizinkan direduksi sampai 0,5 kecuali untuk garasi, luasan yang ditempati sebagai tempat perkumpulan publik, dan semua luasan dimana  $L$  lebih besar dari  $4,8 \text{ kN/m}^2$ .
- (b) Bila  $W$  didasarkan pada beban angin tingkat layan,  $1,6W$  harus digunakan sebagai pengganti dari  $1,0W$  dalam persamaan (3.20) dan (3.22), dan  $0,8W$  harus digunakan sebagai pengganti dari  $0,5W$  dalam persamaan (3.19)
- (c) Dihilangkan karena tidak relevan.

Pada penelitian ini digunakan kombinasi beban sesuai dengan apa yang di rencanakan. Beban yang bekerja yaitu beban mati, beban hidup serta beban gempa, maka kombinasi yang digunakan persamaan (3.17), persamaan (3.18), persamaan (3.21), dan persamaan (3.23). Pada persamaan kombinasi tersebut memiliki ketentuan pada beban mati sebagai berikut

$$0,2 * Sds + D \quad (3.24)$$

Serta untuk gempa akan dijabarkan menjadi 2 arah yakni gempa arah X dan gempa arah Y, dengan ketentuan 100 persen gaya untuk satu arah dan 30 persen

gaya untuk arah tegak lurus. Setelah dilakukan penyesuaian ketentuan, maka kombinasi yang di gunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

$$1,4 D \quad (3.25)$$

$$1,2 D + 1,6 L \quad (3.26)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L + 1,0 EQ_X + 0,3 EQ_Y \quad (3.27)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L + 1,0 EQ_X - 0,3 EQ_Y \quad (3.28)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L - 1,0 EQ_X + 0,3 EQ_Y \quad (3.29)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L - 1,0 EQ_X - 0,3 EQ_Y \quad (3.30)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L + 0,3 EQ_X + 1,0 EQ_Y \quad (3.31)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L + 0,3 EQ_X - 1,0 EQ_Y \quad (3.32)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L - 0,3 EQ_X + 1,0 EQ_Y \quad (3.33)$$

$$(1,2+(0,2*Sds)) D + 1,0 L - 0,3 EQ_X - 1,0 EQ_Y \quad (3.34)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D + 1,0 EQ_X + 0,3 EQ_Y \quad (3.35)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D + 1,0 EQ_X - 0,3 EQ_Y \quad (3.36)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D - 1,0 EQ_X + 0,3 EQ_Y \quad (3.37)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D - 1,0 EQ_X - 0,3 EQ_Y \quad (3.38)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D + 0,3 EQ_X + 1,0 EQ_Y \quad (3.39)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D + 0,3 EQ_X - 1,0 EQ_Y \quad (3.40)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D - 0,3 EQ_X + 1,0 EQ_Y \quad (3.41)$$

$$(0,9+(0,2*Sds)) D - 0,3 EQ_X - 1,0 EQ_Y \quad (3.42)$$

### 3.4 PERENCANAAN PELAT DUA ARAH WAFFLE SLAB

Dalam merencanakan pelat lantai dua arah, Peraturan SNI 2847-2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung* menyatakan bahwa perencanaan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut ini.

1. Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam masing-masing arah.
2. Panel pelat harus berbentuk persegi dengan perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek diukur antara sumbu-ke-sumbu tumpuan, tidak lebih dari 2.
3. Panjang bentang yang bersebelahan, diukur antara sumbu-ke-sumbu tumpuan, dalam masing-masing arah tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang terpanjang.

4. Posisi kolom boleh menyimpang maksimum sejauh 10% panjang bentang (dalam arah penyimpangan) dari garis-garis yang menghubungkan sumbu-sumbu kolom yang berdekatan.
5. Beban yang diperhitungkan hanyalah beban gravitasi dan terbagi merata pada seluruh panel pelat. Beban hidup tidak boleh melebihi 2 kali beban mati.
6. Untuk suatu panel pelat dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, kekakuan relatif balok dalam dua arah yang tegak lurus,

$$0,2 \leq \frac{\alpha_1 l_2^2}{\alpha_2 l_1^2} \leq 0,5$$

(3.43)

Keterangan:  $\alpha_1$  = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur penampang pelat pada arah  $l_1$

$\alpha_2$  = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur penampang pelat pada arah  $l_2$

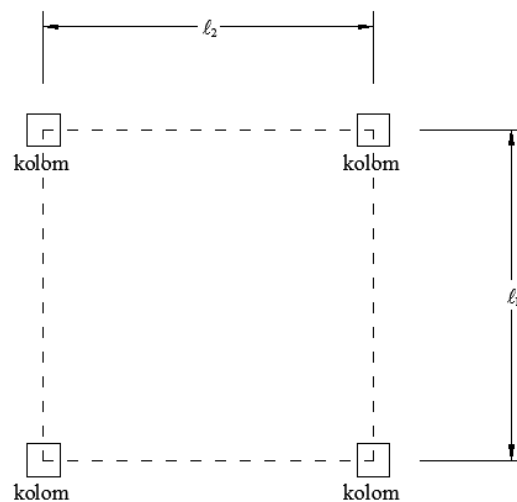
$l_1$  = panjang bentang as ke as, dari momen yang ditinjau

$l_2$  = panjang bentang as ke as yang tegak lurus dengan  $l_1$

Variasi dari syarat-syarat perencanaan pelat dua arah diijinkan bila ditunjukkan dengan analisis bahwa kekuatan desain setiap penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang telah ditetapkan.

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

$l_1$  dan  $l_2$  diperlihatkan pada Gambar 3.7



### Gambar 3.7 Penjelasan $l_1$ dan $l_2$

Sumber: (McCormac, 2004)

#### 3.4.1 Perbandingan Rasio Kekakuan Balok dan Pelat

Pelat – pelat secara umum didesain dengan balok- balok membentang dari setiap kolom. Balok –balok ini didesain untuk mengurangi penurunan dari panel luar pada pelat.

Untuk perbandingan kekakuan lentur pada balok dan pelat dituangkan dalam persamaan  $\alpha$  , dengan rumus :

$$\alpha = \frac{E_{cb} \times I_b}{E_{cp} \times I_p} \quad (3.44)$$

Keterangan:  $E_{cb}$  = modulus elastisitas pada balok beton

$E_{cp}$  = modulus elastisitas pada pelat beton

$I_b$  = momen inersia balok

$I_p$  = momen inersia pelat

Sumber : (ACI, 2008)

#### 3.4.2 Ketebalan Minimum Pelat Lantai Dua Arah

Pelat lantai sebagai struktur bangunan yang memiliki dimensi lebih kecil (tebal pelat) dibanding bagian struktur lainnya. Dalam merencanakan tebal pelat lantai terdapat beberapa ketentuan. Berikut ini ketentuan dalam merencanakan ketebalan pelat lantai :

1. Tebal pelat minimum tanpa balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisi. Ketentuan untuk tebal minimum pelat dapat dilihat pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.7 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior (satuan dalam millimeter)**

Tegangan leleh $f_y$ MPa <sup>†</sup>	Tanpa penebalan <sup>‡</sup>			Dengan penebalan <sup>‡</sup>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel ekterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>§</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>§</sup>	
280	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{40}$	$\frac{l_n}{40}$
420	$\frac{l_n}{30}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{33}$	$\frac{l_n}{36}$	$\frac{l_n}{36}$

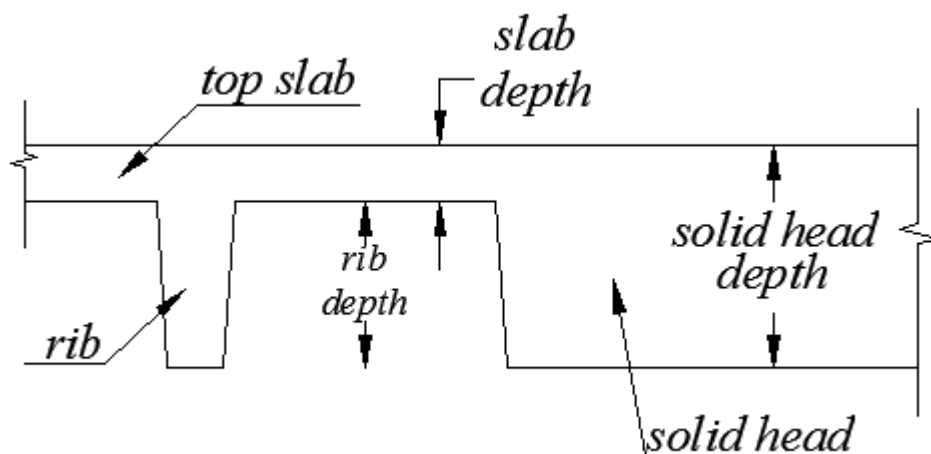
520	$\frac{l_n}{28}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{31}$	$\frac{l_n}{34}$	$\frac{l_n}{34}$
-----	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Lanjutan tabel 3.7 Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior (satuan dalam millimeter)

<p>*Untuk Konstruksi dua arah, <math>l_n</math> adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, di ukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balaokatau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.</p> <p>†Untuk <math>f_y</math> antara nilai yang diberikan dalam table, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier</p> <p>‡Panel drop jika digunakan untuk mengurangi jumlah tulangan momen negative pada kolom atau tebal slab perlu minimum</p> <p>§Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai <math>\alpha_1</math> untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8</p>
---

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

2. Ketebalan minimum pelat dua arah digunakan sebagai acuan untuk ketebalan ribs dan flat slab. Acuan ini digunakan hanya untuk *standard dome* yaitu 19" x 19" dan 30" x 30". Acuan dapat disesuaikan dengan mencari nilai  $t_e$  (equivalent thickness) yang terdekat namun lebih besar. Penjelasan kedalaman *rib* dan *slab* dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Kedalaman Rib Dan Slab

Sumber : (Ali, 2011)

Tabel *equivalent thickness* dengan *standard dome* 19" x 19" dapat dilihat pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8 Waffle Flat Slabs (19" x 19" voids at 2'-0")-Equivalent Thickness**

<i>Rib + Slab Depths (in.)</i>	<i>Equivalent Thickness <math>t_e</math> (in.)</i>
8 + 3	8,89
8 + 4,5	10,11
10 + 3	10,51
10 + 4,5	11,75
12 + 3	12,12
12 + 4,5	13,38
14 + 3	13,72
14 + 4,5	15,02
16 + 3	15,31
16 + 4,5	16,64

Sumber : (CSRI, 2002)

Untuk *standard dome* 30" x 30" dapat dilihat pada Tabel 3.9.

**Tabel 3.9 Waffle Flat Slabs (30" x 30" voids at 3'-0")-Equivalent Thickness**

<i>Rib + Slab Depths (in.)</i>	<i>Equivalent Thickness <math>t_e</math> (in.)</i>
8 + 3	8,61
8 + 4,5	9,79
10 + 3	10,18
10 + 4,5	11,37
12 + 3	11,74
12 + 4,5	12,95
14 + 3	13,3
14 + 4,5	14,54
16 + 3	14,85
16 + 4,5	16,12
20 + 3	17,92
20 + 4,5	19,26

Sumber: (CSRI, 2002)

### 3.4.3 Perhitungan Gaya Geser

Pada bagian *solid head* harus dicek untuk menahan gaya geser. Daerah kritis pada daerah *solid head* berada di  $d/2$  dari muka kolom. Pada daerah tepi *solid head*, daerah kritis berada di  $d/2$  ke tepi *solid head*.

1. Pada daerah *solid head* untuk  $d/2$  dari muka kolom

$$d = h_{sh} - Sb - \phi_{sengkang} - (0,5 * \phi_{tulangan}) \quad (3.45)$$

$$d' = \frac{d}{2} \quad (3.46)$$

$$Bo = (h \text{ kolom} + d) * 4 \quad (3.47)$$

$$\beta = \frac{b_{kolom}}{h \text{ kolom}} \quad (3.48)$$

$$\lambda = 1$$

$\alpha_s$  = kolom interior 40

= kolom tepi 30

= kolom sudut 20

Perhitungan  $\emptyset V_c$

$$\text{Kondisi 1} = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.49)$$

$$\text{Kondisi 2} = 0,083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.50)$$

$$\text{Kondisi 3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.51)$$

$\emptyset V_c > V_u$  OK!

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

2. Pada daerah pelat untuk jarak  $d/2$  ke tepi *solid head*

$$d = h_{sh} - Sb - (0,5 * \emptyset_{tulangan}) \quad (3.52)$$

$$Bo = (lsh + d) * 4 \quad (3.53)$$

$$\lambda = 1$$

$\alpha_s$  = kolom interior 40

= kolom tepi 30

= kolom sudut 20

Perhitungan  $\emptyset V_c$

$$\text{Kondisi 1} = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.54)$$

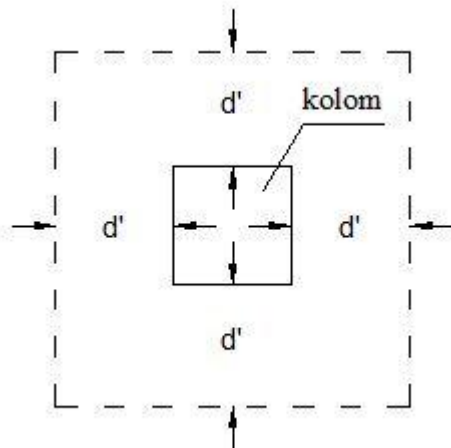
$$\text{Kondisi 2} = 0,083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.55)$$

$$\text{Kondisi 3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (3.56)$$

Maka  $\emptyset V_c > V_u$  OK!

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

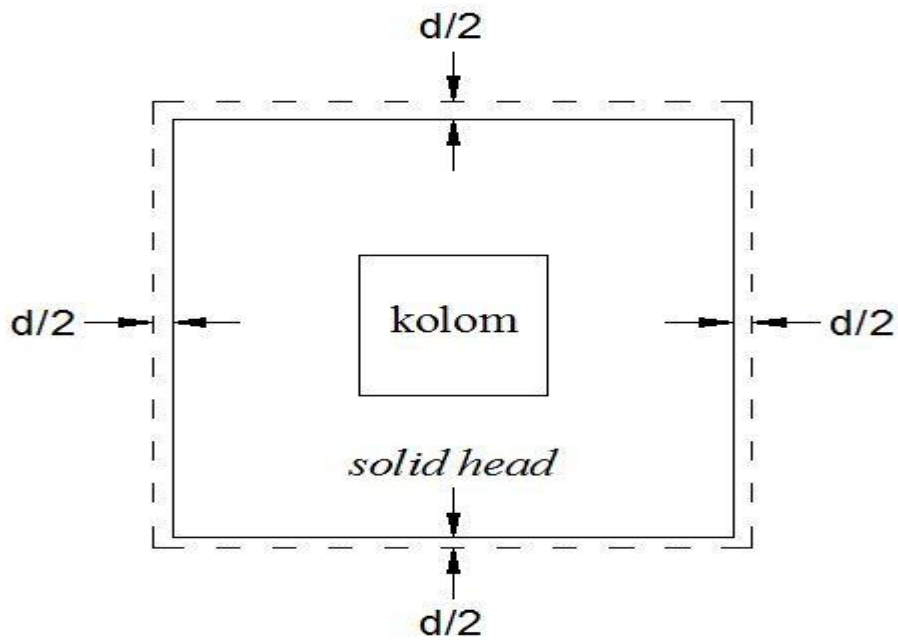
Jarak daerah kritis pada muka kolom akan diperlihatkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9 Daerah Gaya Geser Pada Muka Kolom**

Salinan: (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

Jarak daerah kritis pada tepi *solid head* pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10 Daerah Gaya Geser Pada Tepi *Solid head***

Salinan: (Hassoun & Al-Manaseer, 2008)

### 3.4.4 Perhitungan Momen Statis

1. Momen statis yang terjadi di *joists (ribs)*,  $M_{oj}$

$$M_{oj} = \frac{W_{uj} \times l_2 \times l_n^2}{8} \quad (3.57)$$

Keterangan:  $M_{oj}$  = momen statis di *joist*

$W_{uj}$  = beban terfaktor akibat *joist*

Sumber : (Ali, 2011)

2. Momen statis yang terjadi di *solid head*,  $M_{osh}$

$$M_{osh} = \frac{W_{ush} \times ba^2}{2} \quad (3.58)$$

Keterangan:  $M_{osh}$  = momen statis di *solid head*

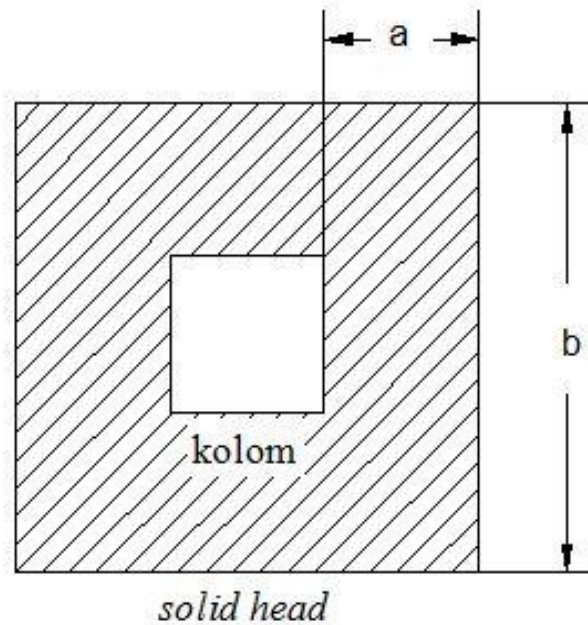
$W_{ush}$  = beban terfaktor akibat *solid head*

$b$  = lebar *solid head*

$a$  = jarak muka kolom terhadap muka *solid head*

Sumber : (Ali, 2011)

penjelasan  $a$  dan  $b$  dijelaskan pada Gambar 3.11 berikut.



**Gambar 3.11 Penjelasan  $a$  dan  $b$**

Salinan: (Ali, 2011)

3. Total momen statis,  $M_o$

$$M_o = M_{oj} + M_{osh} \quad (3.59)$$

Keterangan:  $M_o$  = total momen statis pada 1 panel pelat

Sumber : (Ali, 2011)

Umumnya nilai momen yang terjadi *solid head* ( $M_{osh}$ ) kecil sehingga momen tersebut dapat diabaikan. (Ali, 2011)

4. Momen Terfaktor Negatif Dan Positif

- a. Momen terfaktor negatif dihitung pada muka tumpuan persegi. Tumpuan yang berbentuk lingkaran maupun segi banyak beraturan harus diperlakukan sebagai tumpuan bujur sangkar dengan luas yang sama.
- b. Pada bentang dalam (*interior*), momen terfaktor negatif 65% dan momen terfaktor positif 35%.
- c. Pada bentang ujung momen total terfaktor didistribusikan sesuai Tabel 3.10.

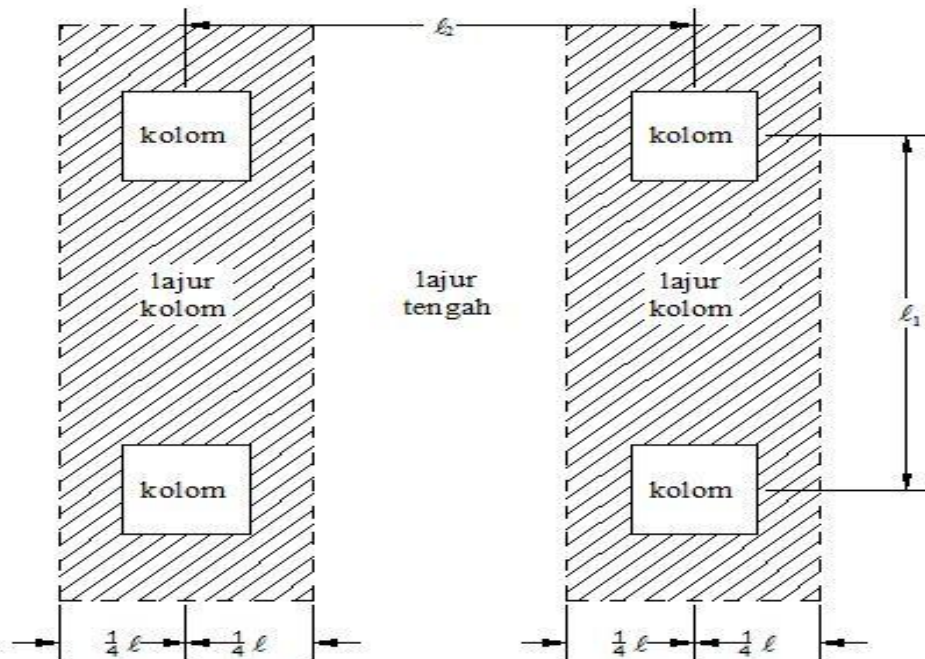
**Tabel 3.10 Distribusi Momen Total Terfaktor**

	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)
	Tepi ekterior tak-terkekang	Slab dengan balok di antara semua tumpuan	Slab tanpa balok di antara tumpuan interior		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi
Momen terfaktor negatif <i>interior</i>	0,75	0,70	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,50	0,35
Momen terfaktor negative ekterior	0	0,16	0,26	0,30	0,30	0,65

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

5. Momen terfaktor pada lajur kolom

Lajur kolom adalah lajur pelat lantai dengan lebar di setiap sisi garis tengah kolom sama dengan  $\frac{1}{4}$  dari yang terkecil antara  $l_1$  atau  $l_2$ . Hal ini akan dijelaskan pada Gambar 3.12.



**Gambar 3.12 Lajur Kolom Dan Lajur Tengah**

Salinan: (McCormac, 2004)

- a. Lajur kolom harus mampu memikul momen terfaktor negatif dalam.

Momen terfaktor negatif dalam berbentuk presentase dari  $M_o$ .

Presentase momen terfaktor negatif dalam dapat dilihat pada Tabel 3.11.

**Tabel 3.11 Presentase Momen Terfaktor Negatif Dalam Yang Harus Dipikul Lajur Kolom**

$l_2/l_1$	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	90	75	45

Sumber : (BSN, 03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai  $(\alpha_1 l_2/l_1)$  yang berada antara 0 dan 1

- b. Lajur kolom harus mampu memikul momen terfaktor negatif luar. Momen terfaktor negatif luar berbentuk presentase dari  $M_o$ .

Presentase momen terfaktor negatif luar dapat dilihat pada Tabel 3.12.

**Tabel 3.12 Presentase Momen Terfaktor Negatif Luar Yang Harus Dipikul Lajur Kolom**

$l_2/l_1$		0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

Interpolasi linier harus dilakukan untuk nilai  $(\alpha_1 l_2/l_1)$  yang berada antara 0 dan 1.

Nilai  $\beta_t$  adalah nilai perbandingan antara kekakuan puntir balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat sepanjang bentang balok tepi. Panjang balok tepi diukur dari sumbu ke sumbu tumpuan. Nilai  $\beta_t$  didapat dari persamaan berikut ini :

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2 E_{cp} I_p} \quad (3.60)$$

Keterangan:  $C$  = konstanta penampang untuk menentukan kekakuan puntir

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

- c. Lajur kolom harus mampu memikul momen terfaktor positif. Momen terfaktor positif berbentuk presentase dari  $M_o$ .

Presentase momen terfaktor positif dapat dilihat pada Tabel 3.13.

**Tabel 3.13 Presentase Momen Terfaktor Positif Yang Harus Dipikul Lajur Kolom**

$l_2/l_1$	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1,0$	90	75	45

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai – nilai yang berada diantara 0,5 , 1 , dan 2.

6. Momen terfaktor pada lajur tengah

Lajur tengah adalah lajur dengan lebar setengah dari bentang terkecil antara  $l_1$  atau  $l_2$  yang berada pada tengah bentang pelat diantara lajur kolom.

- a. Momen terfaktor negatif dan positif yang tidak dipikul lajur kolom akan dibagikan kepada setengah lajur tengah yang berada di sebelahnya.
- b. Lajur tengah harus mampu memikul momen yang diberikan pada lajur kolom yang bersebelahan.
- c. Lajur tengah yang berdekatan ataupun sejajar dengan tepi yang ditumpu oleh dinding harus mampu memikul dua kali momen yang dibagikan lajur kolom.

Sumber : (BSN, SNI Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 2013)

### 3.4.5 Penulangan Waffle Slab

1. Menentukan lebar lajur ( $b$ )

Lebar lajur dicari satu per satu. Lajur terbagi atas lajur kolom dan lajur tengah. Nilai  $b$  pada lajur kolom terdiri dari lebar *solid head* dan lebar lajur kolom itu sendiri. Sedangkan nilai  $b$  pada lajur tengah terdiri dari jumlah lebar *rib* yang berada di lajur tengah dan lebar lajur tengah itu sendiri.

2. Mencari nilai ( $d$ )

Simbol  $d$  berarti jarak dari permukaan beton terhadap titik tengah tulangan. Nilai  $d$  dapat dicari dengan rumus berikut :

$$d = \text{tebal solid head} - \text{spesi} - (0,5 \times \text{diameter asumsi tulangan}) \quad (3.61)$$

3. Mencari rasio tulangan,  $\rho$

Rasio tulangan digunakan untuk menentukan banyak atau sedikitnya tulangan yang didesain. Semakin kecil rasio tulangan semakin sedikit tulangan yang digunakan. Rasio tulangan dapat dicari dengan rumus berikut :

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (3.62)$$

$$\rho = \frac{0.85 \times f_{c'}}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times Mu}{1.7 \times \emptyset \times f_{c'} \times b \times d^2}} \right] \quad (3.63)$$

Keterangan:  $\emptyset$  = faktor reduksi kekuatan (0.9)

$Mu$  = Momen terfaktor

$$\rho_{max} = 0.75 \times \rho_b \quad (3.64)$$

$$\rho_b = \frac{510 \times \beta \times f_{c'}}{(600 + f_y) \times f_y} \quad (3.65)$$

Keterangan:  $\beta$  = factor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen, yang bergantung pada mutu beton ( $f_{c'}$ ) sebagai berikut :

Untuk  $f_{c'} \leq 28$  MPa, maka  $\beta = 0.85$

$$\text{Untuk } f_{c'} > 28 \text{ MPa, maka } \beta = 0.85 - \frac{0.05 \times (f_{c'} - 30)}{7} \quad (3.66)$$

Syarat  $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$  maka di pakai  $\rho$  dan bila  $\rho_{min} > \rho$  maka di pakai  $\rho_{min}$

4. Mencari Luas tulangan,  $As$

$$As = \rho \times b \times d \quad (3.67)$$

Luas tulangan minimum ( $As_{min}$ ) dapat dicari dengan rumus berikut :

a. Jika  $f_y \leq 300$  Mpa maka

$$As_{min} = 0.002 \times b \times h \quad (3.68)$$

b. Jika  $f_y = 400$  Mpa maka

$$As_{min} = 0.0018 \times b \times h \quad (3.69)$$

c. Jika  $f_y > 400$  Mpa maka

$$As_{min} = 0.0018 \times \frac{400}{f_y} \quad (3.70)$$

5. Mencari tulangan

Jarak tulangan dapat dicari dengan rumus :

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{\left(\frac{1}{4} \times \pi \times D^2\right) \times b}{As} \quad (3.71)$$

Untuk jumlah tulangan pada *rib* dapat dicari dengan rumus :

$$As \text{ per rib} = \frac{As \times b}{n \text{ rib pada jarak } b} \quad (3.72)$$

$$\text{jumlah tulangan per rib} \times \text{luas tulangan} > \text{As per rib} \quad (3.73)$$

Apabila hasil kurang dari *As per rib* maka jumlah tulangan atau diameter tulangan diganti.

Keterangan: *D* = diameter tulangan yang digunakan

### **3.5 RENCANA ANGGARAN BIAYA**

Rencana anggaran biaya (RAB) adalah perencanaan perhitungan biaya yang diperlukan pada suatu pekerjaan dalam suatu proyek konstruksi. Pembuatan RAB bertujuan untuk memberikan estimasi atau gambaran mengenai besarnya biaya suatu proyek konstruksi.

Terdapat tiga unsur yang berperan dalam penyusunan RAB dan pelaksanaannya dengan penjelasan berikut.

#### **1. Pemilik proyek**

Pemilik proyek merupakan pihak yang mempunyai ide dalam menjalankan proyek serta pihak yang menyediakan dana. Pemilik proyek bisa dari perorangan / individu, perusahaan / organisasi swasta, maupun suatu instansi pemerintah

#### **2. Perencana**

Perencana merupakan pihak yang ditugaskan oleh pemilik proyek untuk menyusun rencana anggaran biaya dengan mempertimbangkan beberapa aspek.

#### **3. Kontraktor**

Kontraktor merupakan perusahaan yang bersifat perorangan yang berbadan hukum, atau tidak badan hukum yang bergerak dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

RAB merupakan anggaran perkiraan, yang dibuat sebelum proyek dilaksanakan. Perhitungan RAB didapat berdasarkan gambar rencana struktur bangunan dan spesifikasi yang sudah ditentukan, upah tenaga kerja, harga material dan alat.

#### **3.5.1 Analisis Harga Satuan**

Analisa harga satuan adalah suatu perumusan yang berguna untuk menetapkan harga dan upah masing-masing dalam bentuk satuan. Berikut ini adalah macam-macam daftar analisa harga yang sering digunakan dalam perhitungan anggaran biaya oleh estimator, antara lain : (Sunaryo, 2014)

##### **1. Daftar Analisa BOW (*Burgelijke Openbare Welken*)**

Daftar Analisa BOW adalah daftar analisa pertama yang di dalamnya terdapat perhitungan harga dan upah untuk mendapatkan harga suatu pekerjaan. Koefisien analisa harga satuan BOW ini berasal dari penelitian zaman belanda dahulu, untuk ini sudah jarang digunakan karena adanya pembengkakan biaya pada koefisien tenaga.

## 2. Daftar Analisa SNI

Daftar analisa SNI adalah daftar analisa perhitungan biaya yang telah dibakukan dan ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia.

## 3. Analisa Modifikasi (EI)

Daftar analisa EI adalah daftar analisa perhitungan biaya yang dibuat oleh pihak Dinas Pekerjaan Umum (DPU) yang telah dibakukan sebagai daftar analisa perhitungan biaya beserta pekerjaan.

### 3.5.2 Volume Pekerjaan

Ilmu dasar perhitungan kebutuhan bahan bangunan atau material merupakan ilmu matematika dengan menggunakan rumus dasar luas, keliling, atau volume. Jumlah satuan pekerjaan dihitung dengan buah atau unit yang terdiri dari rangkaian material yang sudah menjadi satu kesatuan. Penentuan satuan satuan pekerjaan berdasarkan jenis pekerjaan adalah sebagai berikut. (Sunaryo, 2014)

1. Volume pekerjaan yang mempunyai luas dan ketebalan atau mempunyai penampang dan panjang dihitung dengan menggunakan satuan  $m^3$ .
2. Volume pekerjaan yang hanya memiliki luas dan ketebalan relatif tipis dihitung dengan menggunakan satuan  $m^2$ .
3. Pekerjaan yang cenderung memanjang (besaran panjang lebih dominan dibanding lebar) dihitung dengan menggunakan satuan  $m^1$  atau disebut dengan meter lari.
4. Volume bahan bangunan satuan dihitung dengan menggunakan satuan ukuran buah (bh).
5. Volume bahan-bahan satuan yang terdiri dari beberapa komponen bahan yang terkait menjadi satu dihitung dengan menggunakan satuan unit.

## **BAB IV METODE PERENCANAAN**

### **4.1 TINJAUAN UMUM**

Metode perencanaan ulang adalah langkah – langkah dan rencana pada bangunan yang telah ada didesain kembali dengan desain yang berbeda. Hal ini dimulai dari latar belakang, masalah yang sedang ditinjau, pengamatan, pengumpulan data dengan observasi di lapangan maupun referensi tertulis. Data yang dikumpulkan akan dilanjutkan dengan pengolahan data yang diikuti dengan pembahasan serta mengambil kesimpulan dari desain yang direncanakan kembali.

Suatu bangunan yang telah ada akan direncanakan ulang untuk membandingkan hasil perencanaan. Perbandingan desain bangunan dapat ditinjau dari perencanaan struktur maupun RAB. Dalam penelitian ini, perencanaan struktur pelat lantai akan dibandingkan hasil perencanaannya. Secara umum langkah – langkah dalam merencanakan ulang pelat lantai dilakukan dengan mencari data bangunan yang akan direncanakan ulang, melakukan analisis pembenanan, analisis pelat lantai dan kesimpulan dari perencanaan.

#### **4.1.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian pada perencanaan ulang pelat lantai gedung akan diklasifikasikan ke dalam jenis analisis. Analisis yang digunakan untuk merencanakan ulang dengan metode perencanaan langsung (*direct design method*). Metode DDM didapat dari peraturan SNI 2847-2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”. Metode DDM digunakan untuk merencanakan ulang pelat lantai-balok menjadi pelat lantai tipe *waffle slab*. Perencanaan ulang pelat lantai dengan *waffle slab* direncanakan dengan bantuan *software* ETABS vr. 9.6.0

### **4.2 DATA STRUKTUR**

Bangunan gedung layanan akademik UNY dipilih sebagai gedung yang akan direncanakan ulang, terutama pada lantainya direncanakan dengan *waffle*

*slab*. Untuk kepentingan tersebut data bangunan yang diperlukan adalah sebagai berikut.

1. Lokasi gedung
2. Data tanah
3. Data struktur gedung secara lengkap

Bangunan gedung layanan akademik UNY telah direncanakan dan telah dibangun oleh PT. Prima Andalan Group.

#### **4.3 TAHAP PERENCANAAN (*FLOWCHART*)**

*Flowchart* didefinisikan sebagai bagan - bagan yang menunjukkan arus proses pengerjaan suatu masalah. Bagan ini menjelaskan urutan - urutan pengerjaan mulai dari awal hingga tahapan akhir. *Flowchart* bertujuan untuk memudahkan peneliti dalam melakukan tahapan penelitian. Dalam penelitian ini, tahapan perencanaan ulang yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

##### 1. Pengumpulan data

###### a. Observasi

Observasi dilakukan dengan menentukan gedung yang akan direncanakan ulang. Setelah penentuan gedung maka dilanjutkan dengan mencari data gedung tersebut. Data dicari dengan mengajukan ijin kepada kontraktor agar dapat meminta data struktur. Dalam penelitian ini, Gedung yang direncanakan ulang yakni gedung layanan akademik UNY Wates.

##### 2. Analisis

###### a. *Software* ETABS vr 9.6.0

Analisis perencanaan ulang didesain dengan bantuan *software*. Salah satu *software* yang dapat membantu perencanaan adalah ETABS vr 9.6.0. Pemilihan *software* ETABS dikarenakan *software* ini memiliki menu yang langsung dapat menentukan grid dari *waffle slab*.

###### b. Metode perencanaan langsung (*direct design method*)

Perencanaan ulang akan direncanakan dengan perhitungan manual selain dengan bantuan *software* ETABS. Perhitungan manual akan

menggunakan metode perencanaan langsung (*direct design method*). Metode DDM adalah pendekatan momen dengan koefisien – koefisien yang disederhanakan. Metode DDM didapatkan dari peraturan SNI 2847-2013 “Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”.

### 3. Hasil

#### a. Gambar denah struktur dan penulangan

Analisis yang telah diselesaikan akan dilanjutkan dengan menggambar denah struktur dan detail penulangan. Penggambaran denah struktur dan penulangan dibantu dengan software AutoCAD 2013.

#### b. RAB

Rencana anggaran biaya akan dibuat setelah analisis dan penggambaran struktur terselesaikan. RAB dibuat dengan mengacu pada Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton Untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan SNI-2016.

### 4. Perbandingan

#### a. Desain awal

Desain awal didapat dari kontraktor yang mendesain dan membangun gedung layanan akademik UNY.

#### b. Desain akhir

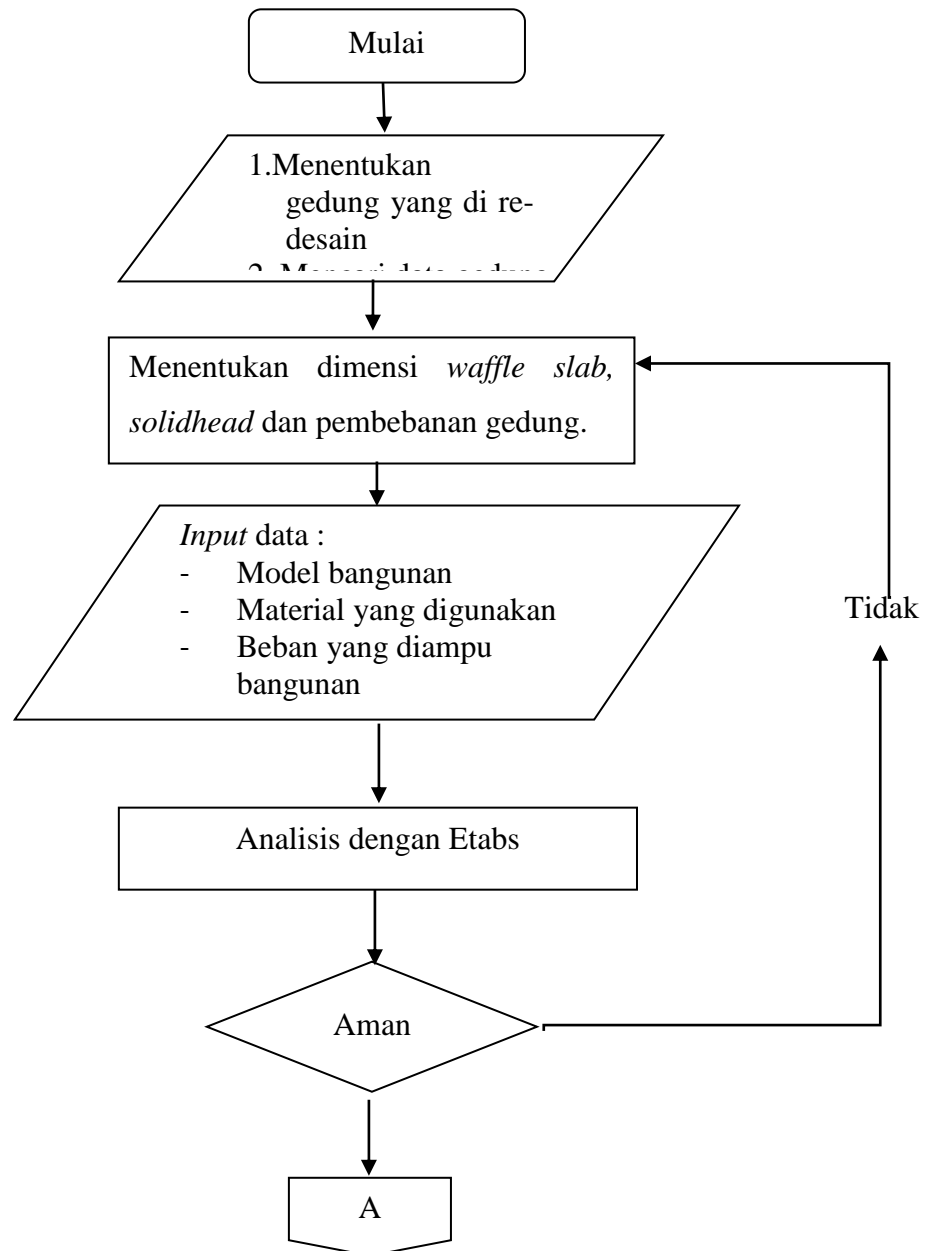
Desain akhir didapat dengan menyelesaikan tahapan perencanaan *waffle slab* lalu dicek pada desain kolom dan pondasi. RAB akan dibuat sebagai tahapan akhir dalam perencanaan ulang.

### 5. Kesimpulan

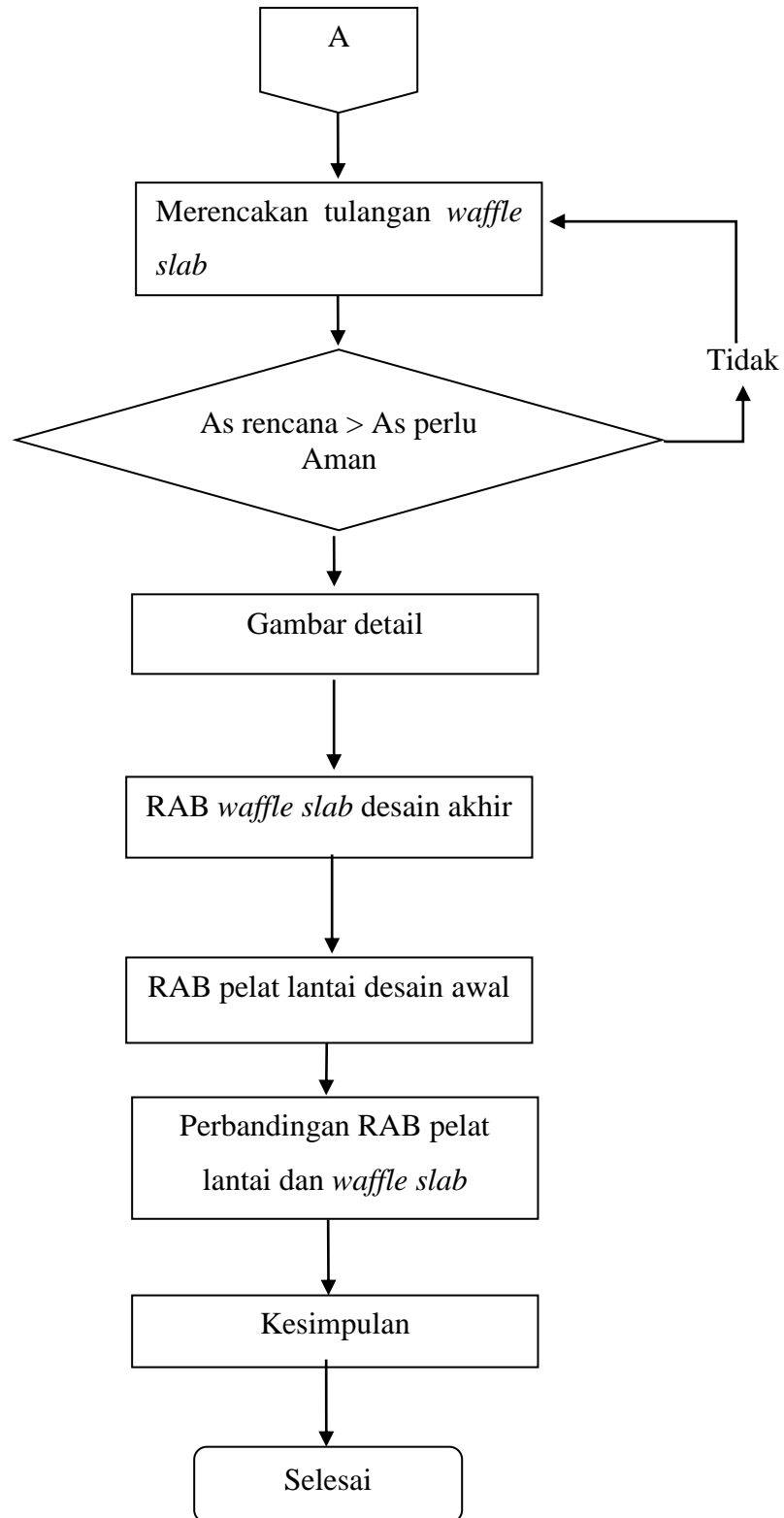
#### a. Desain awal dan desain akhir dibandingkan

Akhir dari penelitian ini, desain awal akan dibandingkan dengan desain akhir. RAB yang akan ditinjau sebagai perbandingan antara desain awal dengan desain akhir atau perencanaan ulang pada penelitian ini.

Untuk lebih jelasnya, *Flow chart* perencanaan ulang dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1.a** *Flow Chart* Perencanaan Ulang Pelat Lantai Gedung UNY



**Gambar 4.1.b** Kelanjutan *Flow Chart* Gambar 4.1.a

#### 4.4 JADWAL TUGAS AKHIR

Tugas akhir perencanaan ulang dilaksanakan pada bulan Januari 2017 sampai bulan September 2017. Penjadwalan tugas akhir perencanaan ulang ini secara umum dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4.1 Jadwal Tugas Akhir Perencanaan Ulang**

No	Kegiatan	Tahun 2017 Bulan Ke :								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Pendaftaran									
2	Penentuan Dosen Pembimbing									
3	Pembuatan Proposal									
4	Konsultasi Penyusunan TA									
5	Sidang Hasil									
6	Kolokium									
7	Pendadaran									

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 UMUM**

Perencanaan ulang struktur suatu bangunan dapat didesain dengan struktur yang berbeda bentuk maupun fungsi. Salah satu perencanaan ulang yakni dengan mengganti pelat lantai dan balok dengan *waffle slab*. *Waffle slab* dapat direncanakan dengan dua metode yakni metode perencanaan langsung dan metode portal ekivalen. Dalam tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah metode perencanaan langsung. Pada metode perencanaan langsung, didapatkan momen yang disederhanakan dengan koefisien-koefisien.

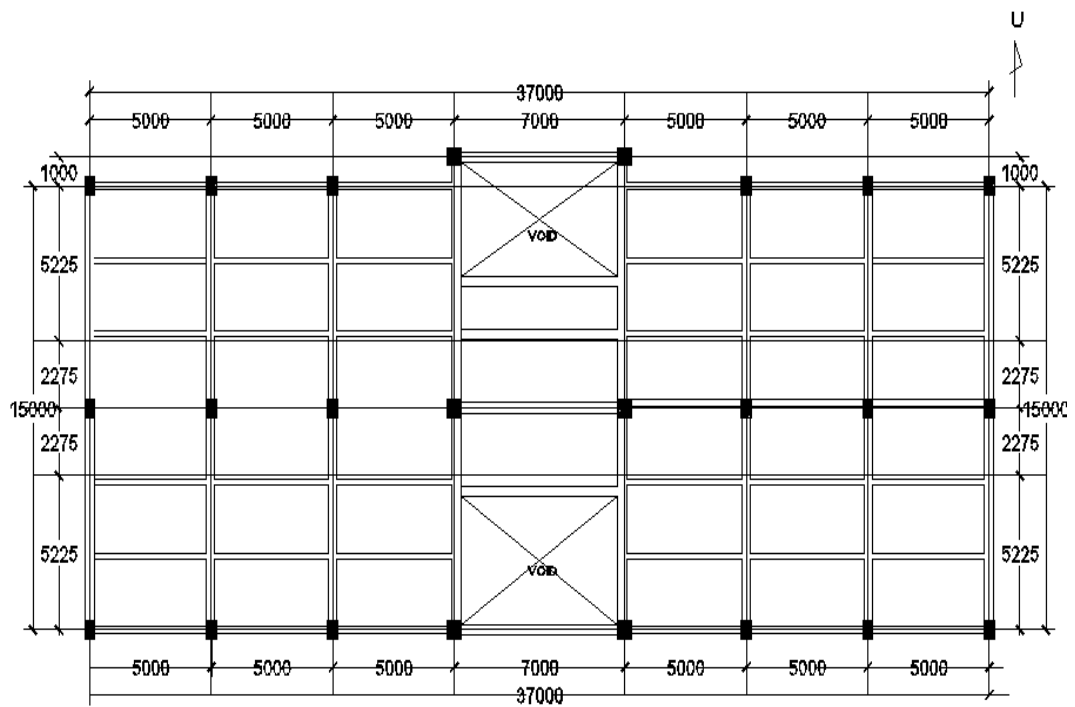
Bangunan yang digunakan untuk desain *waffle slab* adalah gedung layanan akademik UNY. Pelat lantai pada gedung tersebut direncanakan ulang dengan *waffle slab*. *Waffle slab* dianalisis dengan menggunakan bantuan program *ETABS* vr.9.0.6. Analisis juga dibantu dengan referensi dari *Lecture-10 "Analysis and design of Two-way Slab Systems"* (Ali, 2011), dan mengacu pada tabel "*Concrete Reinforced and Steel Institute*" (*CRSI*) *Design Handbook 2002*.

#### **5.2 DATA PERENCANAAN GEDUNG**

Untuk keperluan analisis diperlukan data gedung, data gedung ini diperoleh dari PT Prima Andalan Group, yaitu gedung layanan akademik UNY. Adapun data gedung tersebut adalah sebagai berikut ini

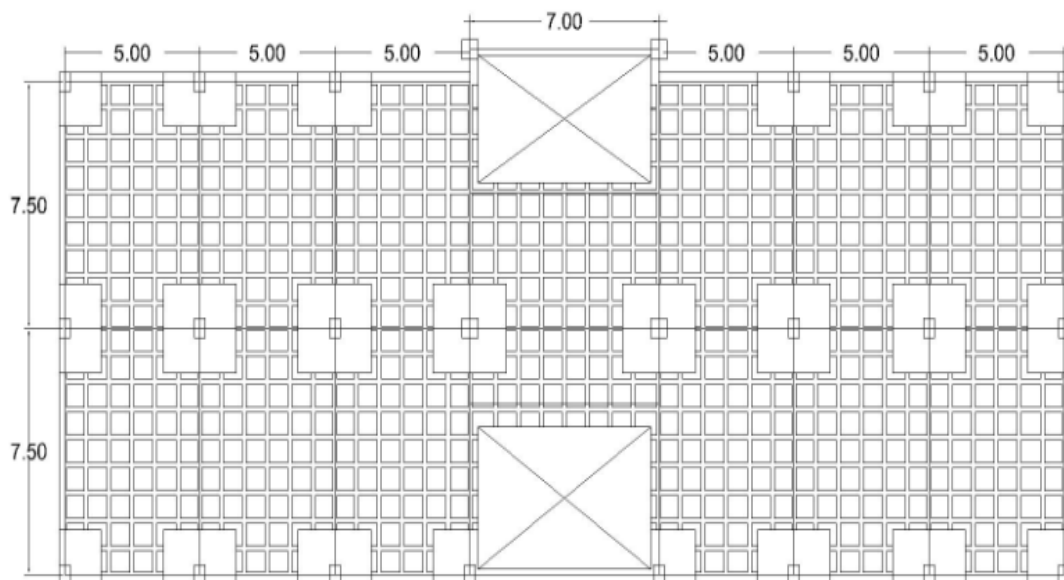
- 1. Nama Gedung** : Gedung layanan akademik UNY
- 2. Fungsi Bangunan** : Perkantoran
- 3. Lokasi** : Jl. Bhayangkara No. 7 Desa Watulunyu Kec. Wates  
Kab. Kulon Progo provinsi D.I Yogyakarta
- 4. Banyak Tingkat** : 4 tingkat.
- 5. Mutu beton,  $f'c$**  : 25 MPa
- 6. Mutu baja tulangan ( $f_y$ )**  $D \leq 10 = \text{BJTP } 24, f_y = 240 \text{ MPa}$   
 $D > 10 = \text{BJTD } 40, f_y = 400 \text{ Mpa}$
- 7. Denah Lantai**

Denah lantai awal adalah oleh seperti dilihat pada Gambar 5.1 di bawah ini

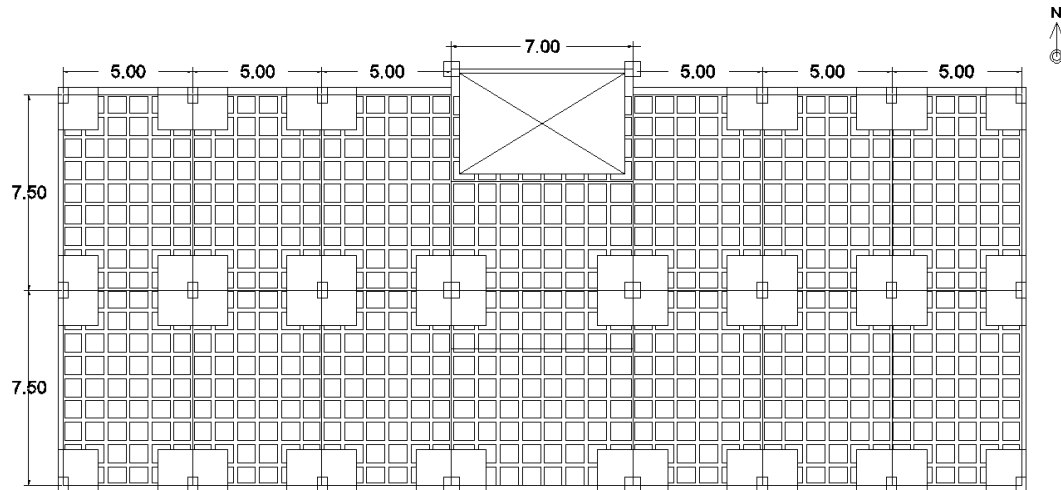


**Gambar 5.1 Denah Lantai Awal**

Denah lantai didesain ulang dengan system lantai waffle adalah seperti diadakan pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3 di bawah ini



**Gambar 5.2 Desain Ulang Slab Lantai 1 dan 2 Dengan Waffle Slab**



**Gambar 5.3 Desain Ulang Slab Lantai 3 Dengan Waffle Slab**

### 5.3 PERENCANAAN WAFFLE SLAB

Perencanaan *slab* lantai dengan *waffle slab* meliputi pembagian dimensi *slab* lantai, dimensi *waffle slab* dari *dome* hingga rusuk (*ribs*), dimensi *solid head*, tebal *waffle slab*.

#### 5.3.1 Dimensi Dome dan Ribs

*Waffle slab* mempunyai bentuk persilangan – persilangan *ribs* (balok kecil) yang terlihat seperti kue wafel. Pada umumnya, ukuran untuk *dome* (bagian yang tidak bersilangan *ribs*) dan *ribs* telah ada standardnya, yaitu *dome* ukuran 19 in x 19 in dengan lebar *ribs* 5 in dan ukuran *dome* 30 in x 30 in dengan lebar *ribs* 6 in. Pada perencanaan ulang ini, ukuran yang akan digunakan *dome* 70cm x 70cm serta lebar *ribs* ditetapkan 15cm. Pemilihan *dome* disesuaikan dengan bentang yang ditinjau. Pemilihan *dome* didapat dengan cara *trial and error*.

##### 1) Pemilihan pertama

*Dome* yang dipilih pada percobaan pertama yakni sesuai dengan standard dimensi *dome* dan *ribs waffle slab*.

*Dome* : 30 in x 30 in (76,2 cm x 76,2 cm)

*Ribs* : 6 in (15,24 cm)

Hasil pemilihan dimensi tersebut tidak sesuai harapan pada bentang yang ditinjau. Hal tersebut dikarenakan pada hasil input pada program *etabs*

banyak dimensi *dome* yang tidak sesuai dengan yang direncanakan serta angka dalam satuan centimeter (cm) bukan bilangan bulat.

## 2) Pemilihan kedua

*Dome* yang dipilih pada percobaan kedua yakni sesuai dengan standard dimensi *dome* dan *ribs waffle slab* yang lebih kecil.

Dome : 19 in x 19 in (48,26 cm x 48,26 cm)

Ribs : 5 in (12,7 cm)

Hasil pemilihan dimensi tersebut tidak sesuai harapan pada bentang yang ditinjau. Hal tersebut dikarenakan pada hasil input pada program *etabs* banyak dimensi *dome* yang tidak sesuai dengan yang direncanakan serta angka dalam satuan centimeter (cm) bukan bilangan bulat.

## 3) Pemilihan Ketiga

Pada percobaan pertama dan percobaan kedua, hasil yang tidak sesuai dengan bentang dikarenakan angka yang digunakan bukan bilangan bulat maka pada percobaan ketiga akan digunakan bilangan bulat.

*Dome* : 70 cm x 70 cm

*Ribs* : 15 cm

Hasil pemilihan *dome* 70cm x 70cm sesuai dengan bentang yang ditinjau. Penyesuaian dimensi *dome*, *ribs* dan bentang tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan. Perbedaan pada 30 in x 30 in (76.2cm x 76.2cm) dengan 70cm x 70cm harus diinterpolasi. Dalam pemakaian ukuran *dome* 70cm x 70cm serta lebar *ribs* 15cm.

### 5.3.2 Tebal Slab dan Tinggi Ribs

Penentuan tebal *slab* dan tinggi *ribs* menggunakan tabel “*Waffle Flat Slabs – Equivalent Thickness*” yang bersumber pada buku “*CRSI design handbook 2002*”.

#### 1) *Equivalent Thickness (te)*

*Equivalent thickness* ditentukan berdasarkan Tabel 3.7 minimum *slab*. *Equivalent thickness* dipengaruhi oleh mutu baja dan panjang bentang bersih

(Ln). Untuk mutu baja yang tidak ada dalam tabel, *Equivalent thickness* ditentukan dengan cara interpolasi atau ekstrapolasi.

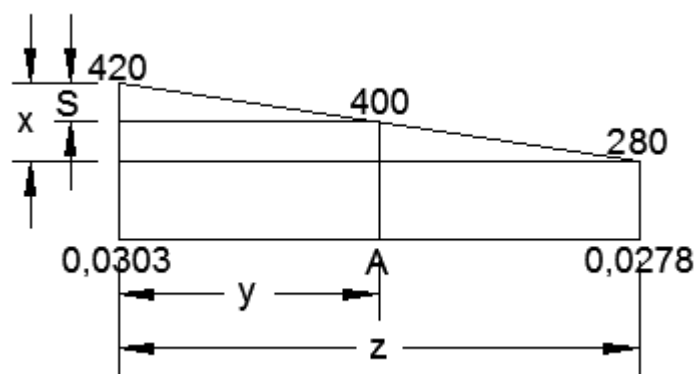
Dari Tabel 3.7  $f_y = 420$  Mpa maka tebal *slab*  $ln/33$  dan  $f_y = 280$  Mpa maka tebal *slab*  $ln/36$

Untuk  $f_y = 400$  Mpa ( $t_e$ ) menjadi  $ln/q$ , maka  $q$  :

$$f_y = 420 \text{ (jika } ln = 1) \frac{ln}{33} = 0.0303$$

$$f_y = 280 \text{ (jika } ln = 1) \frac{ln}{36} = 0.0278$$

interpolasi menjadi seperti Gambar 5.4.



**Gambar 5.4 Interpolasi *Equivalent Thickness***

$$\frac{x}{z} = \frac{s}{y}$$

$$y = \frac{s \cdot z}{x}$$

$$y = 0,00037$$

$$A = 0,0303 - 0,00037$$

$$A = 0,0299$$

$$A = \frac{ln}{q} = \frac{1}{q}$$

$$q = \frac{1}{0,0299}$$

$$q = 33,3975$$

Maka untuk  $f_y = 400$  Mpa

$$t_e = \frac{ln}{33,3975}$$

Panjang bentang bersih (Ln) = 6,9 m = 271,653 in

$$t_e = \frac{Ln}{34.65} = \frac{271,653}{33.3975} = 8,13 \text{ in.}$$

## 2) Menentukan Tebal Slab dan Tinggi Rib

Tebal slab dan tinggi rib ditentukan berdasarkan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9. Tabel ditinjau berdasarkan standard ukuran *dome*. Penggunaan ukuran *dome* yang tidak ada pada tabel standard maka perlu interpolasi atau ekstrapolasi.

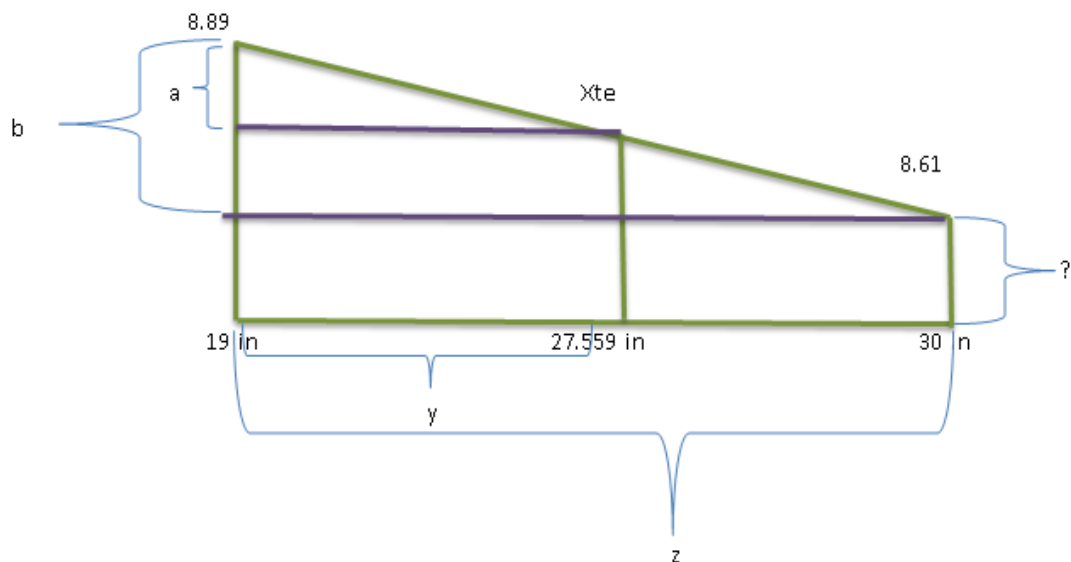
a) Untuk *dome* 19 in x 19 in

- Tinggi *rib* = 8 in
- Tebal *slab* = 3 in
- $t_e = 8.89$  in

b) Untuk *dome* 30 in x 30 in

- Tinggi *rib* = 8 in
- Tebal *slab* = 3 in
- $t_e = 8.61$  in

Pelat (*slab*) menggunakan ukuran *dome* 70 cm x 70 cm (27.559 in x 27.559 in), oleh karena ukuran *dome* tidak ada pada tabel standard maka perlu dilakukan interpolasi. Interpolasi dilakukan terhadap ukuran *dome* 30 in x 30 in dan *dome* ukuran 19 in x 19 in seperti pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5 Interpolasi Ukuran *Dome* 30 in x 30 in Dan Ukuran *Dome* 19 in x 19 in**

*Equivalent thickness* ( $x_{te}$ ) *dome* ukuran 27.559 in dapat dicari dengan menggunakan interpolasi. Interpolasi dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Berdasarkan Gambar 5.5 didapat persamaan sebagai berikut :

$$\frac{b}{z} = \frac{a}{y}$$

$$a = \frac{b}{z} * y$$

$$a = \frac{(8,89-8,61)}{(30-19)} * (27,559 - 19)$$

$$= 0,22$$

$$8,89 - x_{te} = a$$

$$8,89 - x_{te} = 0,22$$

$$x_{te} = 8,67 \text{ in}$$

Maka diperoleh tabel seperti dibawah ini:

**Tabel 5.1 *Equivalent Thickness 27,559” Dome***

<i>Equivalent thickness</i>		
<i>Rib Depth</i> (in)	<i>Slab Depth</i> (in)	27,559 (in)
8	3	8,67
	4,5	9,86
10	3	10,25
	4,5	11,45
12	3	11,82
	4,5	13,04
14	3	13,39
	4,5	14,64
16	3	14,95
	4,5	16,23

Dengan bentang terbesar menjadi 6,9 m maka (te) yang di peroleh 8,13 in. Tebal te ini tidak ada dalam Tabel 5.1 maka dipilih tebal dengan minimum (te) 8,13 in. Oleh karena itu (te) yang digunakan yakni 8,67 in. Maka tinggi rib dan tebal slab adalah sebagai berikut.

- Tinggi *rib* = 8 in = 20,32 cm (21 cm)
- Tebal *slab* = 3 in = 7,6 cm (8cm)

### 5.3.3 Solid head

*Solid head* merupakan perbesaran pada ujung kolom. *Solid head* bertujuan untuk menahan gaya geser. *Solid head* ditentukan berdasarkan bentang terpanjang sebagai acuan. *Solid head* didapat dengan cara sebagai berikut.

Bentang terpanjang (L) = 7,5 m

$$\begin{aligned} L_{sh} &= \frac{L}{3} \\ &= \frac{7,5}{3} \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka minimal lebar *solid head* 2,5 m

Lebar *solid head* disesuaikan dengan *rib* dan *dome*. *Solid head* meyatu dengan *slab waffle* yang terdiri dari *rib* dan *dome*. Mencari lebar *solid head* yang menyesuaikan *waffle slab* dengan cara

$$\begin{aligned} L \text{ solidhead} &= (n \times \text{lebar rib}) + ((n - 1) \times \text{lebar dome}) \geq L_{sh} \\ (n \times 15) + ((n - 1) \times 70) &\geq 250 \\ 15n + 70n - 70 &\geq 250 \\ 95n &\geq 330 \\ n &\geq \frac{330}{95} \\ n &\geq 3,47 \end{aligned}$$

Maka n = 4

$$\begin{aligned} L \text{ solid head} &= (4 \times 15) + (3 \times 70) \\ &= 270 \text{ cm} = 2,7 \text{ m} > 2,5 \text{ m(oke)} \end{aligned}$$

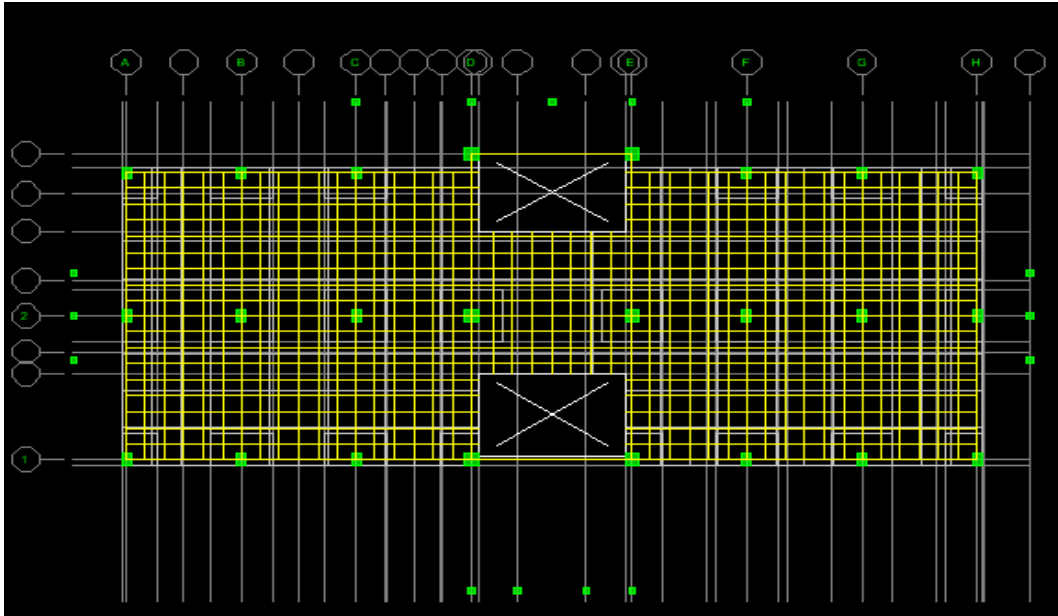
Tebal *solid head* dapat ditentukan dengan cara penjumlahan dari tinggi *rib* dan tebal *slab*. Berikut ini penjabarannya

$$\begin{aligned} h \text{ solid head} &= h \text{ rib} + h \text{ slab} \\ &= 21 \text{ cm} + 8 \text{ cm} \\ &= 29 \text{ cm} \end{aligned}$$

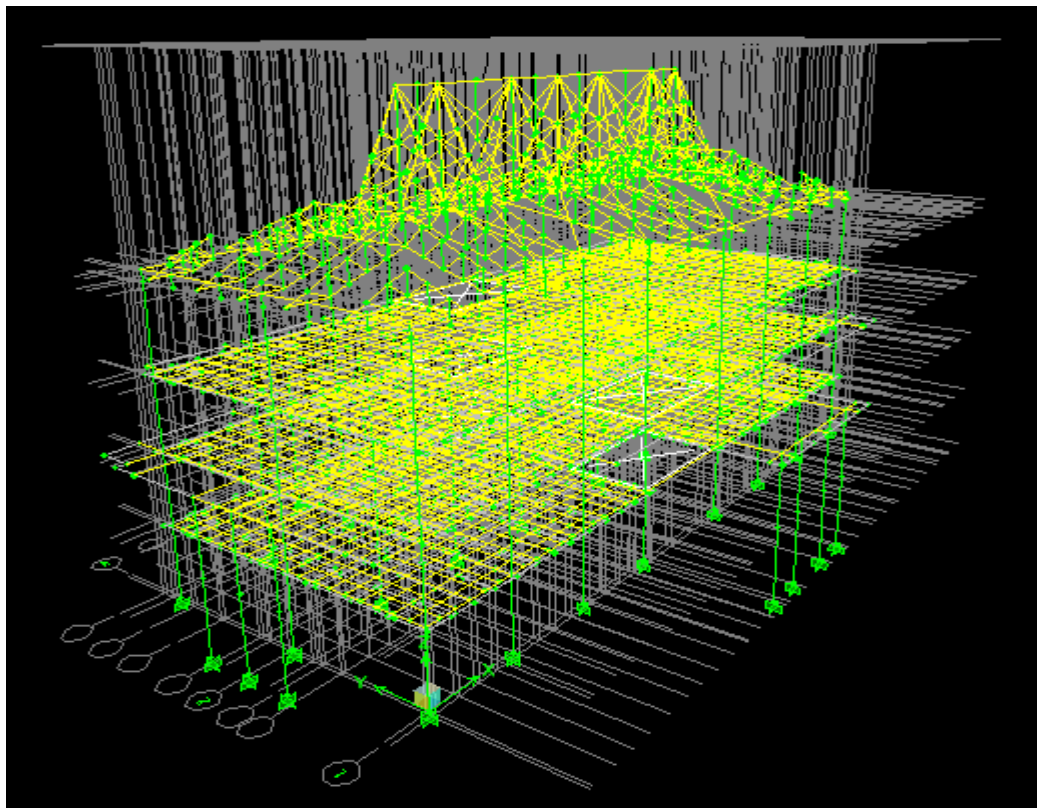
### 5.3.4 Permodelan Struktur dengan Etabs

Permodelan struktur bangunan pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan proram etabs. Dimensi – dimensi yang telah direncanakan dimasukan pada program etabs. Permodelan yang dimodelkan pada program etabs dilakukan secara menyeluruh untuk elemen struktur. Permodelan dimodelkan sesuai dengan

bangunan yang telah ada. Pada Gambar 5.6 Dan Gambar 5.7 dapat dilihat permodelan gedung layanan akademik UNY.



**Gambar 5.6 Permodelan 2D Waffle Slab**



**Gambar 5.7 Permodelan 3D Waffle Slab**

Untuk permodelan *waffle slab* pada program *etabs*, perlakuan *slab* pada *waffle slab* yakni digunakan tipe *shell*. Hal ini dikarenakan tipe *shell* pada program *etabs* memiliki fungsi seperti *membrane* serta fungsi dari *plate*. Pada Gambar 5.8 akan dijelaskan fungsi-fungsi dari tipe *slab* pada program *etabs* yang didapat dari “*Help*” *etabs*.

- **Type options.** A wall or **slab** section can have shell, membrane or plate-type behavior.
  - Shell-type behavior means that both in-plane membrane stiffness and out-of-plane plate bending stiffness are provided for the section.
  - Membrane-type behavior means that only in-plane membrane stiffness is provided for the section.
  - Plate-type behavior means that only out-of-plane plate bending stiffness is provided for the section.

### **Gambar 5.8 Penjelasan Tipe Slab**

#### **5.4 PEMBENANAN LANTAI**

Lantai suatu gedung dirancang untuk dapat mendukung beban - beban yang bekerja pada lantai tersebut. Beban tersebut berupa beban mati dan beban hidup. Berikut ini disajikan perhitungan beban yang bekerja pada lantai untuk diinput pada program *etabs*.

##### 1) Beban mati lain (*Qd* lain)

a. Berat spesi	= h x BJ. Spesi	
	= 0.03 m x 20,6 KN/m <sup>3</sup>	= 0,618 KN/m <sup>2</sup>
b. Berat lap. kedap air	= h x BJ. Lapisan kedap air	
	= 0.02 m x 18,64 KN/m <sup>3</sup>	= 0.373 KN/m <sup>2</sup>
c. Berat pasir	= h x BJ. Pasir	
	= 0.045 m x 17,17 KN/m <sup>3</sup>	= 0.773 KN/m <sup>2</sup>
d. <u>Keramik</u>	= Berat keramik	= 0.17 KN/m <sup>2</sup> +
	Total beban mati lain	= 2,042 KN/m <sup>2</sup>

##### 2) Beban hidup (*Ql*)

Beban hidup pada SNI 2013 terdapat beban hidup merata dan beban hidup terpusat. Beban yang digunakan yakni salah satu yang mempunyai efek kekuatan yang lebih besar. Pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 dapat dilihat hasil momen dari masing – masing beban hidup.

**Tabel 5.2 Hasil Momen dengan Beban Hidup Merata**

	M11		M22	
	<i>small</i>	<i>large</i>	<i>small</i>	<i>large</i>
F144	-2,96839	2,007369	-3,74145	2,230329
F140	-0,4569	1,191823	-1,44265	3,403062
F136	-0,67497	1,063528	-1,34838	3,191448
F132	-3,46006	0,749181	-6,18874	1,774487
F142	-4,45423	3,964131	-3,47199	2,138188
F138	-0,26281	1,722408	-0,01561	2,621318
F134	-0,17477	1,556338	-0,54878	2,565202
F130	-9,1798	5,452198	-14,0127	6,517427
F143	-1,22839	2,444386	-3,71213	1,206565
F139	0,104464	1,722915	-0,02972	2,793518
F135	0,10685	1,525412	-0,38881	2,766413
F131	-2,81235	2,930682	-8,03884	2,876317
F141	-2,3433	0,778731	-4,80095	1,38049
F137	-1,25567	0,805691	-0,7685	2,724701
F133	-1,43417	0,794468	-1,47097	2,562248
F129	-2,91122	0,309384	-4,84237	1,230688

**Tabel 5.3 Hasil Momen dengan Beban Hidup Terpusat**

	M11		M22	
	<i>small</i>	<i>large</i>	<i>small</i>	<i>large</i>
F144	-2,4447	1,597701	-3,024	1,726378
F140	-0,35825	0,927599	-1,24195	2,786342
F136	-0,5148	0,925177	-1,12414	2,632349
F132	-2,68628	0,589234	-5,2338	1,524948
F142	-3,5455	2,881792	-2,65397	1,592161
F138	-1,93082	2,023396	-0,01561	2,554488
F134	-1,94705	2,008254	-0,48447	2,478779
F130	-7,2093	4,066725	-10,7548	4,905281
F143	-1,07752	2,203927	-2,85584	0,936072
F139	0,104464	1,871607	-0,02972	2,524131
F135	0,10685	1,856465	-0,3683	2,448421
F131	-2,04027	2,090313	-6,1859	2,054078
F141	-1,75328	0,534554	-3,50109	0,962031
F137	-0,94903	0,499224	-0,56865	1,873245
F133	-1,05131	0,443839	-1,15578	1,759205
F129	-2,29915	0,195596	-3,50881	0,950102

Seperti yang terlihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 maka beban hidup yang berpengaruh yakni beban hidup merata. Beban hidup yang digunakan pada penelitian ini.

Beban hidup gedung kantor =  $3,83 \text{ KN/m}^2$

3) Beban gempa

Gedung layanan akademik uny berada di daerah wates. Keadaan tanah gedung ini di daerah wates yaitu tanah sedang. Dengan data tersebut dan bantuan dengan peta data dari puskim PU medapatkan data sebagai berikut.

$$S_s = 0,896 \text{ g}$$

$$S_I = 0,363 \text{ g}$$

$$F_a = 1,142$$

$$F_v = 1,673$$

$$S_{M_s} = 1,023 \text{ g}$$

$$S_{M_I} = 0,608 \text{ g}$$

$$S_{D_s} = 0,682 \text{ g}$$

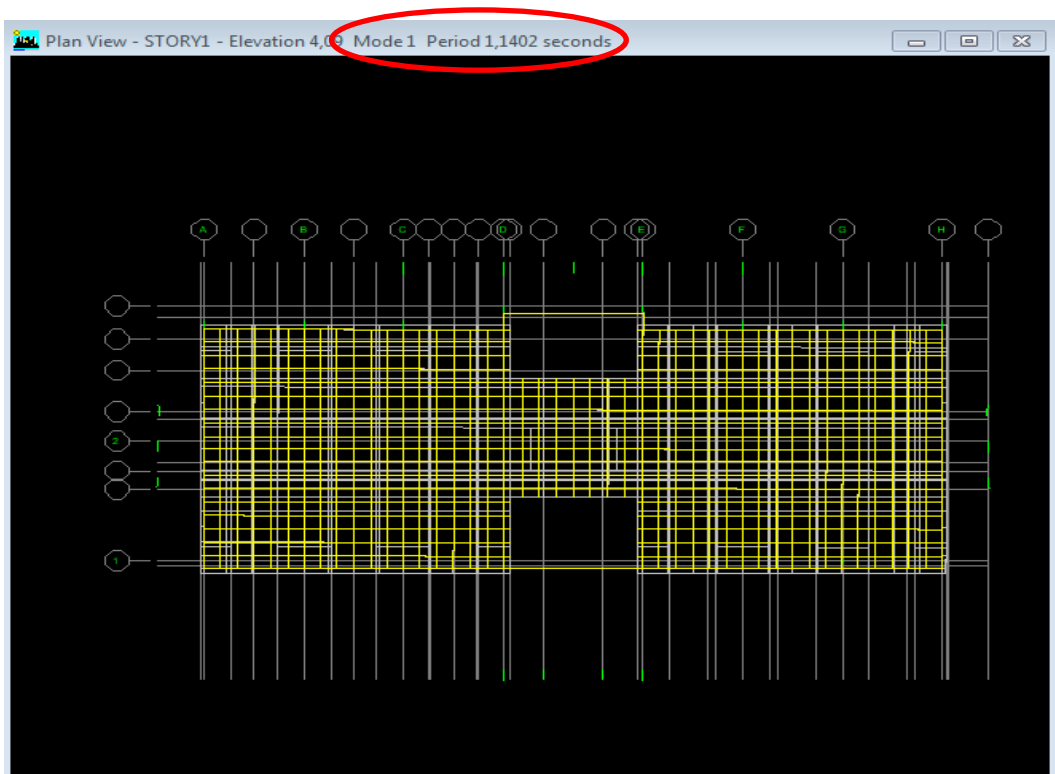
$$S_{D_I} = 0,405 \text{ g}$$

- **Nilai  $T$  (Waktu Getar Alami)**

Untuk mencari nilai waktu getar alami digunakan bantuan program etabs. Permodelan *waffle slab* yang telah dibuat lalu di”run” dan liat waktu getar alami pada “display” → “show mode shape” → pilih periode 1 untuk arah Y dan periode 2 untuk arah X. Hasil run pada program etabs dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



**Gambar 5.9 Nilai Waktu Getar Alami Arah X**



**Gambar 5.10 Nilai Waktu Getar Alami Arah Y**

- **Nilai  $C_s$  (Koefisien Respon Spektrum)**

Mencari nilai koefisien respon spektrum dibutuhkan nilai faktor modifikasi respon ( $R$ ) dan nilai faktor keutamaan struktur ( $I_e$ ). Sesuai dengan tabel pada “SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, 2012” didapat nilai  $R = 5$  dan nilai  $I_e = 1$  (kategori risiko II). Nilai  $C_s$  didapat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_d s}{T^{(R/I_e)}} \\ &= \frac{0,682}{1,09^{(5/1)}} \\ &= 0,125 \end{aligned}$$

Tinggi lantai dan berat lantai

Nilai tinggi lantai serta berat lantai didapat dari program etabs. Nilai didapat sebagai berikut.

**Tabel 5. 4 Nilai Tinggi Lantai dan Berat Lantai**

Lantai	$H$ (m)	$W_i$ (Kn)
Lantai 1	4,09	402,9926
Lantai 2	8,09	392,5394
Lantai 3	12,09	328,0111
		1123,543

- **Gaya Lateral ( $V_x$ )**

$$\begin{aligned} V_x &= \sum W_i \times C_s \\ &= 1123,543 \times 0,125 = 140,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Gaya Horizontal Gempa Ekuivalen Statik ( $F_i$ )**

$$\begin{aligned} F_i &= \frac{W_i H_i^k}{\sum W_i H_i^k} \times V \\ &= \frac{2497,35}{16653,8} \times 140,629 \\ &= 21,088 \text{ kN} \end{aligned}$$

**Tabel 5. 5 Gaya Gempa Arah X**

Lantai	$H$ (m)	$W_i$ (kN)	$V_x$ (kN)	$h_i^k$	$w_i \cdot h_i^k$	$C_v x$	$Fix$ (kN)
Lantai 1	4,09	402,992 6	140,629 4	6,19700 3	2497,34 6	0,14995 7	21,0883 2
Lantai 2	8,09	392,539 4	140,629 4	14,9897 1	5884,05 3	0,35331 6	49,6866 6

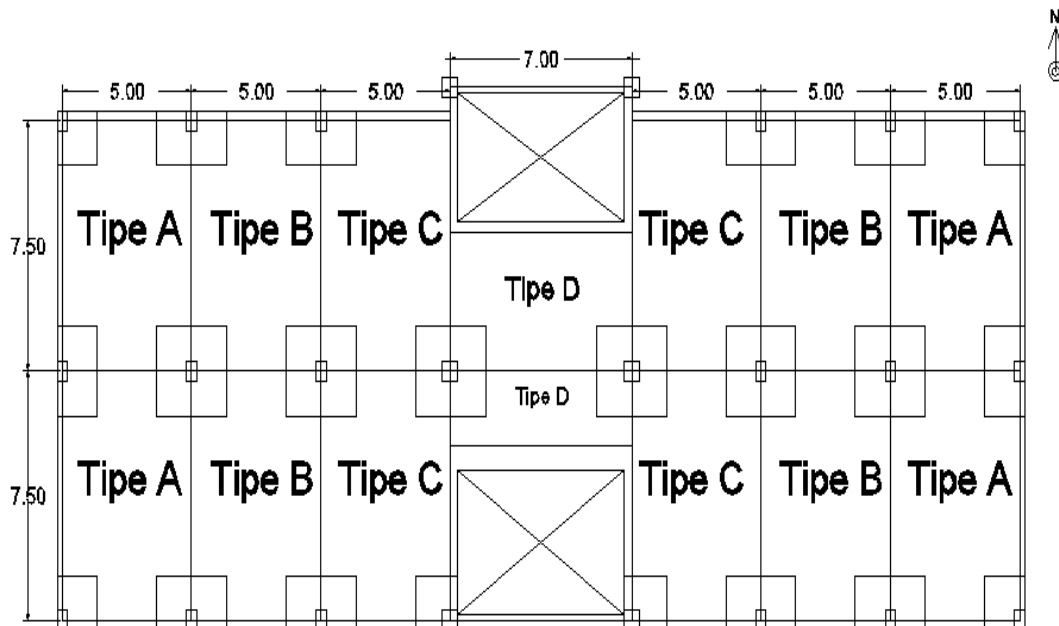
Lantai 3	12,09	328,011 1	140,629 4	25,2198 2	8272,38 2	0,49672 7	69,8544 1
		1123,54 3			16653,7 8		140,629 4

Tabel 5. 6 Gaya Gempa Arah Y

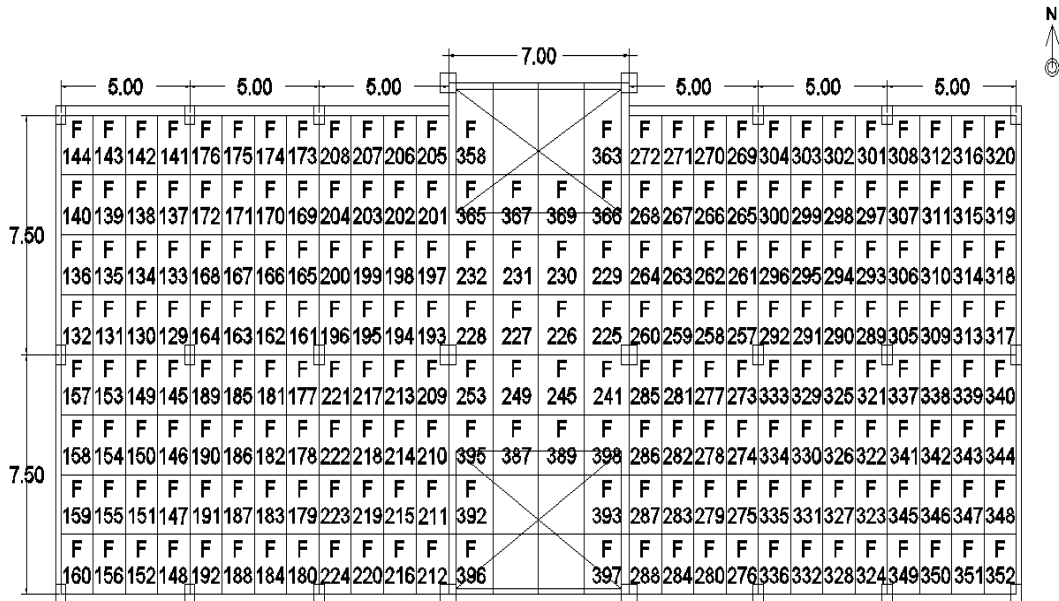
Lantai	H (m)	$W_i$ (kN)	$V_x$ (kN)	$h_i^k$	$w_i * h_i^k$	$Cv_x$	$Fiy$ (kN)
Lantai 1	4,09	402,9926	134,4614	5,3988	2175,676	0,187523	25,2146
Lantai 2	8,09	392,5394	134,4614	10,6788	4191,85	0,361298	48,58067
Lantai 3	12,09	328,0111	134,4614	15,9588	5234,664	0,451179	60,66617
		1123,543			11602,19		134,4614

### 5.5 MOMEN

Momen diperoleh dari menganalisis berdasar arah denah *slab*. Arah denah *slab* dibagi menjadi dua, yaitu E-W (*east – west*) dan N-S (*north – south*). Setiap momen menggunakan bantuan arah tinjauan untuk panel dalam (*interior*) serta panel luar (*exterior*). Momen ini diperoleh dengan program ETABS vr 9.0. Momen pun didapat pada setiap ukuran dimensi slab dan letak momen ditinjau dari lajur. Lajur yang ditinjau yakni lajur kolom dan lajur tengah. Ukuran dimensi slab dibagi dalam beberapa tipe seperti pada Gambar 5.11 dan letak momen dapat dilihat pada Gambar 5.12 serta hasil hitungan ditampilkan pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8.



Gambar 5.11 Pembagian Tipe Lantai



**Gambar 5.12 Letak Momen**

Momen interior frame tipe A dapat dilihat pada tabel 5.7

**Tabel 5.7 Momen Interior Frame Tipe A**

	M11					M22			
	Comb	Small	Comb	Large		Comb	Small	Comb	Large
F136	COMB2	-0,675	COMB2	1,064	F142	COMB2	-3,472	COMB2	2,138
F158	COMB2	-0,736	COMB2	1,044	F152	COMB2	-2,237	COMB2	1,251
F318	COMB8	-0,692	COMB2	1,064	F312	COMB2	-3,479	COMB2	2,139
F344	COMB7	-0,741	COMB2	1,045	F350	COMB2	-2,238	COMB2	1,232
F132	COMB2	-3,460	COMB3	0,749	F138	COMB15	-0,016	COMB2	2,621
F157	COMB2	-3,483	COMB4	0,725	F151	COMB16	0,009	COMB2	2,668
F317	COMB2	-3,457	COMB5	0,748	F311	COMB17	-0,046	COMB2	2,620
F340	COMB2	-3,480	COMB6	0,726	F346	COMB18	-0,022	COMB2	2,667
F135	COMB14	0,107	COMB2	1,525	F134	COMB10	-0,549	COMB2	2,565
F154	COMB14	0,069	COMB2	1,545	F150	COMB7	-0,619	COMB2	2,602
F314	COMB12	0,104	COMB2	1,422	F310	COMB8	-0,570	COMB2	2,564
F347	COMB11	0,081	COMB2	1,619	F342	COMB9	-0,641	COMB2	2,601
F131	COMB2	-2,812	COMB2	2,931	F130	COMB2	-14,013	COMB2	6,517
F153	COMB2	-2,977	COMB2	3,160	F149	COMB2	-14,534	COMB2	6,639
F313	COMB2	-2,815	COMB2	2,899	F309	COMB2	-14,006	COMB2	6,515
F339	COMB2	-2,975	COMB2	3,120	F338	COMB2	-14,540	COMB2	6,643
F134	COMB8	-0,175	COMB2	1,556	F141	COMB2	-4,801	COMB2	1,380
F150	COMB7	-0,394	COMB2	1,587	F148	COMB2	-4,686	COMB2	1,334
F310	COMB10	-0,181	COMB2	1,446	F308	COMB2	-4,802	COMB2	1,382
F342	COMB9	-0,402	COMB2	1,470	F349	COMB2	-4,686	COMB2	1,335

Lanjutan tabel 5.7 Momen *interior frame* tipe A

	M11					M22			
	Comb	Small	Comb	Large		Comb	Small	Comb	Large
F130	COMB2	-9,180	COMB2	5,452	F137	COMB7	-0,768	COMB2	2,725
F149	COMB2	-9,410	COMB2	5,590	F147	COMB10	-0,625	COMB2	2,712
F309	COMB2	-9,178	COMB2	5,450	F307	COMB9	-0,810	COMB2	2,724
F338	COMB2	-9,421	COMB2	5,593	F345	COMB8	-0,666	COMB2	2,710
F133	COMB2	-1,434	COMB2	0,794	F133	COMB2	-1,471	COMB2	2,562
F146	COMB2	-1,498	COMB2	0,779	F146	COMB2	-1,625	COMB2	2,676
F306	COMB2	-1,434	COMB2	0,793	F306	COMB8	-1,487	COMB2	2,561
F341	COMB2	-1,499	COMB2	0,778	F341	COMB2	-1,624	COMB2	2,675
F129	COMB4	-2,911	COMB2	0,309	F129	COMB2	-4,842	COMB2	1,231
F145	COMB3	-2,954	COMB2	0,305	F145	COMB2	-5,105	COMB2	1,152
F305	COMB6	-2,914	COMB2	0,309	F305	COMB2	-4,840	COMB2	1,231
F337	COMB5	-2,957	COMB2	0,309	F337	COMB2	-5,103	COMB2	1,231

Momen exterior frame tipe A dapat dilihat pada tabel 5.8

**Tabel 5.8 Momen *Exterior Frame* Tipe A**

	M11					M22			
	Comb	Small	Comb	Large		Comb	Small	Comb	Large
F144	COMB5	-2,968	COMB2	2,007	F143	COMB2	-3,712	COMB2	1,207
F160	COMB6	-2,631	COMB6	1,846	F156	COMB2	-3,251	COMB2	1,275
F320	COMB3	-2,968	COMB2	2,010	F316	COMB2	-3,721	COMB2	1,753
F352	COMB3	-2,633	COMB4	1,849	F351	COMB2	-3,258	COMB2	1,812
F140	COMB2	-0,457	COMB2	1,192	F139	COMB17	-0,030	COMB2	2,794
F159	COMB10	-0,546	COMB2	1,143	F155	COMB18	-0,023	COMB2	2,814
F319	COMB2	-0,456	COMB2	1,190	F315	COMB15	-0,074	COMB2	2,791
F348	COMB8	-0,558	COMB2	1,141	F347	COMB16	-0,069	COMB2	2,812
F143	COMB5	-1,228	COMB2	2,444	F135	COMB10	-0,389	COMB2	2,766
F156	COMB6	-1,171	COMB2	2,115	F154	COMB9	-0,462	COMB2	2,782
F316	COMB3	-1,238	COMB2	2,922	F314	COMB8	-0,469	COMB2	2,764
F351	COMB4	-1,179	COMB6	2,258	F347	COMB16	-0,069	COMB2	2,812
F139	COMB14	0,104	COMB2	1,723	F131	COMB2	-8,039	COMB2	2,876
F155	COMB13	0,089	COMB2	1,161	F153	COMB2	-8,707	COMB2	3,107
F315	COMB12	0,096	COMB2	1,683	F313	COMB2	-8,051	COMB2	2,886
F347	COMB11	0,081	COMB2	1,619	F339	COMB2	-8,699	COMB2	3,107
F142	COMB3	-4,454	COMB2	3,964	F144	COMB2	-3,741	COMB2	2,230
F152	COMB3	-2,036	COMB3	2,015	F160	COMB2	-4,197	COMB2	2,287
F312	COMB5	-4,492	COMB2	3,967	F320	COMB2	-3,743	COMB2	2,234
F350	COMB6	-2,049	COMB6	2,136	F352	COMB2	-4,202	COMB2	2,291

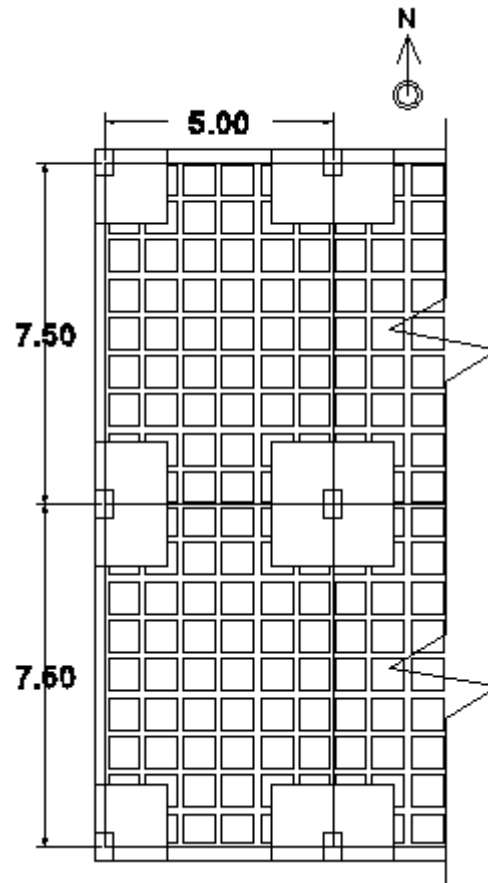
Lanjutan tabel 5.8 Momen *exterior frame* tipe A

	M11					M22			
	Comb	Small	Comb	Large		Comb	Small	Comb	Large
F138	COMB3	-0,263	COMB2	1,722	F140	COMB7	-1,443	COMB2	3,403
F151	COMB4	-0,213	COMB2	1,667	F159	COMB8	-1,280	COMB2	3,309
F311	COMB9	-0,272	COMB2	1,719	F319	COMB9	-1,502	COMB2	3,400
F346	COMB10	-0,225	COMB2	1,652	F348	COMB10	-1,342	COMB2	3,308
F141	COMB2	-2,343	COMB2	0,779	F136	COMB10	-1,348	COMB2	3,191
F148	COMB2	-2,346	COMB2	0,737	F158	COMB9	-1,474	COMB2	3,229
F308	COMB2	-2,344	COMB2	0,777	F318	COMB8	-1,399	COMB2	3,190
F349	COMB2	-2,347	COMB2	0,735	F344	COMB9	-1,522	COMB2	3,228
F137	COMB2	-1,256	COMB2	0,806	F132	COMB8	-6,189	COMB7	1,774
F147	COMB2	-1,356	COMB2	0,792	F157	COMB2	-6,377	COMB8	1,700
F307	COMB2	-1,257	COMB2	0,804	F317	COMB10	-6,259	COMB9	1,797
F345	COMB2	-1,357	COMB2	0,791	F340	COMB9	-6,440	COMB10	1,725

Pada tabel di atas menjelaskan bahwa M11 adalah arah momen terhadap proyeksi X dapat disebut juga arah E-W (*east – west*), sedangkan M22 adalah tegak lurus proyeksi X yaitu proyeksi Y disebut juga arah N-S (*north – south*). Momen yang digunakan adalah momen yang terbesar pada setiap bagian jalur.

### 1. Desain *Waffle Slab* Pada Tipe A

*Waffle slab* pada tipe A yakni mempunyai ukuran 7,5 m x 5 m. Tipe A terletak pada panel luar bangunan. Detail *waffle slab* tipe A dapat dilihat pada Gambar 5.13.



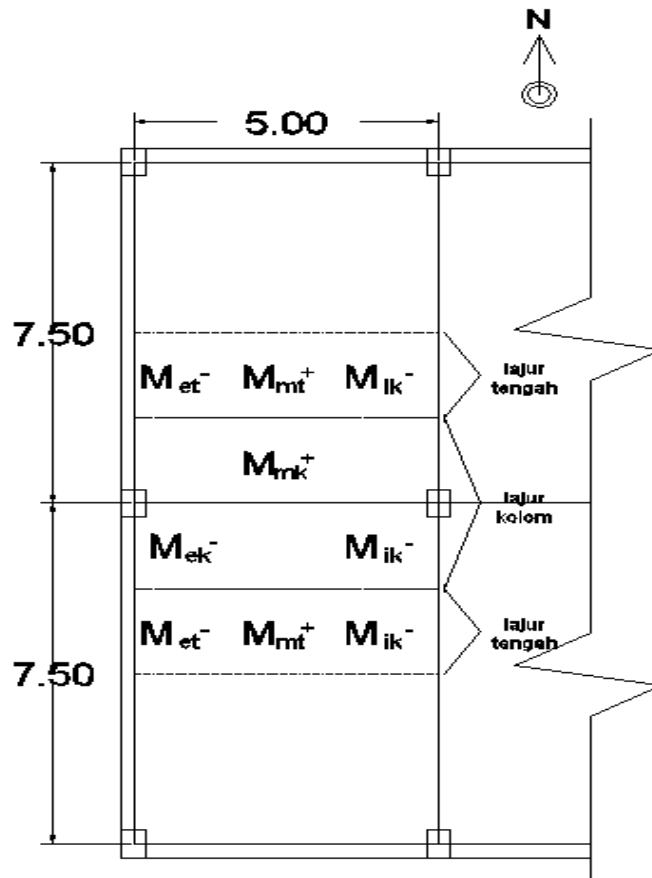
**Gambar 5.13 Ukuran Slab Pada Tipe A**

## 2. Momen Slab Tipe A Pada Arah X

Momen pada *slab* tipe A arah X akan dibagi menjadi dua bagian yaitu *interior frame* dan *exterior frame*. Berikut ini ditunjukkan momen pada setiap *frame*.

### a. Momen *interior frame* arah X

Momen *interior frame* arah X terdapat pada bagian dalam bangunan. *Interior frame* didapati 2 lajur. Lajur tersebut yakni lajur kolom dan lajur tengah. Momen dapat dilihat sebagai berikut serta Gambar 5.14 untuk memperjelas.



Gambar 5.14 Interior Frame Arah X

1) Momen Lajur kolom

Momen pada lajur kolom akan terbagi menjadi 3. Berikut ini momen pada 3 bagian tersebut.

- Momen negatif eksterior kolom ( $M_{ek}^-$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi terluar di lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{ek}^- = 3,483 \text{ Knm}$$

- Momen negatif interior kolom ( $M_{ik}^-$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi di bagian dalam lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{ik}^- = 2,956 \text{ Knm}$$

- Momen positif *middle* kolom ( $M_{mk}^+$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi di bagian tengah lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{mk}^+ = 9,42 \text{ Knm}$$

## 2) Momen Lajur tengah

Momen pada lajur tengah akan terbagi menjadi 3. Berikut momen pada 3 bagian tersebut.

- Momen negatif eksterior tengah ( $M_{et}^-$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi terluar di lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{et}^- = 1,064 \text{ Knm}$$

- Momen negatif interior tengah ( $M_{it}^-$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi di bagian dalam lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{it}^- = 1,499 \text{ Knm}$$

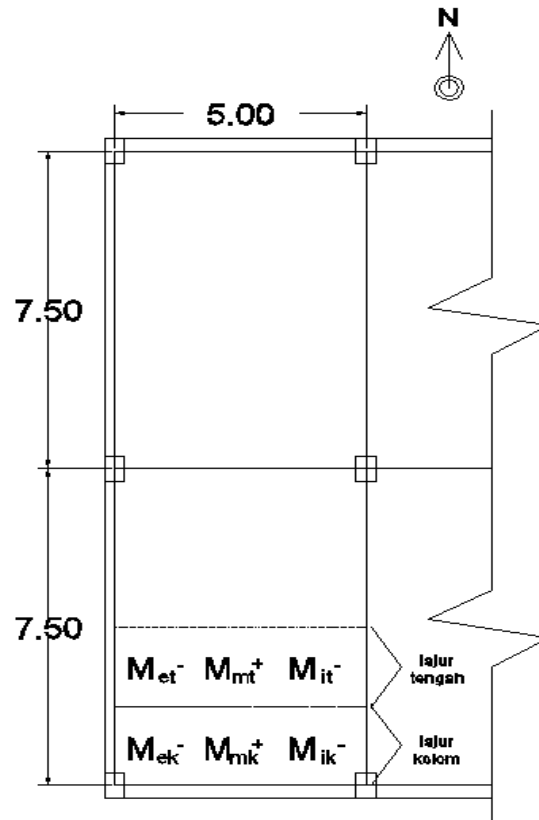
- Momen positif *middle* tengah ( $M_{mt}^+$ )

Momen yang berada pada *interior frame* namun berposisi di bagian tengah lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{mt}^+ = 1,619 \text{ Knm}$$

b. Momen *exterior frame* arah X

Momen *exterior frame* arah X terdapat pada bagian luar (tepi) bangunan. *Exterior frame* didapati 2 lajur. Lajur tersebut yakni lajur kolom dan lajur tengah. Momen dapat dilihat sebagai berikut serta Gambar 5.15 untuk memperjelas.



**Gambar 5.15 Exterior Frame Arah X**

1) Momen Lajur kolom

Momen pada lajur kolom akan terbagi menjadi 3. Berikut ini momen pada 3 bagian tersebut.

- Momen negatif eksterior kolom ( $M_{ek}^-$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi terluar di lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{ek}^- = 2,968 \text{ Knm}$$

- Momen negatif interior kolom ( $M_{ik}^-$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi di bagian dalam lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{ik}^- = 2,347 \text{ Knm}$$

- Momen positif middle kolom ( $M_{mk}^+$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi di bagian tengah lajur kolom. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{mk}^+ = 4,492 \text{ Knm}$$

## 2) Momen Lajur tengah

Momen pada lajur tengah akan terbagi menjadi 3. Berikut momen pada 3 bagian tersebut.

- Momen negatif ekterior tengah ( $M_{et}^-$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi terluar di lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{et}^- = 1,192 \text{ Knm}$$

- Momen negatif interior tengah ( $M_{it}^-$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi di bagian dalam lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{it}^- = 1,357 \text{ Knm}$$

- Momen positif *middle* tengah ( $M_{mt}^+$ )

Momen yang berada pada *exterior frame* namun berposisi di bagian tengah lajur tengah. Momen diambil yang terbesar.

$$M_{mt}^+ = 1,723 \text{ Knm}$$

### 3. Analisis Penulangan

#### a. Tulangan Negatif *Interior* Lajur Kolom

Diketahui :

- 1)  $M_u = 2,956875 \text{ KNm} = 2956875 \text{ Nmm}$
- 2)  $M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{2956875}{0,8} = 3696093,75 \text{ Nmm}$
- 3)  $d = 0,251 \text{ m} = 251 \text{ mm}$
- 4)  $f_y = 400 \text{ MPa} = 400 \text{ N/mm}^2$
- 5)  $f'_c = 25 \text{ MPa} = 25 \text{ N/mm}^2$
- 6)  $b = 1,875 \text{ m} = 1875 \text{ mm}$
- 7)  $\emptyset = 0,9$
- 8)  $\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
- 9) 
$$\rho = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times M}{1,7 \times \emptyset \times f'_c \times b \times d^2}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 3696093,75}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 1,875 \times 251^2}} \right]$$

$$= 0,000086$$

10) berdasarkan hitungan  $\rho_{min} > \rho$ , maka  $\rho$  pakai =  $\rho_{min}$

$$\begin{aligned} 11) A_s &= \rho \text{ pakai} \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 1875 \times 351 \\ &= 1647,1875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pakai tulangan berdiameter 13 mm

$$L_{tul} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132,732 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak} = \frac{L_{tul} \times b}{A_s} = \frac{132,732 \times 1875}{1647,1875} = 151,089 \text{ mm} = 15,109 \text{ cm}$$

Maka jarak pakai 15 cm

Cek kapasitas :

$$1) T = C$$

$$2) A_s f_y = 0,85 * f'_c * b * a$$

$$\begin{aligned} 3) A_s &= \frac{L_{tulangan} \times b}{s} \\ &= \frac{132,732 \times 1875}{150} \\ &= 1659,154 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Nilai tekan beton (a)} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_{rib}} \\ &= \frac{1659,154 \times 400}{0,85 \times 25 \times 150} \\ &= 16,656 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5) x &= \frac{a}{\beta} \\ &= \frac{16,657}{0,85} \\ &= 19,596 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6) \varepsilon'_s &= \left( \frac{d-x}{x} \right) \varepsilon'_{cu} \\ &= \left( \frac{251-19,596}{19,596} \right) 0,003 \\ &= 0,0035 > \varepsilon_y \text{ OK!} \end{aligned}$$

## b. Tulangan Positif Interior Lajur Kolom

Diketahui

$$1) M_u = 9,42 \text{ KNm} = 9420537 \text{ Nmm}$$

$$2) M_n = \frac{M_u}{0,8} = \frac{9420537}{0,8} = 11775671,3 \text{ Nmm}$$

$$3) d = 0,251 \text{ m} = 251 \text{ mm}$$

$$4) f_y = 400 \text{ Mpa} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$5) f'_c = 25 \text{ Mpa} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$6) b = 1,875 \text{ m} = 1875 \text{ mm}$$

$$7) \phi = 0,9$$

$$8) \rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} 9) \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times M}{1,7 \times \phi \times f'_c \times b \times d^2}} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 11775671,3}{1,7 \times 0,9 \times 25 \times 1,875 \times 251^2}} \right] \\ &= 0,00027 \end{aligned}$$

10) berdasarkan hitungan  $\rho_{min} > \rho$ , maka  $\rho \text{ pakai} = \rho_{min}$

$$11) A_s = \rho \text{ pakai} \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1875 \times 251$$

$$= 1647,1875 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan berdiameter 19 mm

$$L_{tul} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 = 380,1327 \text{ mm}^2$$

Dalam bentang 3,75 m terdapat 5 ribs

$$A_s \text{ per rib} = \frac{A_s}{n \text{ ribs}} = \frac{1647,1875}{2,5} = 658,875 \text{ mm}^2$$

$$L_{tul} \text{ per rib} = \frac{A_s \text{ per rib}}{L_{tul}} = \frac{658,875}{380,1327} = 1,733$$

➤ Maka di pakai 2-D22 tiap rib untuk di daerah lajur kolom bagian interior

Cek kapasitas :

$$1) T = C$$

$$2) A_s f_y = 0,85 \times f'_c \times b \times a$$

$$3) A_s = n \text{ tulangan} \times L_{tulangan}$$

$$= 2 \times 380,133$$

$$= 760,265 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Nilai tekan beton (a)} &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b_{rib}} \\ &= \frac{760,265 \times 400}{0,85 \times 25 \times 150} \end{aligned}$$

$$= 95,406$$

$$5) \quad x = \frac{a}{\beta}$$

$$= \frac{95,406}{0,85}$$

$$= 112,242$$

$$6) \quad \varepsilon's = \left( \frac{d-x}{x} \right) \varepsilon'cu$$

$$= \left( \frac{251-112,242}{112,242} \right) 0,003$$

$$= 0,0037 > \varepsilon_y \text{ OK!}$$

Kelanjutan yang lain akan direkap pada Tabel 5.9 hingga Tabel 5.31.

#### a. Rekapitulasi Pelat tipe A

**Tabel 5.9 Rekapitulasi Momen Arah X**

Momen	lajur kolom			lajur tengah		
	<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	<i>Mit-</i>	<i>Mit-</i>	<i>Mmt+</i>
<i>Interior</i>	2,957	3,483	9,421	1,499	1,064	1,619
<i>Eksterior</i>	2,347	2,968	4,492	1,357	1,192	1,723

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif**

	Tulangan negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<i>Mu</i> (Nmm)	2956875	3482915	1499054
<i>Mn</i> (Nmm)	3696093,75	4353643,75	1873817,5
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	1875
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,00009	0,00010	0,00004
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1647,188	1647,188	1647,188
pakai tul	13	13	13
<i>L tul</i>	132,732	132,732	132,732

jarak (mm)	151,090	151,090	151,090
------------	---------	---------	---------

Lanjutan tabel 5.10 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif

	<b>Tulangan negatif</b>		
	<b>Tumpuan dalam</b>	<b>Tumpuan luar</b>	<b>Lapangan</b>
<b>pakai jarak (mm)</b>	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1659,154	1659,154	1659,154
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,035	0,035	0,035
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif**

	<b>Tulangan Positif</b>			
	<b>Bentang dalam</b>		<b>Bentang tepi</b>	
	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>
<i>Mu</i> (Nmm)	9420537	1618752	4492123	1722915
<i>Mn</i> (Nmm)	11775671	2023440	5615154	2153644
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	2175	1875
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,000278	0,000048	0,000114	0,000051
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	130,661	22,403	62,209	23,845
<b>pakai tul</b>	22	25	22	25
<i>L tul</i>	380,133	490,874	380,133	490,874
<i>rib</i>	2,5	2	3	2
<b>per 1 rib</b>	658,875	823,594	636,913	823,594
<b>tul per rib</b>	1,733	1,678	1,676	1,678
<b>pakai tul/rib</b>	2	2	2	2
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	760,265	981,748	760,265	981,748

<i>a</i>	95,406	123,200	95,406	123,200
----------	--------	---------	--------	---------

Lanjutan tabel 5.11 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	<b>Tulangan Positif</b>			
	<b>Bentang dalam</b>		<b>Bentang tepi</b>	
	<i>x</i>	112,242	144,941	112,242
<i>e's</i>	0,004	0,002	0,004	0,002
	OK!!!	OK!!!	OK!!!	OK!!!

**Tabel 5.12 Rekapitulasi Momen Arah Y**

<b>Momen</b>		<b>Lajur Kolom</b>			
		<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	
<i>Interior</i>		5,105	4,802	2,732	
<i>Eksterior</i>		6,440	4,202	3,403	
<b>Lajur Tengah</b>					
<i>M<sub>ir</sub>-</i> (kiri)	<i>M<sub>ir</sub>-</i> (kanan)	<i>M<sub>er</sub>-</i> (kiri)	<i>M<sub>er</sub>-</i> (kanan)	<i>M<sub>mt+</sub></i> (kiri)	<i>M<sub>mt+</sub></i> (kanan)
14,540	14,437	3,479	3,206	2,668	2,635
8,707	tidak ada	3,721	tidak ada	2,814	tidak ada

**Tabel 5.13 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif**

	<b>Tulangan negatif</b>		
	<b>Tumpuan dalam</b>	<b>Tumpuan luar</b>	<b>Lapangan</b>
<i>Mu</i> (Nmm)	5104855	4801673	14539730
<i>Mn</i> (Nmm)	6381068,75	6002091,25	18174662,5
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1250	1250	1250
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,000225557	0,000212134	0,000644987
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	1098,125	1098,125
<b>pakai tul</b>	13	13	13
<i>L tul</i>	132,7322896	132,7322896	132,7322896
<b>jarak (mm)</b>	151,090	151,090	151,090
<b>pakai jarak (mm)</b>	150	150	150

	D13-150	D13-150	D13-150
--	---------	---------	---------

Lanjutan tabel 5.13 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif

	Tulangan negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1106,102	1106,102	1106,102
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,035	0,035	0,035
	OK!!!	OK!!!	OK!!!

Tabel 5.14 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	Tulangan positif			
	Bentang dalam		Bentang tepi	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	2732301	2667543	3403062	2813875
<i>Mn</i> (Nmm)	3415376,25	3334428,75	4253827,5	3517343,75
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1250	1250	1450	1250
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,00012	0,00012	0,00013	0,00012
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	36,94254127	1273,825	1098,125
<i>pakai tul</i>	22	22	22	22
<i>L tul</i>	380,133	380,133	380,133	380,133
<i>rib</i>	2	2	2	2
<i>per 1 rib</i>	549,063	732,083	636,913	732,083
<i>tul per rib</i>	1,444	1,926	1,676	1,926
<i>pakai tul/rib</i>	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	570,199	760,265	760,265	760,265
<i>a</i>	71,554	95,406	95,406	95,406
<i>x</i>	84,182	112,242	112,242	112,242
<i>e's</i>	0,006	0,004	0,004	0,004

	OK!!!	OK!!!	OK!!!	OK!!!
--	-------	-------	-------	-------

**b. Rekapitulasi Pelat Tipe B**

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Momen Arah X**

Momen	Lajur kolom			Lajur tengah		
	<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	<i>Mit-</i>	<i>Met-</i>	<i>Mmt+</i>
<i>Interior</i>	2,214	2,181	9,393	1,347	1,522	0,948
<i>Eksterior</i>	3,056	2,462	5,666	1,641	1,293	1,144

**Tabel 5.16 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif**

	Tulangan Negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<i>Mu</i> (Nmm)	2213704	2181299	1640503
<i>Mn</i> (Nmm)	2767130	2726623,75	2050628,75
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	1875
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,00007	0,00006	0,00005
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1647,1875	1647,1875	1647,1875
<b>pakai tul</b>	13	13	13
<i>L tul</i>	132,732	132,732	132,732
<b>jarak (mm)</b>	151,090	151,090	151,090
<b>pakai jarak (mm)</b>	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1659,154	1659,154	1659,154
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,0354	0,0354	0,0354
	OK!!!	OK!!!	OK!!!

Tabel 5.17 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	Tulangan Positif			
	Bentang dalam		Bentang tepi	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	9392859	948019	5665526	1144461
<i>Mn</i> (Nmm)	11741073,75	1185024,25	7081907,5	1430576,25
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	2175	1875
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,00028	0,00003	0,00014	0,00003
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1647,188	1910,738	1647,188	1647,188
<i>pakai tul</i>	22	25	22	25
<i>L tul</i>	380,133	490,874	380,133	490,874
<i>rib</i>	3	2	3	2
<i>per 1 rib</i>	658,875	823,594	636,913	823,594
<i>tul per rib</i>	1,733	1,678	1,676	1,678
<i>pakai tul/rib</i>	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	760,265	981,748	760,265	981,748
<i>a</i>	95,406	123,200	95,406	123,200
<i>x</i>	112,242	144,941	112,242	144,941
<i>e's</i>	0,004	0,002	0,004	0,002
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.18 Rekapitulasi Momen Arah Y

<i>Momen</i>	Lajur Kolom		
	<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>
<i>Interior kiri</i>	5,105	4,802	2,732
<i>Interior kanan</i>	11,762	5,288	2,813

Lanjutan tabel 5.18 Rekapitulasi Momen Arah Y

<b>Momen Lajur Tengah</b>					
$M_{i-}$ (kiri)	$M_{i+}$ (kanan)	$M_{e-}$ (kiri)	$M_{e+}$ (kanan)	$M_{m+}$ (kiri)	$M_{m+}$ (kanan)
14,540	14,437	3,479	3,206	2,668	2,635
13,849	17,402	3,850	6,312	2,573	2,876

**Tabel 5.19 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif**

	<b>Tulangan negatif</b>		
	<b>Tumpuan dalam</b>	<b>Tumpuan luar</b>	<b>Lapangan</b>
$M_u$ (Nmm)	5104855	4801673	14437250
$M_n$ (Nmm)	6381068,75	6002091,25	18046562,5
$d$ (mm)	251	251	251
$b$ (mm)	1250	1250	1250
$\rho_{min}$	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,0002	0,0002	0,0006
$\rho_{pakai}$	0,0035	0,0035	0,0035
$A_s$	1098,125	1098,125	1098,125
<b>pakai tul</b>	13	13	13
$L_{tul}$	132,7322896	132,7322896	132,7322896
<b>jarak (mm)</b>	151,0896865	151,090	151,090
<b>pakai jarak (mm)</b>	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
$A_s$	1106,102	1106,102	1106,102
$a$	16,657	16,657	16,657
$x$	19,596	19,596	19,596
$e's$	0,035	0,035	0,035
	OK!!!	OK!!!	OK!!!

Tabel 5.16 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	Tulangan positif			
	Bentang dalam bagian kiri		Bentang dalam bagian kanan	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	2732301	2635172	2813061	2572811
<i>Mn</i> (Nmm)	3415376,25	3293965	3516326,25	3216013,75
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1250	1250	1250	1250
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,00012	0,00012	0,00012	0,00011
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	1098,125	1098,125	1098,125
pakai tul	22	22	22	22
<i>L tul</i>	380,133	380,133	380,133	380,133
<i>rib</i>	1,5	2	2	2
per 1 <i>rib</i>	732,0833333	732,083	732,083	732,083
tul per <i>rib</i>	1,926	1,926	1,926	1,926
pakai tul/ <i>rib</i>	2	2	2	2
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	760,265	760,265	760,265	760,265
<i>a</i>	95,406	95,406	95,406	95,406
<i>x</i>	112,242	112,242	112,242	112,242
<i>e's</i>	0,004	0,004	0,004	0,004
	OK!!!	OK!!!	OK!!!	OK!!!

## c. Rekapitulasi Pelat Tipe C

Tabel 5.20 Rekapitulasi Momen Arah X

Momen	Lajur kolom			Lajur tengah		
	<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	<i>Mit-</i>	<i>Met-</i>	<i>Mmt+</i>
<i>Interior</i>	2,796	2,624	12,510	2,218	1,450	1,105
<i>Ekterior</i>	6,289	2,771	10,686	1,585	1,789	1,708

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif

	Tulangan negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<i>Mu</i> (Nmm)	2795664	2623706	2217932
<i>Mn</i> (Nmm)	3494580	3279632,5	2772415
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	1875
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	8,22394E-05	0,00008	6,5234E-05
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1647,1875	1647,1875	1647,1875
pakai tul	13	13	13
<i>L tul</i>	132,732	132,732	132,7322896
jarak (mm)	151,090	151,090	151,090
pakai jarak (mm)	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1659,154	1659,154	1659,154
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,035	0,035	0,035
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	Tulangan Positif			
	Bentang dalam		Bentang luar	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	12509520	1104849	10686440	1707761
<i>Mn</i> (Nmm)	15636900	1381061,25	13358050,00	2134701,25
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	2175	1875

$\rho_{min}$	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,000368986	3,24859E-05	0,000271484	5,02217E-05

Lanjutan tabel 5.22 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	<b>Tulangan Positif</b>			
	<b>Bentang dalam</b>		<b>Bentang luar</b>	
	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>
<b><math>\rho_{pakai}</math></b>	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<b>As</b>	1647,188	1647,188	1910,738	1647,188
<b>pakai tul</b>	22	25	22	25
<b>L tul</b>	380,133	490,874	380,133	490,874
<b>rib</b>	3	2	3	2
<b>per 1 rib</b>	658,875	823,594	636,913	823,594
<b>tul per rib</b>	1,733	1,678	1,676	1,678
<b>pakai tul/rib</b>	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<b>As</b>	760,265	981,748	760,265	981,748
<b>a</b>	95,406	123,200	95,406	123,200
<b>x</b>	112,242	144,941	112,242	144,941
<b>e's</b>	0,004	0,002	0,004	0,002
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.23 Rekapitulasi Momen Arah Y

<b>Momen</b>	<b>Lajur Kolom</b>				
	<b><math>M_{ik-}</math></b>	<b><math>M_{ek-}</math></b>	<b><math>M_{mk+}</math></b>		
<b>Interior kiri</b>	11,762	5,288	2,813		
<b>Interior kanan</b>	13,813	13,567	16,234		
<b>Lajur Tengah</b>					
<b><math>M_{ir-}</math></b>	<b><math>M_{ir-}</math></b>	<b><math>M_{er-}</math></b>	<b><math>M_{er-}</math></b>	<b><math>M_{mt+}</math></b>	<b><math>M_{mt+}</math></b>
<b>(kiri)</b>	<b>(kanan)</b>	<b>(kiri)</b>	<b>(kanan)</b>	<b>(kiri)</b>	<b>(kanan)</b>
13,849	17,402	3,850	6,312	2,573	2,876
17,978	4,414	5,985	0,000	3,552	1,813

Tabel 5.24 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif

	Tulangan negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<i>Mu</i> (Nmm)	11761600	5288336	17978160
<i>Mn</i> (Nmm)	14702000	6610420	22472700
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1250	1250	1250
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,000521137	0,000233682	0,000798679
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	1098,125	1098,125
pakai tul	13	13	13
<i>L tul</i>	132,7322896	132,7322896	132,7322896
jarak (mm)	151,090	151,090	151,090
pakai jarak (mm)	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1106,102	1106,102	1106,102
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,035	0,035	0,035
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.25 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	Tulangan positif			
	Bentang dalam bagian kiri		Bentang dalam bagian kanan	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	2813061	2875770	16233530	3551827
<i>Mn</i> (Nmm)	3516326,25	3594712,5	20291912,5	4439783,75
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251

<i>b</i> (mm)	1250	1250	1250	1250
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035

Lanjutan tabel 5.25 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	<b>Tulangan positif</b>			
	<b>Bentang dalam bagian kiri</b>		<b>Bentang dalam bagian kanan</b>	
	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>
$\rho$	0,000124176	0,000126947	0,00072064	0,000156835
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	1098,125	1098,125	1098,125
<b>pakai tul</b>	22	22	22	22
<i>L tul</i>	380,133	380,133	380,133	380,133
<i>rib</i>	2	2	2	2
<b>per 1 rib</b>	732,083	732,083	732,083	732,083
<b>tul per rib</b>	1,926	1,926	1,926	1,926
<b>pakai tul/rib</b>	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	760,265	760,265	760,265	760,265
<i>a</i>	95,406	95,406	95,406	95,406
<i>x</i>	112,242	112,242	112,242	112,242
<i>e's</i>	0,004	0,004	0,004	0,004
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

#### d. Rekapitulasi Pelat Tipe D

**Tabel 5.26 Rekapitulasi Momen Arah X**

<b>Momen</b>	<b>Lajur kolom</b>			<b>Lajur tengah</b>		
	<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	<i>Mit-</i>	<i>Met-</i>	<i>Mmt+</i>
<i>Interior</i>	6,120	6,120	3,310	2,715	2,967	2,088
<i>Eksterior</i>	4,889	4,860	0,000	9,449	9,448	4,211

**Tabel 5.27 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif**

	<b>Tulangan negatif</b>
--	-------------------------

	<b>Tumpuan dalam</b>	<b>Tumpuan luar</b>	<b>Lapangan</b>
<i>Mu</i> (Nmm)	6120372	6119709	9448747
<i>Mn</i> (Nmm)	7650465	7649636,25	11810933,75

Lanjutan tabel 5.27 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Negatif

	<b>Tulangan negatif</b>		
	<b>Tumpuan dalam</b>	<b>Tumpuan luar</b>	<b>Lapangan</b>
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	1875
<i>ρ min</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>ρ</i>	0,00018	0,00018	0,00028
<i>ρ pakai</i>	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1647,1875	1647,1875	1647,1875
<b>pakai tul</b>	13	13	13
<i>L tul</i>	132,732	132,732	132,732
<b>jarak (mm)</b>	151,090	151,090	151,090
<b>pakai jarak (mm)</b>	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1659,154	1659,154	1659,154
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,0354	0,0354	0,0354
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.28 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	<b>Tulangan positif</b>			
	<b>Bentang dalam</b>		<b>Bentang Luar</b>	
	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>
<i>Mu</i> (Nmm)	3309788	2087798	-	4210592
<i>Mn</i> (Nmm)	4137235	2609747,5	-	5263240
<i>d</i> (mm)	251	251	-	251
<i>b</i> (mm)	1875	1875	-	1875

$\rho_{min}$	0,0035	0,0035	-	0,0035
$\rho$	0,00010	0,00006	-	0,00012
$\rho_{pakai}$	0,0035	0,0035	-	0,0035

Lanjutan Tabel 5.28 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah X Tulangan Positif

	Tulangan positif			
	Bentang dalam		Bentang Luar	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>As</i>	1647,188	1647,188	-	1647,188
<i>pakai tul</i>	22	25	-	25
<i>L tul</i>	380,133	490,874	-	490,874
<i>rib</i>	3	2	-	2
<i>per 1 rib</i>	658,875	823,594	-	823,594
<i>tul per rib</i>	1,733	1,678	-	1,678
<i>pakai tul/rib</i>	2,000	2,000	-	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	760,265	981,748	-	981,748
<i>a</i>	95,406	123,200	-	123,200
<i>x</i>	112,242	144,941	-	144,941
<i>e's</i>	0,0037	0,0022	-	0,0022
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	-	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.29 Rekapitulasi Momen Arah Y

Momen		Lajur Kolom			
		<i>Mik-</i>	<i>Mek-</i>	<i>Mmk+</i>	
<i>Interior kiri</i>		13,813	13,567	16,234	
<i>Interior kanan</i>		13,813	13,567	16,234	
Lajur Tengah					
<i>M<sub>ir-</sub></i> (kiri)	<i>M<sub>ir-</sub></i> (kanan)	<i>M<sub>er-</sub></i> (kiri)	<i>M<sub>er-</sub></i> (kanan)	<i>M<sub>mt+</sub></i> (kiri)	<i>M<sub>mt+</sub></i> (kanan)
17,978	4,414	5,985	0,000	3,552	1,813
4,414	17,978	0,000	5,985	1,813	3,552

Tabel 5.30 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Negatif

	Tulangan negatif		
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan
<i>Mu</i> (Nmm)	13812640	13566700	4413786
<i>Mn</i> (Nmm)	17265800	16958375	5517232,5
<i>d</i> (mm)	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1250	1250	1750
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035
$\rho$	0,00061	0,00060	0,00014
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1098,125	1098,125	1537,375
pakai tul	13	13	13
<i>L tul</i>	132,732	132,732	132,732
jarak (mm)	151,090	151,090	151,090
pakai jarak (mm)	150	150	150
	D13-150	D13-150	D13-150
<b>Cek kapasitas</b>			
<i>As</i>	1106,102	1106,102	1548,543
<i>a</i>	16,657	16,657	16,657
<i>x</i>	19,596	19,596	19,596
<i>e's</i>	0,0354	0,0354	0,0354
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

Tabel 5.31 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	Tulangan positif			
	Bentang dalam bagian kiri		Bentang dalam bagian kanan	
	Lajur kolom	Lajur tengah	Lajur kolom	Lajur tengah
<i>Mu</i> (Nmm)	16233530	1813210	16233530	1813210

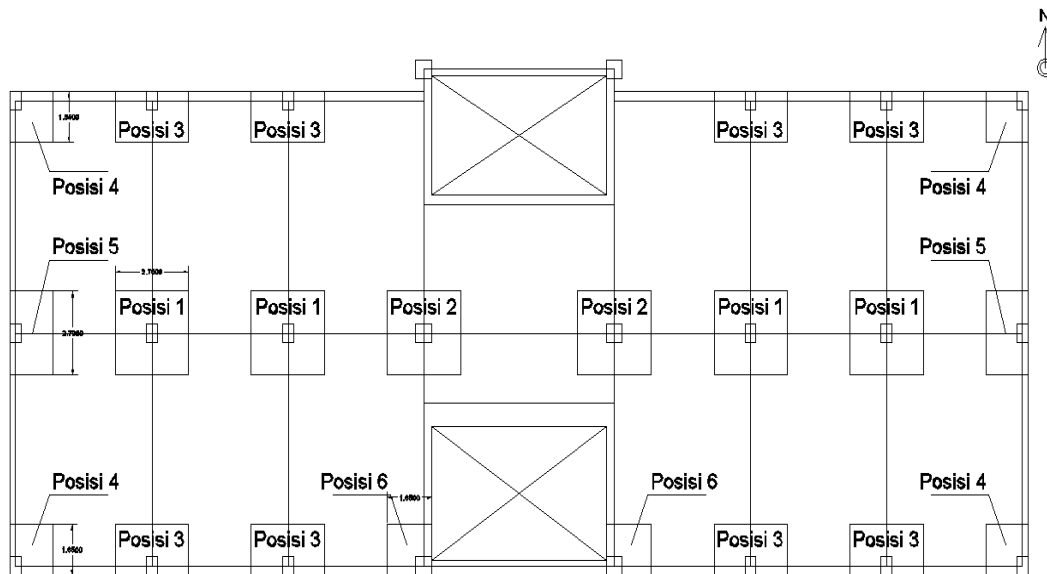
<i>Mn</i> (Nmm)	20291912,5	2266512,5	20291912,5	2266512,5
<i>d</i> (mm)	251	251	251	251
<i>b</i> (mm)	1750	1750	1750	1750
$\rho$ min	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035

Lanjutan tabel 5.31 Rekapitulasi Analisis Penulangan Arah Y Tulangan Positif

	<b>Tulangan positif</b>			
	<b>Bentang dalam bagian kiri</b>		<b>Bentang dalam bagian kanan</b>	
	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>	<b>Lajur kolom</b>	<b>Lajur tengah</b>
$\rho$	0,00051	0,00006	0,00051	0,00006
$\rho$ pakai	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
<i>As</i>	1537,375	1537,375	1537,375	1537,375
<b>pakai tul</b>	25	22	25	22
<i>L tul</i>	490,874	380,133	490,874	380,133
<i>rib</i>	2	3	2	3
<b>per 1 rib</b>	768,6875	614,950	768,6875	614,950
<b>tul per rib</b>	1,566	1,618	1,566	1,618
<b>pakai tul/rib</b>	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Cek kapasitas</b>				
<i>As</i>	981,748	760,265	981,748	760,265
<i>a</i>	123,200	95,406	123,200	95,406
<i>x</i>	144,941	112,242	144,941	112,242
<i>e's</i>	0,0022	0,0037	0,0022	0,0037
	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>	<b>OK!!!</b>

## 5.6 GESER SOLID HEAD

Perencanaan waffle slab perlu diperhitungkan geser pada *solid head*. Geser pada *solid head* berada pada 2 daerah kritis. Daerah kritis yakni pada muka kolom dan muka *solid head*. Posisi *solid head* pun juga berpengaruh pada gaya geser yang terjadi. Gambar posisi *solid head* dapat dilihat pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16 Posisi Solid head**

### 5.6.1 Gaya Geser

Gaya geser pada *solid head* dianalisis menggunakan program *Etabs*. Besar gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.32.

**Tabel 5.32 Momen Geser**

Gaya geser	1	2	3	4	5	6
Muka kolom	165,05	346,82	515,288	589,823	247,64	309,632
Muka <i>solid head</i>	111,392	214,22	256,313	272,176	155,617	182,354

- a. Analisis gaya geser pada *solid head* posisi 1

Geser depan kolom

- 1)  $D = h_{sh} - Sb - \phi_{sengkang} - (0,5 * \phi_{tulangan})$   
 $= 290 - 20 - 10 - (0,5 * 22)$   
 $= 249 \text{ mm}$
- 2)  $D' = \frac{d}{2}$   
 $= \frac{249}{2}$   
 $= 124,5 \text{ mm}$
- 3)  $Bo = (h \text{ kolom} + d) * 4$   
 $= (600 + 249) * 4$   
 $= 2996 \text{ mm}$

- 4)  $\beta = \frac{b_{kolom}}{h_{kolom}}$   
 $= \frac{0,6}{0,4}$   
 $= 1,5$
- 5)  $\lambda = 1$
- 6)  $\alpha_s =$  kolom interior (40)  
 $=$  kolom tepi (30)  
 $=$  kolom sudut (20)
- 7)  $V_u = 165,05 \text{ Kn}$
- 8) Perhitungan  $\phi V_c$
- a)  $0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$   
 $0,17 \left( 1 + \frac{2}{1,5} \right) 1 * \sqrt{25} * 2996 * 249$   
 $1479,575 \text{ Kn}$
- b)  $0,083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$   
 $0,083 \left( \frac{40 * 249}{2996} + 2 \right) 1 * \sqrt{25} * 2996 * 249$   
 $1648,4 \text{ Kn}$
- c)  $0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o d$   
 $0,33 * 1 * \sqrt{25} * 2996 * 249$   
 $1230,907 \text{ Kn}$
- Nilai  $\phi V_c$  dipilih yang terkecil yakni 1230,907 Kn  
Maka  $\phi V_c > V_u$  OK!

b. Geser muka *solid head*

- 1)  $D = h_{sh} - S_b - (0,5 * \phi_{tulangan})$   
 $= 80 - 20 - (0,5 * 22)$   
 $= 49 \text{ mm}$
- 2)  $D' = \frac{d}{2}$   
 $= \frac{49}{2}$   
 $= 24,5 \text{ mm}$
- 3)  $B_o = (l_{sh} + d) * 4$

$$= (2700 + 49) * 4$$

$$= 10996 \text{ mm}$$

$$4) \beta = \frac{b_{kolom}}{h_{kolom}}$$

$$= \frac{0,6}{0,4}$$

$$= 1,5$$

$$5) \lambda = 1$$

$$6) \alpha_s = \text{kolom interior (40)}$$

$$= \text{kolom tepi (30)}$$

$$= \text{kolom sudut (20)}$$

$$7) V_u = 111,392 \text{ Kn}$$

8) Perhitungan  $\phi V_c$

$$1. 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$0,17 \left( 1 + \frac{2}{1,5} \right) 1 * \sqrt{25} * 10996 * 49$$

$$1068,627 \text{ Kn}$$

$$2. 0,083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$0,083 \left( \frac{40 * 49}{10996} + 2 \right) 1 * \sqrt{25} * 10996 * 49$$

$$487,064 \text{ Kn}$$

$$3. 0,33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d$$

$$0,33 * 1 * \sqrt{25} * 10996 * 49$$

$$889,026 \text{ Kn}$$

Nilai  $\phi V_c$  dipilih yang terkecil yakni 487,064 Kn

Maka  $\phi V_c > V_u$  OK!

b. Rekapitulasi Geser *Solid head*

**Tabel 5.33 Geser Depan Kolom**

Geser Depan Kolom						
Posisi	1	2	3	4	5	6
$d$ (mm)	249	249	249	249	249	249
$d'$ (mm)	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5
$B_o$ (mm)	2996	3396	2098	1249	1898	1449

Lanjutan tabel 5.33 Geser Depan Kolom

$\beta$	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1
$\lambda$	1	1	1	1	1	1
$\alpha s$						
kolom interior	40	40	40	40	40	40
kolom tepi	30	30	30	30	30	30
kolom sudut	20	20	20	20	20	20
$vu$	165,05	346,82	515,288	589,823	247,64	309,632
$\emptyset Vc$						
cond 1 (Kn)	1479,575	2156,290	1036,097	616,819	937,327	920,043
cond 2 (Kn)	1648,400	1731,068	1205,506	772,739	1164,172	814,073
cond 3 (Kn)	1230,907	1395,247	861,963	513,152	779,793	595,322
$\emptyset Vc$ pakai	1230,907	1395,247	861,963	513,152	779,793	595,322
	OKE	OKE	OKE	hitung $V_s$	OKE	OKE
tul sengkang (mm)	10	10	10	-	10	10
$s < d/2$ (mm)	124,5	124,5	124,5	-	124,5	124,5
$s > 25$ (mm)	25	25	25	-	25	25
jarak sengkang (mm)	124,5	124,5	124,5	-	124,5	124,5
jarak pakai (mm)	120	120	120	-	120	120
bila hitung $V_s$						
$V_s$	-	-	-	76,67135	-	-
kaki sengkang	-	-	-	2	-	-
tul sengkang (mm)	-	-	-	10	-	-
$A_v$ sengkang	-	-	-	78,53981634	-	-
Jarak (mm)	-	-	-	122,4326799	-	-
jarak pakai (mm)	-	-	-	120	-	-
$s < d/2$ (mm)	-	-	-	124,5	-	-
	-	-	-	OKE	-	-
$s > 25$ (mm)	-	-	-	25	-	-
	-	-	-	OKE	-	-

Tabel 5.34 Geser Depan *Solid head*

Geser Depan <i>Solid head</i>						
Posisi	1	2	3	4	5	6
<i>Lsh</i> (m)	2,7	2,7	2,7	1,65	2,7	1,65
<i>d</i> (mm)	49	49	49	49	49	49
<i>d'</i> (mm)	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
<i>Bo</i> (mm)	10996	10996	6098	3249	5898	3349
$\beta$	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1
$\lambda$	1	1	1	1	1	1
$\alpha_s$						
kolom interior	40	40	40	40	40	40
kolom tepi	30	30	30	30	30	30
kolom sudut	20	20	20	20	20	20
<i>vu</i>	111,392	214,220	256,313	272,176	155,617	182,354
$\emptyset V_c$						
cond 1 (Kn)	1068,628	1373,950	592,624	315,749	573,187	418,458
cond 2 (Kn)	487,064	487,064	277,898	152,065	269,764	156,132
cond 3 (Kn)	889,027	889,027	493,023	262,682	476,853	270,767
$\emptyset V_c$ pakai	487,064	487,064	277,898	152,065	269,764	156,132
	OKE	OKE	OKE	hitung <i>Vs</i>	OKE	hitung <i>Vs</i>
tul sengkang (mm)	10	10	10	-	10	-
$s < d/4$ (mm)	62,25	62,25	62,25	-	62,25	-
$s < 24$ dsengkang (mm)	240	240	240	-	240	-
$s < 8 d$ pokok (mm)	176	176	176	-	176	-
$s < 300$ (mm)	300	300	300	-	300	-
jarak sengkang (mm)	300	300	300	-	300	-
jarak pakai (mm)	60	60	60	-	60	-
bila hitung <i>Vs</i>						
<i>Vs</i> (Kn)	-	-	-	120,11087	-	26,22187
kaki sengkang	-	-	-	2	-	2
tul sengkang (mm)	-	-	-	12	-	12
<i>Av</i> sengkang	-	-	-	113,0973355	-	113,0973355
Jarak (mm)	-	-	-	56,27048386	-	50,72196094
jarak pakai (mm)	-	-	-	50	-	50
$s < d/4$ (mm)	-	-	-	62,25	-	62,25
	-	-	-	OKE	-	OKE
$s < 24$ dsengkang (mm)	-	-	-	288	-	288

Lanjutan tabel 5.34 Geser Depan *Solid head*

Geser Depan <i>Solid head</i>						
Posisi	1	2	3	4	5	6
	-	-	-	OKE	-	OKE
$s < 8 d$ pokok (mm)	-	-	-	176	-	176
	-	-	-	OKE	-	OKE
$s < 300$ (mm)	-	-	-	300	-	300
	-	-	-	OKE	-	OKE

## 5.7 RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana anggaran biaya akan dibuat sesuai gedung yang sudah dibangun dan sesuai dengan perencanaan ulang *waffle slab*. Pembuatan rab gedung terdahulu dan gedung yang direncanakan ulang bertujuan untuk membandingkan harga. Data yang diperlukan untuk pembuatan rab yakni daftar harga bahan, daftar harga upah pekerja, analisis harga satuan pekerjaan.

### 5.7.1 Daftar Harga

Daftar harga berfungsi sebagai pedoman dalam perhitungan rab. Daftar harga bahan dalam perhitungan rab digunakan “Satuan Harga Barang dan Jasa Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2015”. Daftar harga bahan dan upah pekerja dapat dilihat pada Tabel 5.35.

**Tabel 5. 35 Daftar Harga Bahan Dan Upah Pekerja**

Bahan	Satuan	Harga
Besi beton (polos/ulir)	kg	Rp9.500,00
Kawat Beton (bendrat)	kg	Rp20.000,00
Kayu kelas III	m <sup>3</sup>	Rp2.228.820,00
Paku 5cm-12cm	kg	Rp13.000,00
minyak bekisting	liter	Rp5.500,00
Balok Kayu kelas III	m <sup>3</sup>	Rp2.228.820,00
Plywood tebal 9mm	lembar	Rp110.000,00
Dolken Kayu galam, ø(8-10) cm, panjang 4m	batang	Rp18.000,00
Agregat halus/pasir klas A (Uk. Butir 5 mm)	m <sup>3</sup>	Rp102.000,00
Agregat Kasar/krikil/pasir klas B (Uk. 20-40)	m <sup>3</sup>	Rp210.000,00

Lanjutan tabel 5.35 Daftar Harga Bahan Dan Upah Pekerja

<b>Bahan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Harga</b>
Agregat Kasar/krikil/pasir klas B (Uk. 4,5-19)	m <sup>3</sup>	Rp210.000,00
Portland Cement (PC)	50 kg	Rp60.000,00
Portland Cement (PC)	kg	Rp1.200,00
Steel deck	m <sup>2</sup>	Rp140.000,00
wiremesh m8	m <sup>2</sup>	Rp48.000,00
Bambu, panjang 4m	batang	Rp15.000,00
multiplex 18mm	lembar	Rp210.000,00
multiplex 12mm	lembar	Rp144.000,00
Kaso borneo 5/7 cm	m <sup>3</sup>	Rp1.600.000,00
cor beton karya beton K-300	m <sup>3</sup>	Rp830.000,00
vibrator	perhari	Rp250.000,00
concrete pump	perhari	Rp3.500.000,00
<b>Upah</b>		
Pekerja	OH	Rp52.000,00
Mandor	OH	Rp65.000,00
Tukang Batu	OH	Rp58.000,00
Kepala Tukang Batu	OH	Rp63.000,00
Tukang Kayu	OH	Rp63.000,00
Kepala Tukang Kayu	OH	Rp65.000,00
Tukang Besi	OH	Rp61.000,00
Kepala Tukang Besi	OH	Rp63.000,00

### 5.7.2 Analisis Harga Satuan pekerjaan

Analisis harga satuan pekerjaan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI).

Berikut ini ditampilkan analisis harga satuan pekerjaan.

a. Cor beton 1m<sup>3</sup>

Beton yang digunakan dengan mutu K-300. Harga satuan pekerjaan cor beton dapat dilihat pada Tabel 5.36.

**Tabel 5.36 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Cor beton 1m<sup>3</sup>**

1 m3 cor beton ready mix K-300					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	1,000	Rp52.000,00	Rp52.000,00
	Tukang batu	OH	0,250	Rp58.000,00	Rp14.500,00
	Kepala Tukang	OH	0,025	Rp63.000,00	Rp1.575,00
	Mandor	OH	0,100	Rp65.000,00	Rp6.500,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp74.575,00
B.	Bahan				
	beton ready mix	m3	1,02	Rp830.000,00	Rp846.600,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp846.600,00
C.	Alat				
	concrete pump	hari	0,12	Rp3.500.000,00	Rp420.000,00
	vibrator	hari	0,10	Rp250.000,00	Rp25.000,00
			jumlah Harga Alat		Rp445.000,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp1.366.175,00

b. Pekerjaan pembesian 1kg

Perhitungan pembesian atau tulangan dihitung dengan satuan per kg. Harga satuan pekerjaan pembesian dapat dilihat pada Tabel 5.37.

**Tabel 5.37 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pembesian 1kg**

1 kg pembesian					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,007	Rp52.000,00	Rp364,00
	Tukang besi	OH	0,007	Rp61.000,00	Rp427,00
	Kepala Tukang	OH	0,0007	Rp63.000,00	Rp44,10
	Mandor	OH	0,0004	Rp65.000,00	Rp26,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp861,10
B.	Bahan				
	Besi beton	kg	1,05	Rp9.500,00	Rp9.975,00
	Kawat Beton (bendrat)	kg	0,015	Rp20.000,00	Rp300,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp10.275,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp11.136,10

c. Pekerjaan bekisting pelat  $1\text{m}^2$ 

Perhitungan bekisting dihitung dengan satuan per  $1\text{m}^2$ . Harga satuan pekerjaan bekisting dapat dilihat pada Tabel 5.38.

**Tabel 5.38 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Bekisting Pelat  $1\text{m}^2$**

1 m2 Bekisting Pelat					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,20	Rp52.000,00	Rp10.400,00
	Tukang Kayu	OH	0,1	Rp63.000,00	Rp6.300,00
	Kepala Tukang	OH	0,01	Rp63.000,00	Rp630,00
	Mandor	OH	0,02	Rp65.000,00	Rp1.300,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp18.630,00
B.	Bahan				
	multiflex 12 mm	lmbr	0,353	Rp144.000,00	Rp50.832,00
	Paku 5 dan 7cm	kg	0,220	Rp13.000,00	Rp2.860,00
	minyak bekisting	Liter	0,200	Rp5.500,00	Rp1.100,00
	Kaso 5/7 cm	m <sup>3</sup>	0,014	Rp1.600.000,00	Rp22.400,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp77.192,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp95.822,00

d. Pekerjaan perancah pelat  $1\text{m}^2$ 

Perhitungan perancah pelat dihitung dengan satuan per  $1\text{m}^2$ . Harga satuan pekerjaan perancah pelat dapat dilihat pada Tabel 5.39.

**Tabel 5.39 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Perancah  $1\text{m}^2$**

1 m2 pasang perancah pelat					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,34	Rp52.000,00	Rp17.680,00
	Tukang Kayu	OH	0,17	Rp63.000,00	Rp10.710,00
	Kepala Tukang	OH	0,017	Rp65.000,00	Rp1.105,00
	Mandor	OH	0,034	Rp65.000,00	Rp2.210,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp31.705,00

Lanjutan tabel 5.39 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Perancah 1m<sup>2</sup>

1 m2 pasang perancah pelat					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
B.	Bahan				
	Paku 5cm-12cm	kg	0,30	Rp13.000,00	Rp3.900,00
	Dolken Kayu galam, ø(8-10) cm, panjang 4m	batang	4,50	Rp18.000,00	Rp81.000,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp84.900,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp116.605,00

e. Pekerjaan bekisting balok 1m<sup>2</sup>

Perhitungan bekisting dihitung dengan satuan per 1m<sup>2</sup>. Harga satuan pekerjaan bekisting dapat dilihat pada Tabel 5.40.

**Tabel 5. 40 Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Bekisting Balok 1m<sup>2</sup>**

1 m2 Bekiting Balok					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,240	Rp52.000,00	Rp12.480,00
	Tukang Kayu	OH	0,12	Rp63.000,00	Rp7.560,00
	Kepala Tukang	OH	0,012	Rp65.000,00	Rp780,00
	Mandor	OH	0,024	Rp65.000,00	Rp1.560,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp22.380,00
B.	Bahan				
	multiflex 12 mm	m3	0,353	Rp144.000,00	Rp50.832,00
	Paku 5cm-12cm	kg	0,250	Rp13.000,00	Rp3.250,00
	minyak bekisting	Liter	0,20	Rp5.500,00	Rp1.100,00
	kaso 5/7 cm	M3	0,033	Rp1.600.000,00	Rp52.800,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp107.982,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp130.362,00

f. Pekerjaan perancah balok  $1\text{m}^2$

Perhitungan perancah balok dihitung dengan satuan per  $1\text{m}^2$ . Harga satuan pekerjaan perancah balok dapat dilihat pada Tabel 5.41.

**Tabel 5. 41 Harga Satuan Pekerjaan Perancah Balok  $1\text{m}^2$**

1 m2 pasang perancah balok					
no	uraian	satuan	koefisien	harga satuan (Rp)	jumlah harga (Rp)
A.	Tenaga Kerja				
	Pekerja	OH	0,40	Rp52.000,00	Rp20.800,00
	Tukang Kayu	OH	0,20	Rp63.000,00	Rp12.600,00
	Kepala Tukang	OH	0,020	Rp65.000,00	Rp1.300,00
	Mandor	OH	0,040	Rp65.000,00	Rp2.600,00
			Jumlah Harga Tenaga kerja		Rp37.300,00
B.	Bahan				
	Paku 5cm- 12cm	kg	0,28	Rp13.000,00	Rp3.640,00
	Dolken Kayu galam, $\varnothing(8-10)$ cm, panjang 4m	batang	2,70	Rp18.000,00	Rp48.600,00
			Jumlah Harga Bahan		Rp52.240,00
Jumlah Harga Pekerjaan					Rp89.540,00

### 5.7.3 Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan dapat diperoleh dengan data struktur. Data dstruktur meliputi detail dimensi dan detail tulangan. Berikut ini ditampilkan volume pekerjaan *waffle slab* serta pelat dan balok konvensional gedung terdahulu.

a. Volume pekerjaan *waffle slab*

Pada Tabel 5.42 dan Tabel 5.43 ditampilkan detail tulangan *waffle slab*. Pada tabel 5.44 ditampilkan volume pekerjaan *waffle slab*.

**Tabel 5. 42 Detail Tulangan Waffle Slab Arah X**

Tipe Pelat	Negative Reinforcement			Positive Reinforcement			
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan	Interior		Exterior	
				Lajur Kolom	Lajur Tengah	Lajur Kolom	Lajur Tengah
A	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25
B	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25
C	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25
D	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25

**Tabel 5. 43 Detail Tulangan Waffle Slab Arah Y**

Tipe Pelat	Negative Reinforcement			Positive Reinforcement			
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan	Interior		Exterior	
				Lajur Kolom	Lajur Tengah	Lajur Kolom	Lajur Tengah
A	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22
B	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22
C	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22
D	D13-150	D13-150	D13-150	2D25	2D22	2D25	2D22

**Tabel 5. 44 Perhitungan Volume Pelat**

Lantai	Volume Bekisting (m <sup>2</sup> )	Volume Pembesian (kg)	Volume Perancah (m <sup>2</sup> )	Volume Cor Beton (m <sup>3</sup> )
1	789,130	20972,422	352,15	99,011
2	789,130	20972,422	352,15	99,011
3	803,943	22107,558	383,65	103,099

b. Volume pekerjaan pelat balok konvensional

Pada Tabel 5.45 ditampilkan perhitungan volume balok konvensional. Pada Tabel 5.46 ditampilkan perhitungan volume pelat konvensional.

**Tabel 5.45 Perhitungan Volume Balok Konvensional**

Tipe Balok	Dimensi balok		Panjang balok (m)	Jumlah balok	Volume bekisting (m <sup>2</sup> )	Volume pembesian (kg)	Volume cor beton (m <sup>3</sup> )	Volume perancah balok (m <sup>2</sup> )
	b (mm)	h (mm)						
b1 1	400	700	8,5	6	91,8	2502,036	14,28	20,4
b1 2	400	700	7,5	6	81	2203,528	12,6	18
b2	350	600	7,5	45	523,125	14213,79	70,875	118,125
b3	250	400	15	18	283,5	6617,025	27	67,5
b4	350	600	7,5	9	116,25	2132,287	15,75	26,25
b6	200	400	15	24	360	5310,431	28,8	72
total				108	1455,675	32979,098	169,305	322,275

**Tabel 5.46 Perhitungan Volume Pelat Konvensional**

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Jumlah pelat	Volume Bekisting pelat (m <sup>2</sup> )	Volume pekerjaan perancah (m <sup>2</sup> )	Volume pembesian pelat (kg)	Volume cor beton (m <sup>3</sup> )
	Ly (m)	Lx (m)					
a1 1	7	2,3	3	48,3	48,3	571,650	5,796
a1 2	7	2	8	127,4	127,4	1519,982	15,288
a2 1	5	2,4	30	360	360	3326,401	43,2
a2 2	5	2,375	30	356,25	356,25	3310,976	42,75
a2 3	5	2,375	36	427,5	427,5	3973,171	51,3
a3 1	5	2,4	6	72	72	665,280	8,64
a3 2	5	2,375	6	71,25	71,25	662,195	8,55
total			119	1462,7	1462,7	14029,657	175,524

#### 5.7.4 Biaya

Dengan data volume dan harga satuan pekerjaan diperoleh harga untuk setiap pekerjaan yang sesuai dengan volume. Total dari harga setiap pekerjaan yakni menjadi anggaran biaya. Berikut ini rencana anggaran biaya untuk waffle slab serta pelat dan balok konvensional gedung terdahulu.

##### a. Rencana anggaran biaya *waffle slab*

Anggaran biaya waffle slab dapat dilihat pada Tabel 5.47.

**Tabel 5.47 Rencana Anggaran Biaya Waffle Slab**

Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
Pelat lantai waffle				
pekerjaan bekisting pelat	2382,20285	m2	Rp95.822,00	Rp228.267.441,49
pekerjaan pembesian pelat	64052,40152	kg	Rp11.136,10	Rp 713.293.948,57
pekerjaan perancah	1087,95	m2	Rp116.605,00	Rp126.860.409,75
pekerjaan cor beton	301,1209125	m3	Rp1.366.175,00	Rp411.383.862,63
			Jumlah	Rp1.479.805.662,44

b. Rencana anggaran biaya pelat dan balok konvensional

Anggaran biaya pelat dan balok konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.48.

**Tabel 5.48 Rencana Anggaran Biaya Pelat Dan Balok Konvensional**

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Harga satuan	Jumlah
1	Pelat lantai				
	pekerjaan bekisting pelat	1462,7	m2	Rp95.822,00	Rp140.158.839,40
	pekerjaan pembesian pelat	14029,657	kg	Rp11.136,10	Rp156.235.664,11
	pekerjaan perancah	1462,7	m2	Rp116.605,00	Rp170.558.133,50
	pekerjaan cor beton	175,524	m3	Rp1.366.175,00	Rp239.796.500,70
				Jumlah	Rp706.749.137,71
2	Balok				
	pekerjaan bekisting balok	1455,675	m2	Rp130.362,00	Rp189.764.704,35
	pekerjaan pembesian balok	32979,098	kg	Rp11.136,10	Rp367.258.541,61
	pekerjaan perancah	322,275	m2	Rp89.540,00	Rp28.856.503,50
	pekerjaan cor beton	169,305	m3	Rp1.366.175,00	Rp231.300.258,38

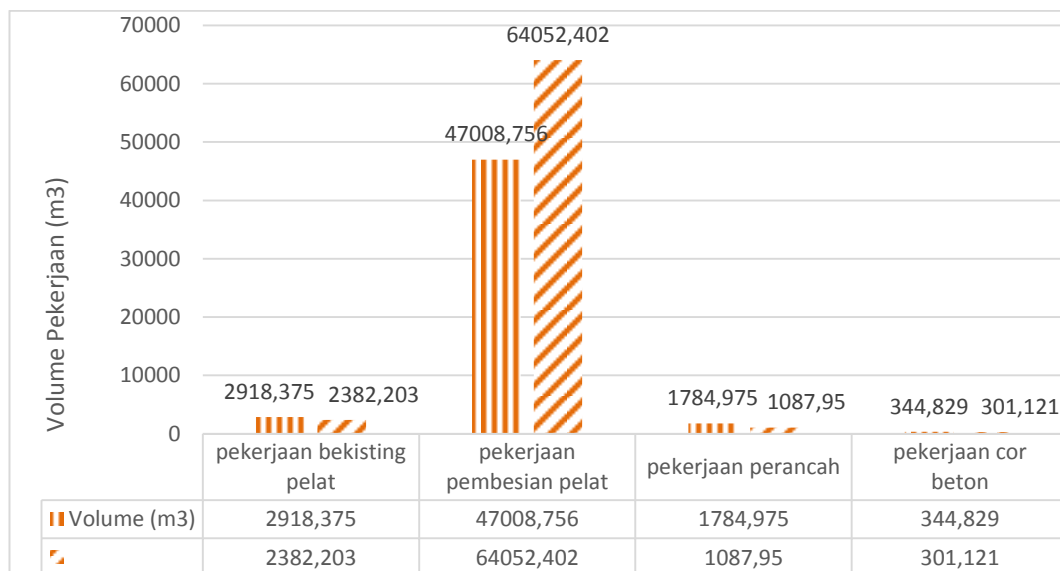
				0	
				Jumlah	Rp817.180.007,84
				Total	Rp1.523.929.145,54

### 5.8 PERBANDINGAN RAB

Dari hasil analisis data yang telah diperoleh, selanjutnya akan dibandingkan rencana anggaran biaya . Hal yang akan di bandingkan yakni pekerjaan pelat lantai untuk pelat balok konvensional serta waffle slab. Berikut ini perbandingan volume dan rab dilihat pada Tabel 5.49, Tabel 5.50 serta diagram dilihat pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.

**Tabel 5.49 Perbandingan Volume Pekerjaan**

Item Pekerjaan	Volume	
	Pelat Balok Konvensional	Waffle Slab
Pekerjaan Bekisting	2918,375	2382,202
Pekerjaan Pembesian	47008,756	64052,402
Pekerjaan Perancah	1784,975	1087,95
Pekerjaan Cor Beton	344,829	301,121

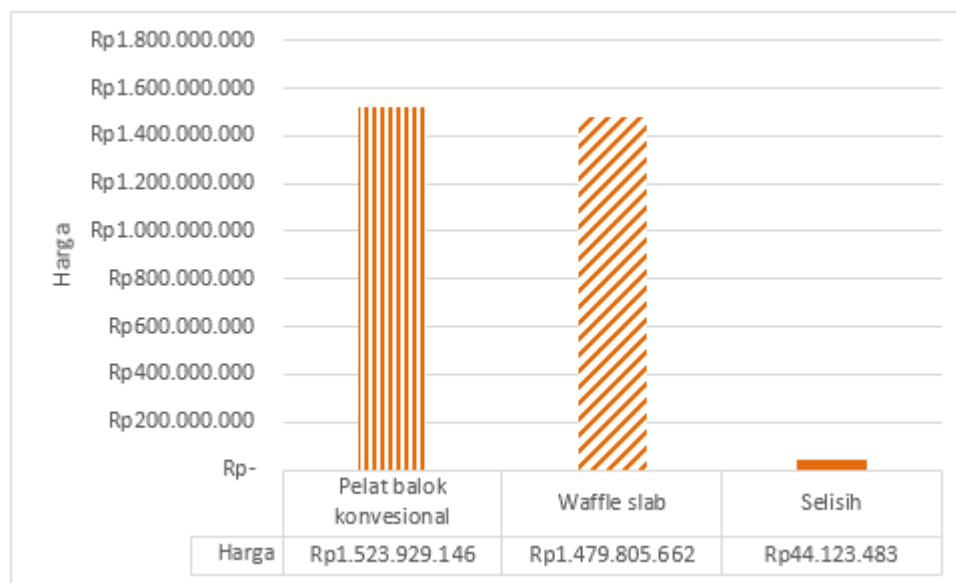


**Gambar 5.17 Perbandingan Volume Pekerjaan**

**Tabel 5.50 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya**

	Pelat Balok Konvensional	Waffle Slab
--	--------------------------	-------------

Harga	Rp1.523.929.145,54	Rp1.479.805.662,44
-------	--------------------	--------------------



**Gambar 5.18 Perbandingan Rencana Anggaran Biaya**

## 5.9 PEMBAHASAN

Hasil dari analisis akan dibahas deskriptif serta melihat hasil penelitian terhadap tujuan penelitian. Berdasarkan perencanaan *waffle slab*, pembahasan akan disajikan sebagai berikut.

### 1. Struktur *waffle slab*

Perencanaan *waffle slab* dimulai dengan penentuan luas panel. Panel *waffle slab* dibuat dengan luas 5 m x 5 m dan 7 m x 7,5 m. Dengan berbedanya luas panel maka dibuat menjadi 4 tipe panel pelat. Tipe – tipe pelat dapat dilihat pada Gambar 5.6.

*Waffle slab* terdiri dari beberapa bagian yakni, rib sebagai balok kecil bersilangan, dome yakni kubah yang tercipta akibat persilangan rib, *solid head* yakni perbesaran kolom bertujuan agar mencegah geser. Dimensi *waffle slab* yang sudah direncanakan akan ditampilkan sebagai berikut.

Rib	: 15 cm x 21 cm
Dome	: 70 cm x 70 cm
Lebar <i>solid head</i>	: 270 cm x 270 cm
Tebal slab	: 8 cm

Tebal *solid head* : 29 cm

Penulangan *waffle slab* dibagi sesuai lajur. Lajur terdiri dari lajur kolom dan lajur tengah. Setiap lajur terdapat penulangan positif yakni dilapangan dan penulangan negatif ditumpuan. Berikut ditampilkan rekap penulangan *waffle slab* pada Tabel 5.51 dan Tabel 5.52.

**Tabel 5.51 Rekap Penulangan Waffle Slab Arah X Lantai 1,2 dan 3**

Tipe Pelat	Negative Reinforcement			Positive Reinforcement				<i>Solid head</i>
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan	Interior		Exterior		
				Lajur Kolom	Lajur Tengah	Lajur Kolom	Lajur Tengah	
A	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25	P12-50 P10-60
B	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25	P12-50 P10-60
C	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25	P12-50 P10-60
D	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D25	2D22	2D25	P10-60

**Tabel 5.52 Rekap Penulangan Waffle Slab Arah Y Lantai 1,2 dan 3**

Tipe Pelat	Negative Reinforcement			Positive Reinforcement				<i>Solid head</i>
	Tumpuan dalam	Tumpuan luar	Lapangan	Interior		Exterior		
				Lajur Kolom	Lajur Tengah	Lajur Kolom	Lajur Tengah	
A	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22	P12-50 P10-60
B	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22	P12-50 P10-60
C	D13-150	D13-150	D13-150	2D22	2D22	2D22	2D22	P12-50 P10-60
D	D13-150	D13-150	D13-150	2D25	2D22	2D25	2D22	P10-60

Perencanaan dengan menggunakan jenis *waffle slab* merupakan sebagai salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam perencanaan pelat pada bangunan. *Waffle slab* dapat direncanakan pada bentang bangunan yang lebih besar. Bentang yang digunakan sebelumnya pada bangunan *existing* adalah 2,5 m

x 5 m diperbesar menjadi 5 m x 7,5 m. Bentang yang digunakan dibuat lebih besar karena pengurangan balok yang digantikan dengan *ribs*. Adanya *ribs* sebagai pengganti balok selain dapat membuat desain menjadi lebih indah, pelat juga menjadi lebih kaku. *Waffle slab* yang digunakan sebagai alternatif perencanaan pelat juga memiliki kekurangan. Kekurangan *waffle slab* dibanding dengan perencanaan pelat balok konvensional yaitu penggunaan dimensi tulangan yang jauh lebih besar dan jumlah tulangan lebih banyak. Tulangan yang digunakan sebelumnya pada bangunan *existing* adalah P10 diperbesar menjadi D13.

## 2. Rencana anggaran biaya

Dari hasil pembuatan anggaran biaya dihasilkan dua biaya yang berbeda. Rencana anggaran biaya untuk pekerjaan pelat balok konvensional sebesar Rp 1.523.929.145,54 sedangkan untuk rencana anggaran biaya pekerjaan *waffle slab* sebesar Rp 1.479.805.662,44. Perbedaan biaya anggaran yakni sebesar Rp 44.123.483,10. Anggaran biaya untuk pekerjaan *waffle slab* lebih hemat 2,89% dibanding dengan pelat balok konvensional.

Faktor yang dapat mempengaruhi biaya pekerjaan *waffle slab* lebih hemat dibanding dengan pekerjaan pelat balok konvensional yaitu volume beton yang digunakan. Volume beton pada *waffle slab* lebih sedikit dibanding dengan volume beton pelat balok konvensional. Hal tersebut dikarenakan tidak ada balok penghubung antar kolom pada *waffle slab* sehingga balok penghubung antar kolom digantikan dengan *ribs*. Hal lain yang mempengaruhi perbedaan volume beton yaitu tebal *slab* pada jenis *waffle slab* lebih tipis dibanding dengan tebal pelat balok konvensional. Faktor lain yang juga dapat mempengaruhi biaya adalah pekerjaan bekisting. Bekisting yang digunakan pada *waffle slab* lebih sedikit dibanding dengan pelat balok konvensional.

## **BAB VI SIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1 SIMPULAN**

Berdasarkan perencanaan ulang pada gedung layanan akademik UNY dengan *waffle slab* maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Dimensi panel pelat dengan *waffle slab* didapati lebih luas yakni 5 m x 7,5 m dan 7 m x 7,5 m. Dengan dimensi tersebut menjadi tipikal untuk 3 lantai.

Dimensi *waffle slab* sebagai berikut :

Rib : 15 cm x 21 cm

Dome : 70 cm x 70 cm

Lebar *solid head* : 270 cm x 270 cm

Tebal slab : 8 cm

Tebal *solid head* : 29 cm

Hasil penulangan *waffle slab* sesuai dengan tipe pelat. Penulangan slab digunakan tulangan D13 dengan jarak 150 mm untuk setiap tipe pelat arah X dan arah Y. Untuk penulangan rib akan berjumlah 2 tulangan pada tiap rib. Dimensi tulangan akan digunakan D22 untuk lajur kolom dan D25 untuk lajur tengah.

2. Biaya yang dihasilkan untuk gedung dengan sistem *waffle slab* lebih murah 2,89% dibanding dengan pelat balok konvensional.

### **6.2 SARAN**

Adapun saran yang perlu disampaikan peneliti sebagai berikut.

1. Perencanaan dengan *waffle slab* hendaknya perlu perhatian dalam memilih dimensi *waffle slab* (*ribs*, *dome*, *solidhead*).
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat ditambahkan analisis pada kolom dan pondasi.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2008). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- Ali, P. D. (2011). Analysis and Design of Two-way Slab Systems (Two Way joist Slabs & Two-way Slab with Beams). *Lecture 10, Civil Engineering Department UET Peshawar*, 1-38.
- Asri, A. (2012, february 14). *Pengetahuan Umum Bangunan Bertingkat*. Retrieved from bangunanbertingkat blogspot: bangunanbertingkat.blogspot.com
- BSN. (2012). *SNI 03-1726 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BSN. (2013). *03 - 1727 Beban minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN. (2013). *03 - 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Budiadi, A. (2008). *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- CSRI. (2002). *CSRI Design Handbook 2002*. America: CSRI.
- Ghoofi, A. (2012, July 14). *Pelat*. Retrieved from Scribd: <http://www.scribd.com/doc/100054099/pelat#scribd>
- Hassoun, M., & Al-Manaseer, A. (2008). *Structural Concrete Theory and Design Fourth Edition*. Hokoben: John Wiley & sons, Inc.
- Ir. Sudarmoko, M. (1996). *Perancangan Struktur Pelat Beton (Mengacu SK SNI T-15-1991-03)*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- McCormac, J. C. (2004). *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Safitri, K. (2013). *Redesain Gedung Hotel Inna Garuda Yogyakarta Menggunakan Komposit Baja-Beton*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil FTSP UII.
- Sesaria, N., & Febita, H. V. (2008). *Analisis Pelat Dua Arah dengan Metode Perencanaan Langsung (Studi Kasus Pelat dengan Balok, Pelat dengan*

*Drop Panel, Pelat Datar*). Semarang: Fakultas Teknik Program Studi  
Teknik Sipil UKS.

- SKBI. (1987). *SKBI 1987 Pedoman Perencanaan Pembenanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Wahyudi, L., & Rahim, S. A. (1997). *Struktur Beton Bertulang Standar Baru SNI T-15-1991-03*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wijaya, I. C. (2009). *Perencanaan Ulang Struktur (Redesign) Dedy Jaya Mall (Tegal)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil FTSP UII.

# LAMPIRAN

Lampiran 1. Momen arah X tipe B

Arah X tipe B									
Momen bentang dalam					Momen bentang tepi				
M11					M11				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F168	COMB2	-1,476	COMB2	0,511	F176	COMB2	-2,462	COMB2	0,416
F190	COMB2	-1,521	COMB2	0,583	F192	COMB2	-2,411	COMB2	0,506
F293	COMB2	-1,477	COMB2	0,507	F301	COMB2	-2,462	COMB2	0,412
F322	COMB2	-1,522	COMB2	0,580	F324	COMB2	-2,411	COMB2	0,501
F164	COMB6	-2,144	COMB4	0,201	F172	COMB2	-1,239	COMB2	0,521
F189	COMB5	-2,180	COMB3	0,235	F191	COMB2	-1,290	COMB2	0,596
F289	COMB4	-2,145	COMB6	0,202	F297	COMB2	-1,240	COMB2	0,517
F321	COMB3	-2,181	COMB5	0,236	F323	COMB2	-1,293	COMB2	0,593
F167	COMB10	-0,401	COMB2	0,855	F175	COMB2	-4,140	COMB2	3,397
F186	COMB9	-0,540	COMB2	0,947	F188	COMB6	-1,828	COMB10	1,674
F294	COMB8	-0,410	COMB2	0,845	F302	COMB2	-4,174	COMB2	3,407
F326	COMB7	-0,544	COMB2	0,938	F328	COMB4	-1,832	COMB8	1,692
F163	COMB2	-9,001	COMB2	5,048	F171	COMB5	-0,218	COMB2	0,922
F185	COMB2	-9,382	COMB2	5,318	F187	COMB6	-0,168	COMB2	1,144
F290	COMB2	-9,011	COMB2	5,050	F298	COMB7	-0,224	COMB2	0,917
F325	COMB2	-9,393	COMB2	5,319	F327	COMB8	-0,173	COMB2	1,138
F166	COMB8	-0,316	COMB2	0,834	F174	COMB2	-5,666	COMB2	3,719
F182	COMB7	-0,316	COMB2	0,948	F184	COMB4	-1,542	COMB2	1,512
F295	COMB10	-0,328	COMB2	0,732	F303	COMB2	-5,646	COMB2	3,662
F330	COMB9	-0,328	COMB2	0,865	F332	COMB6	-1,551	COMB2	1,506
F162	COMB2	-7,144	COMB2	4,375	F170	COMB3	-0,515	COMB2	0,946
F181	COMB2	-8,388	COMB2	5,113	F183	COMB8	-0,063	COMB2	1,143
F291	COMB2	-7,151	COMB2	4,327	F299	COMB5	-0,526	COMB2	0,876
F329	COMB2	-8,393	COMB2	5,063	F331	COMB10	-0,082	COMB2	1,084
F165	COMB2	-1,342	COMB2	0,373	F173	COMB2	-3,054	COMB6	0,202
F178	COMB2	-1,300	COMB2	0,698	F180	COMB2	-2,188	COMB2	0,579
F296	COMB2	-1,347	COMB2	0,370	F304	COMB2	-3,056	COMB4	0,202
F334	COMB2	-1,305	COMB2	0,695	F336	COMB2	-2,195	COMB2	0,574
F161	COMB4	-2,212	COMB6	0,279	F169	COMB2	-1,636	COMB2	0,383
F177	COMB3	-2,184	COMB2	0,330	F179	COMB2	-1,183	COMB2	0,711
F292	COMB6	-2,214	COMB4	0,278	F300	COMB2	-1,641	COMB2	0,380
F333	COMB5	-2,186	COMB2	0,328	F335	COMB2	-1,187	COMB2	0,707

Lampiran 2 Momen interior arah Y tipe B

Arah Y tipe B									
Momen bentang dalam bagian kiri					Momen bentang dalam bagian kanan				
M22					M22				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F176	COMB2	-4,669	COMB2	1,516	F174	COMB2	-3,850	COMB2	1,903
F192	COMB2	-4,609	COMB2	1,416	F184	COMB2	-2,583	COMB2	1,037
F301	COMB2	-4,671	COMB2	1,517	F303	COMB2	-3,843	COMB2	1,905
F324	COMB2	-4,610	COMB2	1,417	F332	COMB2	-2,576	COMB2	1,761
F172	COMB7	-0,766	COMB2	2,732	F170	COMB15	-0,062	COMB2	2,538
F191	COMB10	-0,625	COMB2	2,716	F183	COMB16	0,008	COMB2	2,573
F297	COMB9	-0,807	COMB2	2,731	F299	COMB17	-0,082	COMB2	2,537
F323	COMB8	-0,666	COMB2	2,715	F331	COMB18	-0,012	COMB2	2,570
F168	COMB2	-1,466	COMB2	2,571	F166	COMB10	-0,543	COMB2	2,476
F190	COMB2	-1,616	COMB2	2,681	F182	COMB7	-0,681	COMB2	2,509
F293	COMB8	-1,483	COMB2	2,570	F295	COMB8	-0,634	COMB2	2,474
F322	COMB2	-1,616	COMB2	2,680	F330	COMB9	-0,771	COMB2	2,507
F164	COMB2	-4,833	COMB2	0,910	F162	COMB2	-11,866	COMB2	5,060
F189	COMB2	-5,095	COMB2	0,846	F181	COMB2	-13,819	COMB2	6,003
F289	COMB2	-4,830	COMB2	0,910	F291	COMB2	-11,899	COMB2	5,082
F321	COMB2	-5,094	COMB2	0,846	F329	COMB2	-13,849	COMB2	6,023
F175	COMB2	-3,187	COMB2	1,651	F173	COMB2	-4,927	COMB2	1,818
F188	COMB2	-2,763	COMB2	1,046	F180	COMB2	-4,317	COMB2	1,352
F302	COMB2	-3,206	COMB2	1,657	F304	COMB2	-4,956	COMB2	1,759
F328	COMB2	-2,764	COMB2	1,040	F336	COMB2	-4,339	COMB2	1,299
F171	COMB17	-0,030	COMB2	2,554	F169	COMB7	-0,731	COMB2	2,784
F187	COMB18	0,005	COMB2	2,635	F179	COMB10	-0,539	COMB2	2,600
F298	COMB15	-0,058	COMB2	2,554	F300	COMB9	-0,750	COMB2	2,788
F327	COMB16	-0,022	COMB2	2,635	F335	COMB8	-0,559	COMB2	2,603
F167	COMB10	-0,593	COMB2	2,504	F165	COMB2	-1,488	COMB2	2,585
F186	COMB7	-0,697	COMB2	2,573	F178	COMB2	-1,583	COMB2	2,521
F294	COMB8	-0,614	COMB2	2,503	F296	COMB8	-1,502	COMB2	2,589
F326	COMB9	-0,718	COMB2	2,573	F334	COMB2	-1,593	COMB2	2,525
F163	COMB2	-13,548	COMB2	5,976	F161	COMB2	-4,742	COMB2	0,894
F185	COMB2	-14,430	COMB2	6,276	F177	COMB2	-4,888	COMB2	0,816
F290	COMB2	-13,554	COMB2	5,978	F292	COMB2	-4,734	COMB2	0,888
F325	COMB2	-14,437	COMB2	6,278	F333	COMB2	-4,883	COMB2	0,811

Lampiran 3. Momen arah X tipe C

Arah X tipe C									
Momen bentang dalam					Momen bentang tepi				
M11					M11				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F200	COMB2	-1,431	COMB2	0,309	F208	COMB5	-2,771	COMB2	0,136
F222	COMB2	-1,166	COMB2	0,805	F224	COMB2	-2,148	COMB2	0,728
F261	COMB2	-1,450	COMB2	0,309	F269	COMB2	-2,756	COMB2	0,207
F274	COMB2	-1,182	COMB2	0,805	F276	COMB2	-2,165	COMB2	0,724
F196	COMB2	-2,624	COMB2	0,474	F204	COMB2	-1,789	COMB2	0,321
F221	COMB5	-2,171	COMB2	0,698	F223	COMB2	-1,080	COMB2	0,819
F257	COMB4	-2,203	COMB6	0,394	F265	COMB2	-1,786	COMB2	0,323
F273	COMB3	-2,176	COMB5	0,394	F275	COMB2	-1,073	COMB2	0,819
F199	COMB2	-0,414	COMB2	0,841	F207	COMB2	-10,502	COMB2	5,902
F218	COMB9	-0,244	COMB2	0,975	F220	COMB6	-1,525	COMB2	1,677
F262	COMB2	-0,422	COMB2	0,755	F270	COMB2	-10,686	COMB2	5,912
F278	COMB7	-0,258	COMB2	0,980	F280	COMB3	-1,494	COMB2	1,749
F195	COMB2	-9,441	COMB2	5,494	F203	COMB2	-0,902	COMB2	1,396
F217	COMB2	-5,057	COMB2	3,568	F219	COMB14	-0,019	COMB2	1,416
F258	COMB2	-11,342	COMB2	6,375	F266	COMB2	-0,881	COMB2	1,293
F277	COMB2	-6,700	COMB2	4,327	F279	COMB12	-0,018	COMB2	1,358
F198	COMB2	-0,671	COMB2	1,105	F206	COMB14	0,353	COMB2	3,603
F214	COMB2	-0,603	COMB2	1,034	F216	COMB3	-1,191	COMB2	1,809
F263	COMB2	-0,672	COMB2	1,090	F271	COMB2	0,346	COMB2	3,605
F282	COMB2	-0,604	COMB2	1,019	F284	COMB6	-1,153	COMB2	1,788
F194	COMB2	-7,784	COMB2	4,631	F202	COMB2	-0,284	COMB2	1,708
F213	COMB2	-10,592	COMB2	5,638	F215	COMB12	0,078	COMB2	1,404
F259	COMB2	-10,015	COMB2	5,724	F267	COMB2	-0,283	COMB2	1,706
F281	COMB2	-12,510	COMB2	6,576	F283	COMB14	0,081	COMB2	1,400
F197	COMB2	-2,203	COMB2	0,530	F205	COMB4	-6,280	COMB4	4,422
F210	COMB2	-1,572	COMB2	0,855	F212	COMB3	-1,909	COMB2	0,950
F287	COMB10	-0,684	COMB2	0,937	F272	COMB5	-6,289	COMB6	4,421
F264	COMB2	-2,218	COMB2	0,529	F288	COMB6	-1,873	COMB2	0,950
F193	COMB2	-2,796	COMB5	0,446	F201	COMB2	-0,696	COMB2	1,551
F209	COMB2	-2,667	COMB5	0,365	F211	COMB8	-0,685	COMB2	0,935
F260	COMB2	-2,706	COMB4	0,328	F268	COMB2	-0,697	COMB2	1,550
F285	COMB5	-1,849	COMB3	0,248	F286	COMB2	-1,585	COMB2	0,856

Lampiran 4. Momen interior arah Y tipe C

Arah Y tipe C									
Momen bentang dalam bagian kiri					Momen bentang dalam bagian kanan				
M22					M22				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F208	COMB2	-5,277	COMB2	2,282	F206	COMB2	-2,495	COMB2	5,984
F224	COMB2	-4,363	COMB2	1,312	F216	COMB4	-1,155	COMB2	1,092
F269	COMB2	-5,288	COMB2	1,618	F271	COMB2	-2,480	COMB2	5,985
F276	COMB2	-4,376	COMB2	1,265	F284	COMB2	-2,242	COMB2	1,117
F204	COMB7	-0,736	COMB2	2,813	F202	COMB17	0,512	COMB2	3,549
F223	COMB10	-0,546	COMB2	2,599	F215	COMB16	0,041	COMB2	2,429
F265	COMB9	-0,755	COMB2	2,813	F267	COMB15	0,507	COMB2	3,552
F275	COMB8	-0,565	COMB2	2,602	F283	COMB18	0,031	COMB2	2,433
F200	COMB2	-1,606	COMB2	2,661	F198	COMB2	-1,337	COMB2	3,174
F222	COMB2	-1,575	COMB2	2,522	F214	COMB7	-0,973	COMB2	2,366
F261	COMB2	-1,609	COMB2	2,660	F263	COMB2	-1,320	COMB2	3,177
F274	COMB2	-1,585	COMB2	2,526	F282	COMB9	-0,966	COMB2	2,370
F196	COMB2	-11,762	COMB2	3,746	F194	COMB2	-12,889	COMB2	3,542
F221	COMB2	-9,333	COMB2	2,584	F213	COMB2	-14,194	COMB2	5,543
F257	COMB2	-5,075	COMB2	0,852	F259	COMB2	-17,090	COMB2	6,337
F273	COMB2	-4,923	COMB2	0,741	F281	COMB2	-17,978	COMB2	8,081
F207	COMB2	-6,139	COMB2	3,381	F205	COMB2	-13,563	COMB2	6,145
F220	COMB2	-1,227	COMB2	1,103	F212	COMB2	-2,849	COMB2	1,003
F270	COMB2	-6,312	COMB2	3,539	F272	COMB2	-13,567	COMB2	6,146
F280	COMB2	-2,575	COMB2	1,789	F288	COMB2	-2,865	COMB2	0,948
F203	COMB17	0,060	COMB2	2,876	F201	COMB18	0,963	COMB2	5,927
F219	COMB18	0,034	COMB2	2,537	F211	COMB10	-0,671	COMB2	2,397
F266	COMB15	0,044	COMB2	2,876	F268	COMB16	0,964	COMB2	5,929
F279	COMB16	0,020	COMB2	2,537	F286	COMB2	-1,851	COMB2	2,337
F199	COMB2	-0,911	COMB2	2,689	F197	COMB2	-3,377	COMB2	4,475
F218	COMB7	-0,777	COMB2	2,467	F210	COMB2	-1,851	COMB2	2,334
F262	COMB10	-0,950	COMB2	2,689	F287	COMB8	-0,673	COMB2	2,401
F278	COMB9	-0,852	COMB2	2,467	F264	COMB2	-3,386	COMB2	4,477
F195	COMB2	-13,573	COMB2	5,108	F193	COMB2	-12,272	COMB2	2,563
F217	COMB2	-9,482	COMB2	3,039	F209	COMB2	-11,830	COMB2	3,848
F258	COMB2	-17,402	COMB2	7,680	F260	COMB2	-7,078	COMB10	0,513
F277	COMB2	-12,636	COMB2	5,155	F285	COMB2	-5,019	COMB2	0,852

Lampiran 5. Momen arah X tipe D

Arah X tipe D									
Momen bentang dalam					Momen bentang tepi				
M11					M11				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F232	COMB2	-2,967	COMB2	0,960	F358	COMB2	-1,577	COMB3	4,860
F395	COMB10	-2,710	COMB10	0,747	F396	COMB3	-1,105	COMB2	0,409
F228	COMB2	-6,120	COMB2	1,440	F365	COMB2	-6,642	COMB2	9,448
F253	COMB2	-4,389	COMB3	0,375	F392	COMB2	-0,190	COMB2	0,609
F387	COMB9	-1,796	COMB2	1,270	F367	COMB2	-0,916	COMB2	4,211
F231	COMB6	-0,412	COMB2	2,088	F369	COMB2	-0,916	COMB2	4,208
F227	COMB2	-3,309	COMB2	3,087	F363	COMB2	-1,577	COMB5	4,889
F249	COMB2	-2,572	COMB2	1,947	F397	COMB5	-1,151	COMB2	0,397
F230	COMB4	-0,414	COMB2	2,088	F366	COMB2	-6,646	COMB2	9,449
F389	COMB7	-1,811	COMB2	1,270	F393	COMB2	-0,190	COMB2	0,610
F226	COMB2	-3,310	COMB2	3,087					
F245	COMB2	-2,572	COMB2	1,947					
F220	COMB6	-1,525	COMB2	1,677					
F398	COMB8	-2,715	COMB8	0,755					
F225	COMB2	-6,120	COMB2	1,440					
F241	COMB2	-4,391	COMB5	0,375					

Lampiran 6. Momen interior arah Y tipe D

Arah Y tipe D									
Momen bentang dalam bagian kiri					Momen bentang dalam bagian kanan				
M22					M22				
	comb	Small	comb	Large		comb	Small	comb	Large
F358	COMB2	-11,392	COMB2	7,187	F363	COMB2	-11,392	COMB2	7,185
F396	COMB2	-2,783	COMB2	1,379	F397	COMB2	-2,792	COMB2	1,318
F365	COMB2	-5,139	COMB2	16,234	F366	COMB2	-5,141	COMB2	16,239
F392	COMB10	-0,797	COMB2	2,797	F393	COMB8	-0,791	COMB2	2,800
F232	COMB2	-3,436	COMB2	4,529	F220	COMB2	-1,227	COMB2	1,103
F395	COMB10	-2,540	COMB2	4,450	F398	COMB8	-2,542	COMB2	4,443
F228	COMB2	-13,813	COMB2	0,593	F225	COMB2	-13,805	COMB2	0,594
F253	COMB2	-8,050	COMB10	0,353	F241	COMB2	-8,048	COMB8	0,361
F367	COMB2	-0,335	COMB2	0,886	F369	COMB2	-0,336	COMB2	0,886
F387	COMB2	-0,824	COMB2	0,310	F230	COMB2	-1,814	COMB2	0,888
F231	COMB2	-1,813	COMB2	0,888	F389	COMB2	-0,824	COMB2	0,310
F227	COMB2	-4,414	COMB2	1,455	F226	COMB2	-4,413	COMB2	1,453
F249	COMB2	-2,762	COMB2	0,783	F245	COMB2	-2,761	COMB2	0,782