

**PERENCANAAN ALTERNATIF STRUKTUR KOMPOSIT
GEDUNG LABORATORIUM KEBENCANAAN JURUSAN TEKNIK
SIPIIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BESAR WIRA DHARMA

NIM. 145060107111037

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN ALTERNATIF STRUKTUR KOMPOSIT
GEDUNG LABORATORIUM KEBENCANAAN JURUSAN TEKNIK
SIPIIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

SKRIPSI

TEKNIK SIPIIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



BESAR WIRA DHARMA

NIM. 145060107111037

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 20 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. M. Taufik Hidayat, MT
NIP. 19611228 1998802 1 001

Christin Remayanti N, ST, MT
NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Perencanaan Alternatif Struktur Komposit Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Nama Mahasiswa : Besar Wira Dharma

NIM : 145060107111037

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

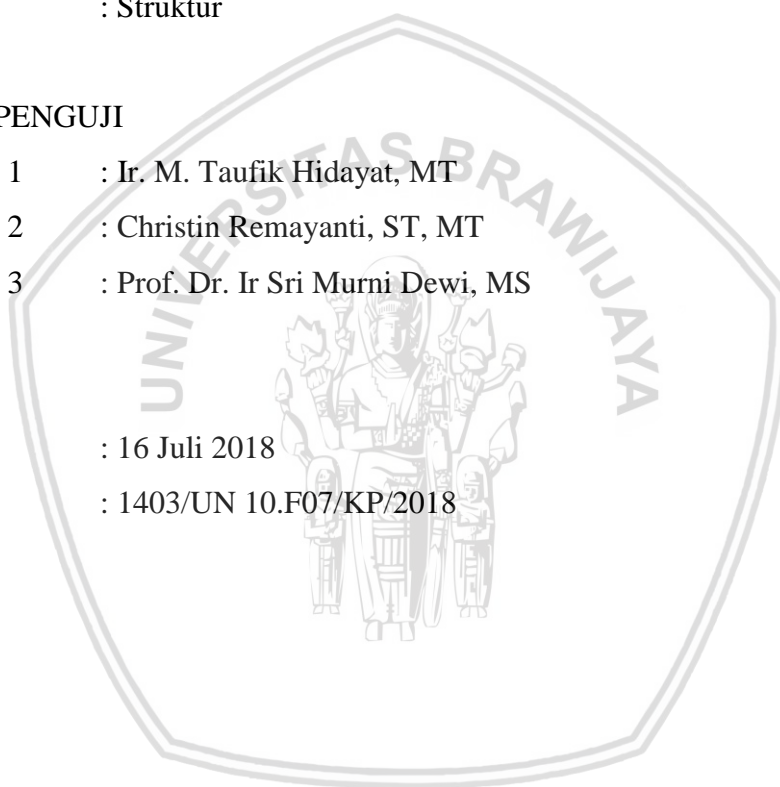
Dosen Penguji 1 : Ir. M. Taufik Hidayat, MT

Dosen Penguji 2 : Christin Remayanti, ST, MT

Dosen Penguji 3 : Prof. Dr. Ir Sri Murni Dewi, MS

Tanggal Ujian : 16 Juli 2018

SK Penguji : 1403/UN 10.F07/KP/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

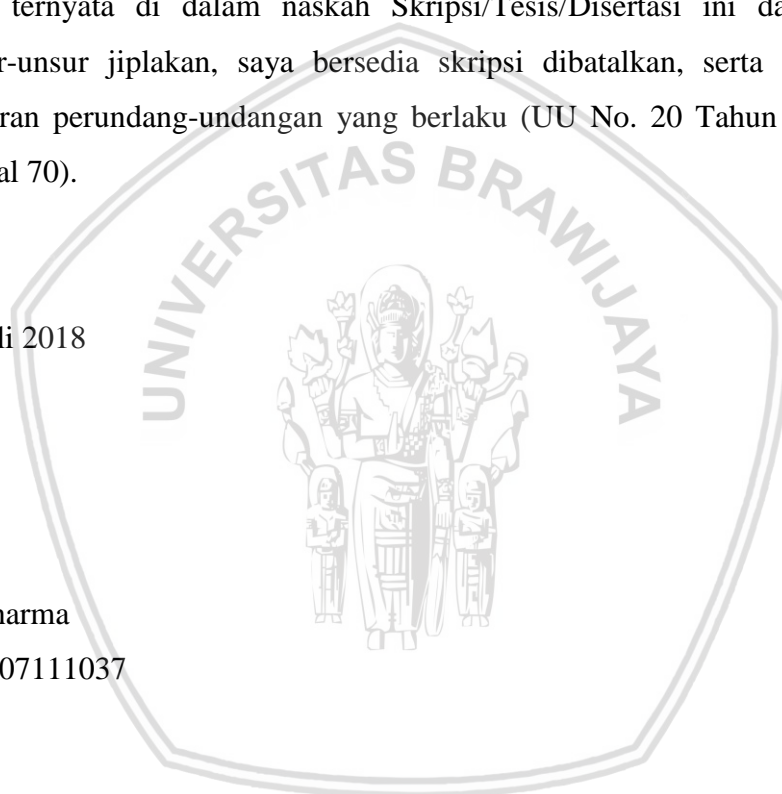
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 19 Juli 2018

Mahasiswa,

Besar Wira Dharma

Nim. 145060107111037





RIWAYAT HIDUP

Besar Wira Dharma, lahir di Same, Timor Leste, 30 April 1996, anak kedua dari Bapak NH. Irianto dan Ibu Ratna Wiyati. Mulai memasuki bangku sekolah di SD Negeri Pekuncen Pasuruan sejak tahun 2002 dan lulus pada tahun 2008. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 5 Pasuruan dan lulus pada tahun 2011. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Pasuruan dan lulus pada tahun 2014. Kemudian melanjutkan pendidikan perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2018 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif dalam kegiatan organisasi kampus. Aktif sebagai anggota Amara di Himpunan Mahasiswa Sipil, Teknik Sipil Universitas Brawijaya 2015/2016, serta berbagai kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.



Malang, Juli 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayah-Nya telah menuntun penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perencanaan Alternatif Struktur Komposit Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.”

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan bimbingan beberapa pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas segala ridho dan rahmat-Nyalah Saya dapat mengerjakan skripsi ini dengan lancar,
2. Mayor Inf. NH. Irianto dan Ratna Wiyati sebagai kedua Orangtua Saya, atas doa dan dukungan moril beliau saat mengerjakan skripsi ini,
3. Woro Irna Larasati, ST, M. Isro’ Mahgribi, dan Bagas Parikesit Riatmojo, selaku saudara dan saudari kandung,
4. Almh. Suciati sebagai nenek yang telah mengajarkan tentang kesabaran, keuletan, dan kasih sayang selama ini,
5. Ir. M. Taufik Hidayat, MT. dan Christin Remayanti, ST., MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir,
6. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
7. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
8. Staff Recording yang telah membantu dalam kepentingan administrasi dari awal hingga akhir kuliah,
9. Rekan tim penelitian Dicky Wirasatya, M. Faizal Ihza, ST dan Fahrizal Dwi Cahyo, ST yang tidak bosan membantu dengan ikhlas selama menyusun skripsi,
10. Semua rekan Teknik Sipil Angkatan 2014 atas bantuan, dukungan dan kebersamaan selama ini.
11. Rekan-rekan AmerA 2014 yang telah memberikan ilmu akan tanggung jawab dalam berorganisasi serta momen-momen keceriaan yang ada,
12. Game FIFA Online 3 Indonesia yang selalu menemani sepanjang waktu ketika lelah mengerjakan skripsi,

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat diperlukan untuk kebaikan di masa depan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISIiii
DAFTAR TABELvii
DAFTAR GAMBARix
DAFTAR LAMPIRANxiii
DAFTAR SIMBOLxv
RINGKASANxvii
SUMMARYxix

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Maksud dan Tujuan	3
1.6 Manfaat	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tinggi	5
2.2 Bangunan Tahan Gempa	6
2.3 Struktur Komposit	7
2.3.1 Umum	7
2.3.2 Aksi Komposit	8
2.4 Kriteria Perencanaan	8
2.4.1 Kombinasi Beban Berfaktor	8
2.4.2 Analisis Beban Gempa SNI 1726-2012	9
2.4.2.1 Kategori risiko struktur bangunan	9
2.4.2.2 Wilayah gempa	12
2.4.2.3 Sistem struktur	13
2.4.2.4 Respon spektrum percepatan gempa maksimum	14
2.4.2.5 Parameter percepatan spectrum desain	16
2.4.2.6 Spektrum respon desain	16
2.4.2.7 Parameter periode fundamental pendekatan	17

2.4.2.8	Geser dasar seismic.....	18
2.3.2.9	Distribusi gaya gempa.....	18
2.3.2.10	Konfigurasi struktur gedung.....	18
2.5	Konsep Perencanaan.....	18
2.6	Metode Analisis dan Desain.....	20
2.6.1	Analisis Struktur.....	20
2.6.2	Analisis Portal Tiga Dimensi.....	22
2.7	Analisis Penampang Komponen Komposit.....	22
2.7.1	Lebar Efektif Balok Komposit.....	22
2.7.2	Tegangan Elastis Balok Komposit.....	23
2.7.3	Kuat Lentur Nominal Balok Komposit.....	24
2.7.4	Kuat Geser nominal Balok Komposit.....	28
2.7.5	Analisa Penampang Komposit.....	28
2.7.6	Balok-Kolom Baja.....	29
2.7.7	Sambungan.....	32
2.7.8	Penghubung Geser.....	34

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1	Pengumpulan Data.....	37
3.2	Data Perencanaan.....	37
3.2.1	Data Umum Gedung.....	37
3.2.2	Data Teknis Gedung.....	37
3.3	Prosedur Perencanaan.....	38
3.3.1	Analisis Pembebanan.....	38
3.3.2	Analisis Statika.....	39
3.3.3	Desaian Penampang.....	39
3.3.4	Gambar Struktur.....	40
3.3.5	Diagram Alur Perencanaan.....	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Perencanaan Dimensi Struktur.....	45
4.1.1	Perencanaan Dimensi Balok.....	45
4.1.2	Perencanaan Dimensi Kolom.....	45
4.1.3	Perencanaan Pelat.....	46
4.2	Perencanaan Pembebanan Struktur.....	81
4.2.1	Beban Mati.....	81

4.2.2	Beban Hidup	82
4.3	Analisis Beban Gempa	83
4.4	Beban Kombinasi	86
4.5	Pemodelan pada SAP200 v19	86
4.6	Perencanaan Balok	87
4.6.1	Perencanaan Balok Sebelum Komposit	90
4.6.2	Perencanaan Balok Setelah Komposit	95
4.7	Perencanaan Kolom	110
4.7.1	Kontrol Penampang	110
4.7.2	Akibat Portal Tak Bergoyang	112
4.7.3	Akibat Portal Bergoyang	120
4.8	Perencanaan Penghubung Geser	128
4.9	Perencanaan Sambungan	131
4.9.1	Sambungan antar Balok - Kolom	132
4.9.2	Sambungan antar Kolom	135
4.10	Pembahasan	139
4.10.1	Pembahasan Balok	140
4.10.2	Pembahasan Kolom	141
4.10.3	Pembahasan Penghubung Geser	142
4.10.4	Pembahasan Sambungan	142
BAB IV Penutup		
5.1	Kesimpulan	145
5.2	Saran	145

DAFTAR PUSTAKA	147
-----------------------------	------------

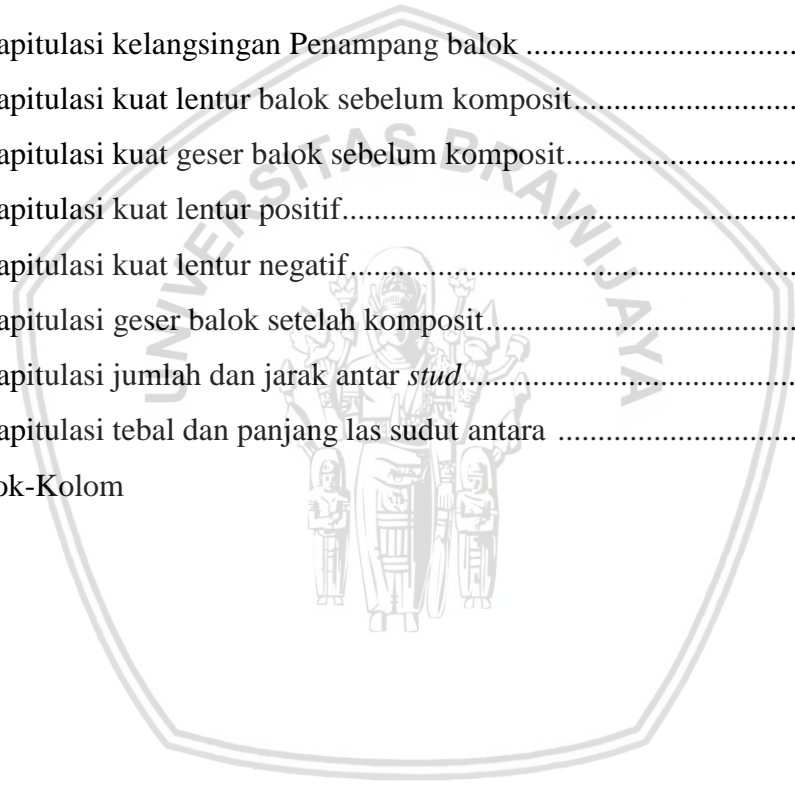
LAMPIRAN	149
-----------------------	------------

(Halaman dikosongkan)



DAFTAR TABEL

NO	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	9
Tabel 2.2	Faktor keutamaan gempa	12
Tabel 2.3	Klasifikasi Situs	15
Tabel 2.4	Koefisien Situs, F_a	15
Tabel 2.5	Koefisien Situs, F_v	16
Table 2.6	Ukuran minimum las sudut	34
Tabel 4.1	Rekapitulasi kelangsingan Penampang balok	89
Tabel 4.2	Rekapitulasi kuat lentur balok sebelum komposit	90
Tabel 4.3	Rekapitulasi kuat geser balok sebelum komposit	93
Tabel 4.4	Rekapitulasi kuat lentur positif	100
Tabel 4.5	Rekapitulasi kuat lentur negatif	106
Tabel 4.6	Rekapitulasi geser balok setelah komposit	108
Tabel 4.7	Rekapitulasi jumlah dan jarak antar <i>stud</i>	130
Tabel 4.8	Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut antara Balok-Kolom	135



(Halaman dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

NO	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Efek tipe struktur pada respon kantilever	5
Gambar 2.2	C_{RS} , koefisien resiko terpetakan, periode respons	13
	spektrum 0,2 detik	
Gambar 2.3	C_{R1} , koefisien resiko terpetakan, periode respons	13
	spektrum 1 detik	
Gambar 2.4	Spektrum respons desain	17
Gambar 2.5	Portal Statis Tak Tentu	21
Gambar 2.6	Lebar efektif balok komposit.....	23
Gambar 2.7	(a) Diagram regangan balok komposit, (b)Diagram.....	24
	tegangan balok dengan penampang transformasi	
Gambar 2.8	Kuat lentur nominal berdasarkan distribusi tegangan plastis	25
Gambar 2.9	Struktur Portal Statis Tak Tentu	29
Gambar 2.10	Profil Wide Flange.....	32
Gambar 2.11	Jenis-jenis penghubung geser	35
Gambar 3.1	Peta lokasi gedung	38
Gambar 3,2	Denah gedung lantai 1	40
Gambar 3.3	Denah gedung lantai 2	41
Gambar 3.4	Denah gedung lantai 3	41
Gambar 3.5	Denah gedung lantai 4-5	42
Gambar 3.6	Denah gedung lantai 6	42
Gambar 3.7	Denah gedung lantai 7 atau atap.....	43
Gambar 4.1	Denah balok gedung	45
Gambar 4.2	Denah kolom gedung.....	46
Gambar 4.3	Denah Pelat	47
Gambar 4.4	Pelat A	48
Gambar 4.5	Pelat B.....	51
Gambar 4.6	Pelat C.....	55
Gambar 4.7	Pelat D	58
Gambar 4.8	Pelat E.....	62
Gambar 4.9	Pelat F.....	66
Gambar 4.10	Pelat G	69



Gambar 4.11 Pelat H	72
Gambar 4.12 Pelat I.....	74
Gambar 4.13 Pelat J.....	78
Gambar 4.14 Peta Lokasi Gedung menurut puskim PU.....	83
Gambar 4.15 Respon spectral percepatan.....	83
Gambar 4.16 Respons spectrum desain.....	85
Gambar 4.17 Distribusi tegangan plastis lentur.....	92
balok induk sebelum komposit	
Gambar 4.18 Distribusi tegangan plastis lentur.....	93
balok anak sebelum komposit	
Gambar 4.19 Bentang balok yang mengalami lendutan.....	94
terbesar sebelum komposit	
Gambar 4.20 Momen ultimate maksimum positif pada profil	95
14' WF 14x12 terjadi pada frame 70	
Gambar 4.21 Distribusi tegangan plastis lentur positif	96
balok induk setelah komposit	
Gambar 4.22 Momen ultimate maksimum positif pada profil	98
10' WF 10x8 terjadi pada frame 842	
Gambar 4.23 Distribusi tegangan plastis lentur positif	99
balok anak setelah komposit	
Gambar 4.24 Momen ultimate maksimum negatif pada profil	101
14' WF 14x12 terjadi pada frame 71	
Gambar 4.25 Distribusi tegangan plastis lentur negatif	102
balok induk setelah komposit	
Gambar 4.26 Momen ultimate maksimum negatif pada profil	103
10' WF 10x8 terjadi pada frame 772	
Gambar 4.27 Distribusi tegangan plastis lentur negatif	105
balok anak setelah komposit	
Gambar 4.28 Bentang balok yang mengalami lendutan.....	109
terbesar setelah komposit	
Gambar 4.29 N_u maximum pada profil WF 400x400 terjadi pada frame 1	110
Gambar 4.30 Struktur portal yang ditinjau.....	111
Gambar 4.31 Nomogram faktor panjang tekuk, k	112
portal tak bergoyang	

Gambar 4.32 Momen ujung akibat portal tak bergoyang arah x 117

Gambar 4.33 Momen ujung akibat portal tak bergoyang arah y 118

Gambar 4.34 Nomogram faktor panjang tekuk, k 120

portal bergoyang

Gambar 4.35 Momen ujung akibat portal bergoyang arah x 124

Gambar 4.36 Momen ujung akibat portal bergoyang arah y 125

Gambar 4.37 Penghubung geser pada balok induk bentang 3,5m..... 131

Gambar 4.38 Sambungan baut antar kolom tampak flens (a),
tampak web (b), tampak 3-Dimensi (c)..... 139



(Halaman dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

NO	Judul	Halaman
	Lampiran 1 Denah Desain Gedung	149
	Lampiran 2 Pemodelan SAP200 v.19	153
	Lampiran 3 Hasil Perhitungan SAP2000 v19	161



(Halaman dikosongkan)



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan singkatannya	Simbol
Beban persatuan panjang	kilogram/meter atau kg/m	w
Berat	kilogram atau kg	W
Faktor keamanan	-	I
Faktor respon gempa	-	C
Faktor keamanan	-	I
Faktor panjang efektif	-	k_c
Faktor reduksi tahanan	-	ϕ
Gaya geser nominal	kilogram atau kg	V_n
Gaya geser perlu	kilogram atau kg	V_u
Gaya aksial tekan	kilogram atau kg	N
Gaya tarik baja	kilogram atau kg	T_s
Gaya tarik tulangan longitudinal	kilogram atau kg	T_{sr}
Gaya tekan baja	kilogram atau kg	C_s
Gaya tekan beton	kilogram atau kg	C_c
Jarak antar penghubung geser dan baut	milimeter atau mm	s
Jari-jari girasi	milimeter atau mm	r
Koefisien wilayah gempa	-	ζ
Kuat tekan beton	Mega Pascal atau MPa	f'_c
Lebar efektif	milimeter atau mm	b_E
Luas penampang baja	milimeter kuadrat atau mm^2	A_s
Luas penampang <i>stud connector</i>	milimeter kuadrat atau mm^2	A_c
Luas penampang tulangan longitudinal	milimeter kuadrat atau mm^2	A_r
Lebar profil	milimeter atau mm	b_f
Lendutan	milimeter atau mm	Δ
Modulus elastisitas	Mega Pascal atau MPa	E
Modulus geser baja	Mega Pascal atau MPa	G
Modulus penampang	milimeter kuadrat atau mm^2	S

Momen	kilogram meter atau kgm	M
Panjang bentang	meter atau m	L
Tahanan nominal	Kilogram atau kg	R_n
Tebal badan profil	milimeter atau mm	t_w
Tebal las	milimeter atau mm	a
Tebal pelat lantai	milimeter atau mm	t_s
Modulus geser baja	Mega Pascal atau MPa	G
Tegangan leleh baja	Kilogram atau kg	f_y
Tinggi profil	milimeter atau mm	d
Waktu getar alami	detik atau s	T



RINGKASAN

Besar Wira Dharma, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Perencanaan Struktur Komposit Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, Dosen Pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., dan Christin Remayanti N, ST., MT.,

Pembangunan gedung di Universitas Brawijaya saat ini sedang gencar dilakukan untuk menunjang sarana dan prasarana mahasiswa yang setiap tahun bertambah. Bangunan bertingkat tinggi dibangun karena adanya keterbatasan lahan. Namun, bangunan bertingkat tinggi harus mampu menahan beban vertikal dan gaya gempa yang ada. Berat sendiri bangunan sangat mempengaruhi besarnya gaya geser yang diakibatkan oleh gempa. Oleh karena itu, untuk memperkecil berat sendiri bangunan dicoba untuk merencanakan alternatif struktur yaitu struktur komposit.

Pada bagian struktur komposit ini, baloknya menggunakan elemen komposit baja-beton dimana profil baja yang digunakan pada balok induk adalah 14'WF 14x12 dan 10'WF 10x8 pada balok anak. Sedangkan pada kolom hanya menggunakan elemen baja dengan profil WF 400x400x13x21. Dimensi balok dan kolom yang digunakan telah dikontrol terlebih dahulu kuat lentur, kuat geser, dan lendutannya yang mengacu pada persyaratan dan peraturan yang ada. Agar terjadi aksi komposit antara baja dengan beton, maka digunakan penghubung geser. Sambungan untuk antara balok-kolom digunakan las, elektroda dengan $f_{uw} = 560$ Mpa dan sambungan antar kolom digunakan baut tipe A325 dengan $\varnothing = 19$ mm. Konsep perencanaan menggunakan metode LRFD. LRFD merupakan suatu metode perencanaan struktur baja yang mendasarkan perencanaannya dengan membandingkan kekuatan struktur yang telah diberi suatu factor resistensi (ϕ) terhadap kombinasi beban terfaktor yang direncanakan bekerja pada struktur tersebut ($\sum \gamma_i \cdot Q_i$). factor resistensi diperlukan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya kelebihan beban.

Kata kunci: struktur komposit, LRFD, bangunan tinggi

(Halaman dikosongkan)



SUMMARY

Besar Wira Dharma, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2018, Alternative Design of Composite Structure on Disaster Laboratory of Civil Engineering Brawijaya University, Supervised by Ir. M. Taufik Hidayat, MT and Christin Remayanti N, ST., MT.*

Construction of brawijaya university building is currently being intensively conducted to support the facilities and infrastructure of students that increases in each year. Multi-storey building generally built due to limited of land. However, the multi-storey buildings should be able to withstand the vertical loads and seismic loads. The selfweight of the building give so many affects on shear forces that caused by seismic loads. Therefore, to decrease the selfweight there is another way to planning that named composite structure.

In the part of this composite structures, a composite element of steel and concrete is using for the beam in which the main beam use 14' WF 14x12 and the other one use 10' WF 10x8, whereas on column use WF 400x400x13x21. The diimension of beams and columns has been controlled by the bending strength, shear strength, and deflections that refers to the terms dan regulations. To make sure an action between steel and concrete happen, so it uses the the shear connector. To connecting between beams and colums, it is used electorda weld with $f_{uw} = 560$ Mpa and bolts in the connection between columns by bolt type A325 $\emptyset = 19$ mm.

The design concepts use an LRFD method. LRFD is the method of planning steel structure based its planning by comparing the strength of the structure that has been given a resistance factor (ϕ) to the combination of planned loads working on the structure ($\Sigma y_i \cdot Q_i$). The resistance factor is needed to anticipate the possibility of overloading.

Keywords: *composite sturcture, LRFD, high-rise building*

(Halaman dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Universitas Brawijaya merupakan salah satu Perguruan Tinggi dengan jumlah mahasiswa terbanyak di Indonesia. Bahkan setiap tahun penerimaan Mahasiswa baru di Universitas Brawijaya semakin meningkat. Maka, untuk menunjang dan memfasilitasi kebutuhan perkuliahan Mahasiswa dibangun beberapa gedung baru, namun jumlah lahan yang tersedia sangat terbatas. Oleh karena itu, untuk mengatasi keterbatasan lahan dipilihlah bangunan bertingkat tinggi.

Bentuk bangunan tinggi yang telah direncanakan selain memperhitungkan fungsi dan kegunaannya juga harus memperhatikan beban ataupun gaya yang terjadi dan kestabilan bangunan tersebut. Semakin tinggi bangunan, maka pengaruh beban angin dan gempa akan semakin besar. Mengingat secara geografis Indonesia merupakan Negara yang dikelilingi oleh gugusan gunung berapi yang masih aktif dan juga tempat bertemunya lempeng Eurasia dan Australia. Hal inilah yang mengakibatkan Indonesia beresiko mengalami dua jenis gempa yaitu gempa vulkanik dan gempa tektonik.

Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya memiliki 7 lantai dengan total ketinggian 33 m yang dibangun dengan material struktur beton bertulang. Perencanaan struktur beton bertulang dilakukan karena memiliki keunggulan dalam pengerjaan dan perawatannya yang relatif mudah serta dalam pembuatan dan instalasinya tidak memerlukan tenaga ahli khusus. Disisi lain, kelemahan struktur beton bertulang memikul beban mati yang relatif besar. Beban mati yang terlampau besar sangat mempengaruhi efektifitas bangunan terutama pada saat bangunan menerima beban gempa. Semakin besar beban sendiri bangunan maka semakin besar beban gempa yang diterima. Diharapkan dari kelemahan bangunan beton bertulang, dapat direncanakan bangunan alternatif yang dapat menjadi pertimbangan dalam perencanaan gedung bertingkat lainnya.

repository.ub.ac.id

Oleh karena itu, diperlukan perencanaan lain pada gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, salah satunya dengan menggunakan struktur komposit. Hal ini dipilih karena struktur komposit memiliki beberapa keunggulan salah satunya yaitu, kekakuan lantai komposit lebih besar daripada lantai beton dengan balok-balok penyangga yang bekerja terpisah. Kekakuan yang bertambah ini dapat mengurangi defleksi akibat beban hidup dan akibat beban mati saat dilakukannya *shoring*, serta dapat menahan beban sekitar 33-50% lebih besar daripada beban yang dapat dipikul oleh balok baja saja tanpa adanya perilaku komposit. (Setiawan,2008: 280)

1.2 Identifikasi Masalah

Terdapat berbagai masalah yang muncul didalam perencanaan struktur bangunan tinggi yaitu besarnya beban vertikal dan beban gempa yang dipikul struktur tersebut. Struktur harus bekerja menjadi satu kesatuan struktur untuk dapat menahan beban-beban yang terjadi pada struktur tersebut. Beban gempa yang terjadi sangat dipengaruhi oleh berat sendiri bangunan. Semakin ringan berat sendiri bangunan maka gaya geser yang diakibatkan beban gempa yang diterima struktur bangunan akan semakin kecil.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perencanaan alternatif Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dengan struktur balok komposit dan kolom baja?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam desain alternatif Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, yaitu sebagai berikut.

1. Tidak meninjau metode ataupun sistem yang telah digunakan dalam perencanaan pembangunan Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
2. Bangunan gedung yang dianalisis hanya bangunan atas saja, yaitu pada balok dan kolom, sehingga perencanaan gedung tidak diikuti dengan perencanaan lift, tangga dan pondasi

3. Balok menggunakan bahan komposit baja dengan pelat beton dan kolom menggunakan bahan baja
4. Sambungan pada analisis software di SAP2000 tidak diperhitungkan
5. Sambungan menggunakan jenis sambungan baut dan las
6. Keseluruhan pada kaki portal diasumsikan terjepit pada pondasi
7. Beban horizontal yang ditinjau yaitu beban gempa
8. Beban diasumsikan sentris terhadap struktur
9. Tidak memperhitungkan momen torsi
10. Perhitungan analisis struktur untuk mengetahui gaya-gaya dalam akibat beban menggunakan software analisis struktur SAP2000 v19
11. Terdapat penyederhanaan pada denah rencana balok kolom yang telah ada
12. Atap dimodelkan dengan pelat
13. Tidak membahas analisis ekonomi
14. Tidak memperhitungkan unsur arsitektur pada suatu bangunan.

1.5 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan yang ingin dicapai dari perhitungan struktur pembangunan Gedung Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh hasil perencanaan struktur balok komposit dan kolom baja pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

1.6 Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang ingin dicapai dalam penyusunan skripsi ini antara lain:

1. Bagi Akademisi
Untuk memberikan pemahaman terhadap perencanaan struktur komposit baja-beton tahan gempa pada gedung.
2. Bagi teknisi maupun praktisi
Untuk dapat dijadikan referensi bagi teknisi dan praktisi dalam membangun gedung dengan model struktur komposit..

(Halaman dikosongkan)



BAB II

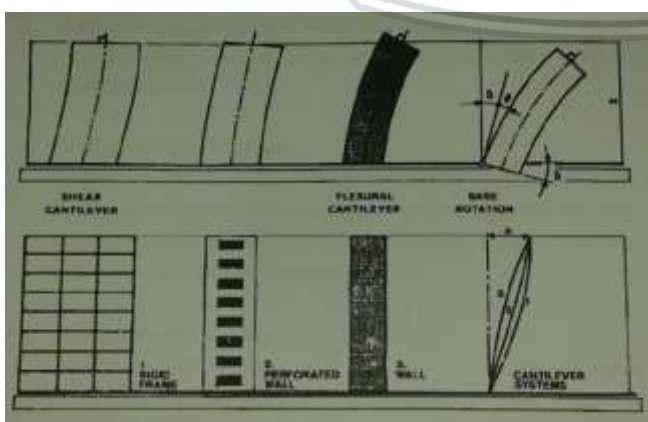
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tinggi

Bangunan gedung merupakan wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus (UU No. 28 tahun 2002 tentang bangunan gedung). Sedangkan, untuk penggolongan tinggi rendahnya bangunan menurut Mulyono (2000), diklasifikasikan menjadi :

1. Gedung bertingkat rendah (*Low Rise Building*) Bangunan bertingkat rendah, memiliki jumlah lantai 1-3 lantai, dengan total ketinggian < 10 m
2. Gedung bertingkat sedang (*Medium Rise Building*) Bangunan bertingkat sedang, memiliki jumlah lantai 3-6 lantai, dengan total ketinggian < 20 m
3. Gedung bertingkat tinggi (*High Rise Building*) Bangunan bertingkat tinggi, memiliki jumlah lantai > 6 lantai, dengan total ketinggian > 20 m

Pada perancangan bangunan tinggi, aspek yang penting untuk ditinjau adalah aspek struktur. Kekuatan dan kekakuan yang baik pada struktur bangunan ditinjau dari perhitungan beban gravitasi yang terdiri dari beban mati dan beban hidup. Selain itu, perhitungan yang harus ditinjau adalah gaya lateral yang ada. Gaya-gaya lateral yang bekerja disebabkan karena angin maupun gempa bumi.



Gambar 2.1 Efek tipe struktur pada respon kantilever

Pada Gambar 2.1, bangunan tinggi merespon beban lateral sebagai *flexural cantilever* yang mana struktur terdiri dari portal dengan dinding geser atau pengaku. Umumnya sistem ini dikontrol melalui rotasi karena telah mempunyai kekakuan terhadap geser yang tinggi yang disediakan oleh dinding masif atau gaya aksial batang diagonal sehingga perpindahan akibat geser dapat diabaikan. Di lain pihak, bangunan tinggi dapat bertindak sebagai *shear cantilever* ketika strukturnya merupakan portal kaku dengan gaya geser ditahan oleh girder dan kolom. Dalam hal ini, efek rotasi misalnya perpendekan aksial dan perpanjangan kolom dapat diabaikan pada perencanaan awal. Kombinasi kedua sistem tersebut, yaitu portal kaku dengan batang diagonal dapat menghasilkan defleksi berbentuk kurva S dengan tipe struktur portal kaku (*shear cantilever*) berada di atas struktur *flexural cantilever*. Sistem tersebut berlaku pada bangunan tinggi yang mana dinding geser atau pengaku cukup langsing. (Schueller, 1991)

2.2 Bangunan Tahan Gempa

Indonesia merupakan negara yang terletak pada daerah yang rawan terhadap ancaman gempa bumi. Pembangunan bangunan bertingkat tinggi yang terus meningkat karena peningkatan jumlah penduduk juga memperbesar ancaman dan bahaya yang akan ditimbulkan karena gempa bumi. Oleh karena itu, dibangunlah bangunan tahan gempa.

Pada prinsipnya, bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang dapat bertahan dari keruntuhan yang terjadi akibat getaran gempa, serta memiliki fleksibilitas yang dapat meredam getaran yang terjadi. Adapun, menurut Tular (1984), pada dasarnya bangunan tahan gempa mengacu pada tiga filosofi. Pertama, apabila bangunan gedung mengalami gempa ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan struktural dan non-struktural. Kedua, apabila bangunan gedung menalami gempa sedang, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan non-struktural dan komponen strukturalnya tidak boleh mengalami kerusakan. Ketiga, apabila bangunan gedung mengalami gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan struktural dan non-struktural namun tidak boleh ada korban jiwa maupun korban yang cedera. Dalam hal ini, bangunan masih memiliki waktu bagi penghuni bangunan untuk menyelamatkan diri.

2.3 Struktur Komposit

2.3.1 Umum

Struktur komposit merupakan suatu struktur yang terdiri dari dua atau lebih elemen struktur dengan bahan material yang berbeda dan bekerja untuk membentuk suatu kesatuan, dimana masing-masing bahan/ material tersebut mempunyai kekuatan sendiri-sendiri.

Komponen pada struktur komposit dapat berupa profil tunggal (*rolled*) atau profil susun (*builtup*) baik yang diisi dengan beton (*infilled concrete*), dibalut dengan beton bertulang (*encased by reinforced concrete*) maupun dihubungkan dengan pelat beton bertulang dengan *shear connector*.

Sistem struktur komposit terbentuk dengan adanya interaksi antara komponen-komponen struktur baja dan beton yang masing-masing karakteristik dasar materialnya dimanfaatkan secara optimal (Sumber: Gunnar, 2010)

Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja:

1. Kekuatan tarik yang tinggi
2. Modulus elastisitas yang tinggi
3. Daktilitas yang tinggi

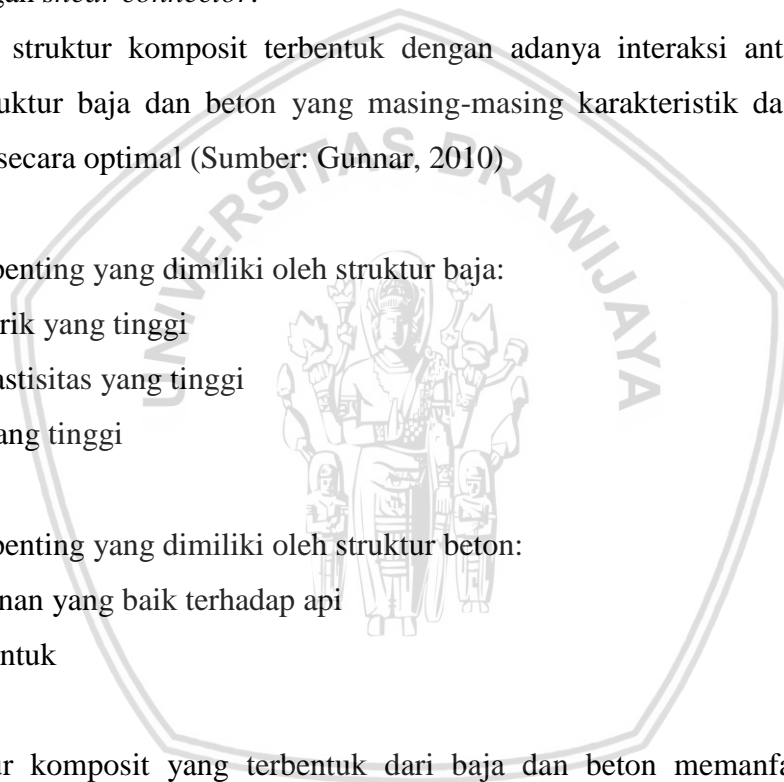
Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton:

1. Sifat ketahanan yang baik terhadap api
2. Mudah dibentuk
3. Murah

Struktur komposit yang terbentuk dari baja dan beton memanfaatkan perilaku interaktif yang terjadi antara baja dan beton, serta memobilisasikan kemampuan optimal dari masing-masing bahan dalam memikul beban.

Pada penggunaan struktur konstruksi komposit dapat diperoleh beberapa keuntungan sebagai berikut: (Setiawan, 2008)

- a. Memiliki momen inersia yang lebih besar daripada struktur non-komposit sehingga lendutan lebih kecil.
- b. Tinggi profil baja yang dipakai dapat dikurangi.
- c. Penghematan material baja.
- d. Dapat menambah panjang bentang layan.



2.3.2 Aksi komposit

Aksi komposit terjadi apabila dua batang struktural pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyangga yang disambung secara integral dan melendut padaa satu kesatuan. (Salmon, dkk, 1991)

Reduksi berat sekitar 20%-30% dapat diperoleh dengan memanfaatkan perilaku sistem komposit penuh. Dengan adanya reduksi berat ini maka secara langsung juga dapat mengurangi tinggi profil baja yang dipakai. Berkurangnya tingi profil baja yang dipakai akan mengakibatkan berkurangnya tinggi bangunan secara keseluruhan, dan membawa dampak pula berupa penghematan material bangunan, terutama untuk dinding luar dan tangga. (Setiawan,2008: 282)

2.4 Kriteria Perencanaan

2.4.1 Kombinasi beban berfaktor

Sebelum dilakukan kombinasi pembebanan, beban mati dan beban hidup pada pelat akan ditransfer menuju balok sebagai beban segitiga dan trapesium. Beban segitiga dan trapesium tersebut harus diekuivalenkan sebagai beban merata. Perhitungan beban merata ekuivalen adalah sebagai berikut : (Budiadi, 2008)

1. Beban Segitiga $q_{ek} = 1/3 \cdot q \cdot l_x$ (2.1.a)

2. Beban Trapesium $q_{ek} = 1/2 \cdot q (l_x/l_y^2) \cdot (l_y^2 - 1/3 \cdot l_x^2)$ (2.1.b)

Berdasarkan SNI 2847-2013, telah ditentukan perhitungan untuk mencari beban ultimit dengan menghitung beban-beban terfaktor dengan kombinasi sebagai berikut :

1. 1,4 D(2.2.a)

2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r atau R)(2.2.b)

3. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5W)(2.2.c)

4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r atau R)(2.2.d)

5. 1,2 D + 1,0 E + L.....(2.2.e)

6. 0,9 D + 1,0 W(2.2.f)

7. 0,9 D + 1,0 E(2.2.g)

Keterangan :

q_{ek} = beban ekuivalen

q = beban merata

l_x = panjang bentang pada arah x

l_y = panjang bentang pada arah y

D = beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

- L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
 Lr = beban hidup yang diakibatkan oleh pembebanan atap
 R = beban hujan
 W = beban angin
 E = beban gempa

2.4.2 Analisis beban gempa SNI 1726-2012

2.4.2.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan

Pada SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2, telah dijelaskan bahwa bangunan gedung dan Non gedung menurut fungsinya diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2.1
 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:	I
- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan	
- Fasilitas sementara	
- Gudang penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	II
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	III
- Pusat perbelanjaan/ mall	
- Bangunan industry	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	
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 unit gawat darurat	
- Fasilitas penitipan anak	
- Penjara	
- Bangunan untuk orang jompo	
Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	
- Pusat pembangkit listrik biasa	
- Fasilitas penanganan air	
- Fasilitas penanganan limbah	
- Pusat telekomunikasi	
Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko	

<p>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>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental 	
<ul style="list-style-type: none"> - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan 	
<ul style="list-style-type: none"> - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat 	
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat 	
<ul style="list-style-type: none"> - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat 	
<p>perlindungan darurat lainnya</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat 	<p>IV</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat 	
<ul style="list-style-type: none"> - 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 	

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	
--	--

Tabel 2.2
Faktor Keutamaan Gempa

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

2.4.2.2 Wilayah Gempa

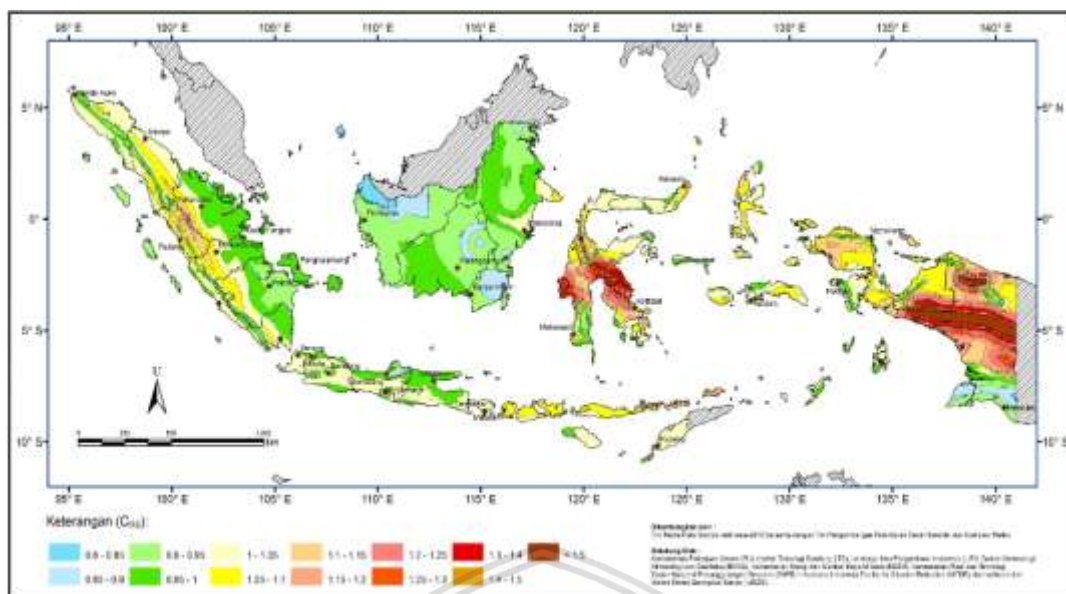
Menurut (SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1), parameter percepatan gempa ditentukan oleh dua parameter, yaitu parameter percepatan terpetakan dan kelas situs.

- a. Parameter percepatan terpetakan

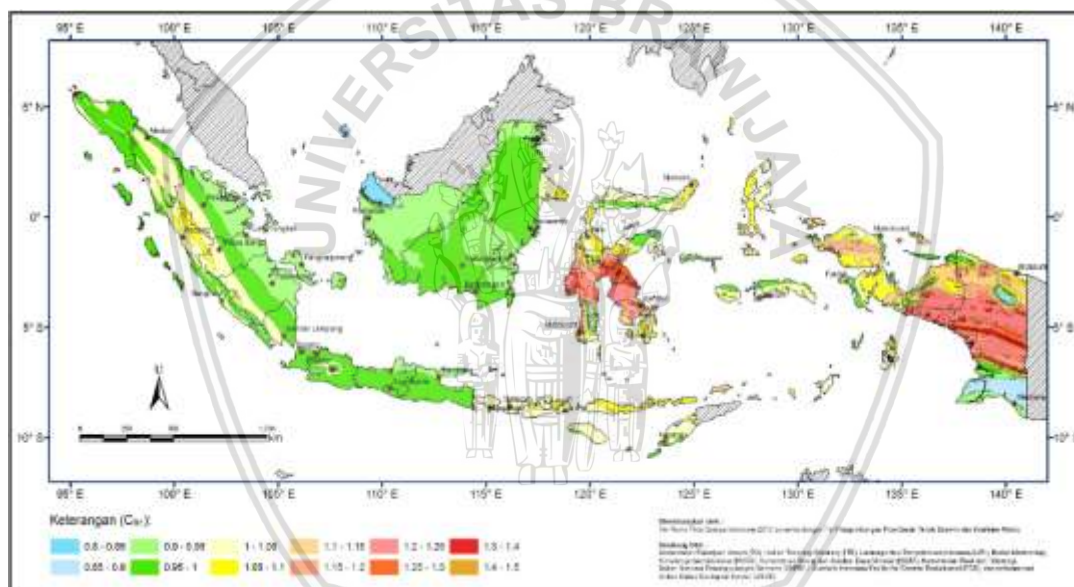
Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 14 dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCE_R , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04 g$ dan $S_s \leq 0,15 g$, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A. (SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1),

- b. Kelas situs

Berdasarkan sifat-sifa tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs SA, SB, SC, SD,SE, atau SF. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas tidak bisa ditentukan kelas situsnya, maka kelasa situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF. (SNI 1726-2012 Pasal 6.1.1),



Gambar 2.2 C_{RS} , koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik



Gambar 2.3 C_{R1} , koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 1 detik

2.4.2.3 Sistem struktur

Pada perencanaan bangunan bertingkat dituntut untuk menciptakan struktur bangunan yang daktail. Kondisi daktail merupakan kondisi dimana bangunan dapat menahan respon inelastik yang diakibatkan oleh beban lateral dari gempa. Di Indonesia terbagi menjadi 3 (tiga) macam sistem struktur yang digunakan, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).

- a. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)
SRPMB pada struktur bangunan diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur sambungannya akibat gaya gempa rencana. SRPMB diterapkan pada wilayah gempa 1 dan 2.
- b. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)
Sistem Struktur bangunan ini diharapkan dapat menahan resiko kegempaan sedang yaitu, wilayah gempa 3 dan 4. Sistem SRPMM ini yang akan digunakan pada Skripsi ini.
- c. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
SRPMK pada struktur bangunan diharapkan dapat mengalami deformasi besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. SRPMK diterapkan pada wilayah gempa 5 dan 6.

2.4.2.4 Respons Spektrum Percepatan Gempa Maksimum

Penentuan respons spektrum percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismic periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (2.3.a)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (2.3.b)$$

Keterangan

S_s : parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan periode pendek

S_1 : parameter respons spektrum percepatan gempa MCE_R terpetakan periode 1,0 detik

Tabel 2.3
Klasifikasi Situs

Kelas situs	\bar{v}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{th}	\bar{s}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

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

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber; SNI 1726-2012 Pasal 5.3

Tabel 2.4
Koefisien Situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

CATATAN:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber; SNI 1726-2012 Pasal 6.2

Tabel 2.5
Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada perioda pendek, $T=1,0$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1	1	1	1	1
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF	SS ^b				

CATATAN :

(a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier

(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber; SNI 1726-2012 Pasal 6.2

2.4.2.5 Parameter Percepatan Spektrum Desain

Parameter percepatan spektrum desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan sebagai berikut:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \quad (2.4.a)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \quad (2.4.b)$$

(SNI 1726-2012 Pasal 6.3)

2.4.2.6 Spektrum Respons Desain

Penggambaran respons spektrum pada masing-masing wilayah gempa dan jenis tanah adalah sebagai berikut:

- a) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.5.a)$$

- b) Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}

- c) Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.5.b)$$

Keterangan:

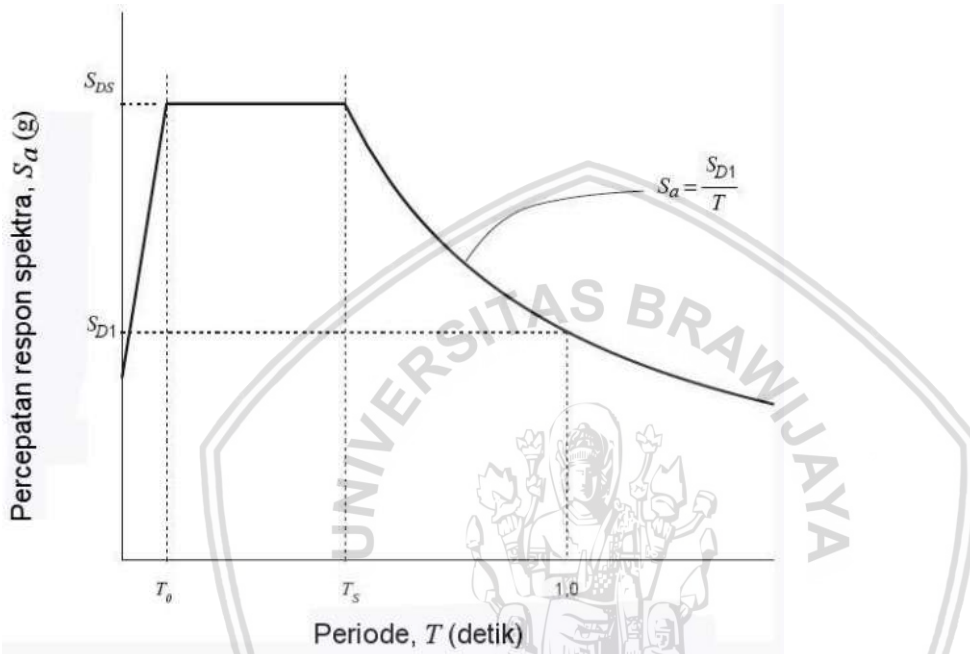
S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain periode pendek

S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5.c)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.5.d)$$



Gambar 2.4 Spektrum respons desain

Sumber; SNI 1726-2012 Pasal 6.4

2.4.2.7 Parameter Periode Fundamental Pendekatan

Berdasarkan (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2.1), untuk alternatif menentukan perioda fundamental pendekatan, T_a , dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat di mana sistem penahan gaya gempa untuk Sistem Rangka Pemikul Momen secara keseluruhan dan tinggi tingkat paling sedikit 3 m:

$$T_a = 0,1N \quad (2.6)$$

Keterangan :

N = Jumlah tingkat

2.4.2.8 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1), geser dasar seismic (V) pada arah yang ditetapkan ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W_{tot} \quad (2.7.a)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respon seismik

W_{tot} = berat seismik efektif gedung

Berdasarkan (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1.1), perhitungan koefisien respons seismik (C_s) telah ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.7.b)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Ketentuan:

a) Nilai C_s , yang dihitung tidak perlu melebihi hasil persamaan berikut:

$$C_{s \text{ (maks)}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.7.c)$$

b) Dan juga besarnya nilai C_s yang dihitung tidak kurang dari hasil persamaan berikut:

$$C_{s \text{ (min)}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (2.7.d)$$

2.4.2.9 Distribusi Gaya Gempa

Gaya gempa yang akan direncanakan pada elemen struktur dibagi menjadi:

a. Gaya gempa lateral (F_x), gaya yang akan timbul pada semua tingkat, yang harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_i = C_{vx} V = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (2.8.a)$$

b. Gempa horizontal (V_x), geser tingkat desain gempa di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.8.b)$$

Keterangan:

F_i = bagian dari geser dasar seismik (V) yang timbul di tingkat i (kg)

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kg)

w_i = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i

h_i = tinggi dari dasar sampai tingkat i (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut:

- Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, $k = 1$
- Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau lebih, $k = 2$

Untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

2.4.2.10 Konfigurasi Struktur Gedung

Dijelaskan menurut SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2, struktur gedung dibedakan menjadi 2 (dua) golongan, yaitu struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan.

Analisis gedung beraturan disarankan untuk menggunakan analisis statik ekuivalen. Sedangkan gedung tidak beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik yang analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respon dinamis.

2.5 Konsep Perencanaan

Pada konsep perencanaan, terdapat 2 (dua) metode perencanaan struktur beton, yaitu metode beban kerja (*working stress method*) dan metode beban batas (*limit states method*). Metode-metode ini telah dimuat pada peraturan beton SNI T15-1991-03, SNI 03-2874-2002 maupun edisi barunya yaitu SNI 03-2874-2012.

Metode beban kerja dilakukan dengan menghitung tegangan yang terjadi dan membandingkan dengan tegangan ijin yang ada. Jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan maka dinyatakan aman. Dalam menghitung tegangan, semua beban tidak dikalikan dengan faktor beban. Tegangan ijin yang digunakan dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*overstress faktor*). Sedangkan untuk metode beban batas didasarkan pada batas-batas tertentu yang bisa dilampaui oleh suatu sistem struktur. Batas-batas tersebut adalah kekuatan, kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap api, ketahanan terhadap beban kelelahan dan persyaratan khusus yang

berhubungan dengan penggunaan sistem struktur. Setiap batas dinyatakan aman apabila aksi rencana lebih kecil dari kapasitas komponen struktur. Aksi rencana dihitung dengan menggunakan faktor beban, sedangkan kapasitas bahan dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

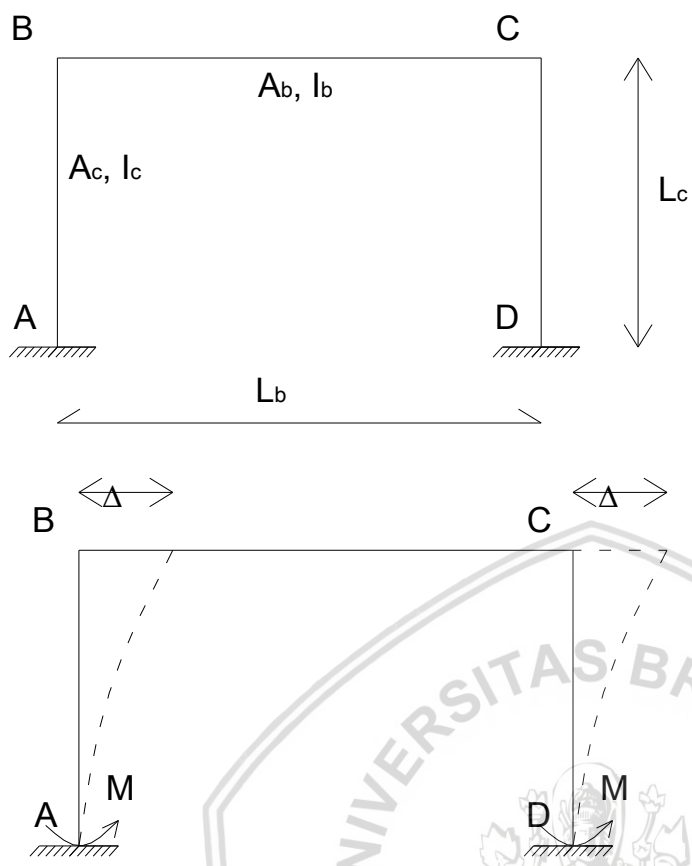
2.6 Metode Analisis dan Desain

2.6.1 Analisis struktur

Analisis struktur merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan respon suatu struktur akibat pembebanan untuk memenuhi persyaratan pada faktor keamanan (*safety*), biaya (*cost*), maupun estetika (*aesthetics*). Respon struktur ini biasanya diukur dengan perhitungan reaksi-reaksi, gaya-gaya dalam batang, dan perpindahan posisi.

Struktur biasanya diklasifikasikan dalam 2 (dua) kategori yaitu statis tertentu dan statis tak tentu. Pada dasarnya, struktur tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Struktur statis tak tentu memiliki beberapa keunggulan dibanding struktur statis tertentu, antara lain : gaya dalam pada struktur statis tak tentu secara umum lebih rendah dibandingkan gaya dalam pada struktur statis tertentu, momen lentur lebih kecil sehingga defleksinya berkurang dan penampang juga menjadi lebih kecil, serta Perbedaan yang signifikan ada struktur statis tertentu dan statis tak tentu adalah adanya aksi tahanan yang berkembang pada struktur statis tak tentu akibat adanya perubahan bentuk yang ada padanya. Reaksi yang dihasilkan oleh tumpuan akibat aksi prategang disebut reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menghasilkan momen dan geser sekunder.

Portal Statis Tak Tentu, pada rangka statis tak tentu terjadi hal yang sama dengan balok statis tak tentu. Untuk mendapatkan pengaruh sekunder dari prategang dapat digunakan metode beban ekuivalen.



Gambar 2.5 Portal Statis Tak Tentu

Pada portal tunggal seperti pada gambar, bagian atas portal pindah secara horizontal sebesar $\Delta = \frac{P.L_b}{2 E_c A_b}$. Momen jepit pada kolom akibat perpindahan Δ adalah $M = \frac{6 E_c I_c}{L^2_c} \Delta$. Tidak seperti pada balok statis tak tentu, perpendekan aksial pada balok dapat ditahan oleh kekakuan kolom pendukungnya sehingga berkurang secara signifikan. Dengan demikian kekakuan kolom sangat menentukan perpendekan aksial dari balok pada portal. Perpendekan aksial juga bisa disebabkan oleh susut dan rangkak. Apabila kolom mengalami perpendekan aksial pada baloknya, maka analisis tambahan harus dilakukan. Perpendekan aksial atau hal-hal lain yang mempengaruhi portal, seperti susut, rangkak, pengaruh $P-\delta$ dan lain-lain, diperhitungkan sebagai pengaruh tersier. Pengaruh tersier bisa ditambahkan pada pengaruh sekunder dan primer untuk memperoleh pengaruh total struktur portal. (Budiadi, 2008)

Pada portal yang berada pada suatu sistem struktur yang terdiri dari portal berbagai arah, pengaruh prategang pada umumnya sangat kecil sehingga bisa diabaikan. Tetapi untuk portal dua dimensi, perpendekan aksial sangat mempengaruhi momen primer maupun sekunder sehingga pengaruh perpendekan tersebut diakomodasi dalam desain.

repository.ub.ac.id

Dalam perencanaan portal beton prategang, pengaruh utama seperti beban hidup, beban mati, dan beban lateral (angin, gempa) ditentukan terlebih dahulu, kemudian pengaruh sekunder dan tersier ditentukan. Penjumlahan dari pengaruh-pengaruh tersebut digunakan untuk pendimensian ulang komponen portal. Prosedur perencanaan portal beton prategang melibatkan perhitungan momen primer, sekunder dan tersier; serta melakukan analisis lentur, geser, puntir, dan lain-lain. (Budiadi, 2008)

2.6.2 Analisis portal tiga dimensi

Struktur bangunan terbentuk dari elemen-elemen batang lurus yang prismatic dan dirangkai dalam ruang tiga dimensi, dengan asumsi ujung-ujung batang kaku sempurna. Namun, dapat dipindah tempat dan berputar dalam ruang tiga dimensi. Beban luar pada titik-titik buhul maupun pada titik-titik di sepanjang batang dengan arah sembarang. Posisi tumpuan yang berupa jepit atau sendi, harus berada pada titik-titik buhul. Mengingat sambungan antar ujung-ujung batang adalah kaku sempurna yang dapat menjamin stabilitas elemen, maka sistem portal tiga dimensi ini meskipun lazim mendekati bentuk-bentuk segiempat, namun, pada prinsipnya diperbolehkan berbentuk sembarang. Elemen-elemen pembentuk portal tiga dimensi (*space frame sistem*) tersebut akan mengalami gaya-gaya dalam (*internal forces*) berupa: momen lentur (*bending moment*) dalam dua sumbu putar, momen torsi (*torsional moment*), gaya geser dalam dua arah, serta gaya aksial. Berbagai contoh struktur di lapangan yang dapat diidealisasikan menjadi sistem portal tiga dimensi antara lain adalah struktur portal gedung bertingkat banyak, struktur bangunan industri/pabrik, struktur jembatan berbentuk panjang, struktur dermaga, dan sejenisnya, yang ditinjau secara tiga dimensi. (Nasution, 2000)

Portal ruang mempunyai enam komponen reaksi disetiap tumpuan. Tiga komponen x , y , z serta tiga kopel M_x , M_y , dan M_z . Pada titik kumpul kaku mempunyai tiga persamaan gaya dan tiga persamaan momen, resultan tegangan disetiap batang bisa enam dari 12 gaya diketahui sehingga setiap batang memberi enam gaya yang tak diketahui. (Nasution, 2000)

2.7 Analisis Penampang Komponen Komposit

2.7.1 Lebar efektif balok komposit

Lebar lantai beton yang diperhitungkan dalam perencanaan balok komposit adalah lebar lantai beton yang dapat bekerjasama dengan baja atau disebut juga dengan lebar efektif. Konsep lebar efektif berguna dalam proses desain pada komponen struktur

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

komposit, terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tregangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif dari komponen struktur komposes dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut: (Setiawan, 2008: 284)

a. Untuk balok-balok interior:

a. $b_E = L/4$ (2.9.a)

b. $b_E = b_0$ (2.9.b)

b. Untuk balok-balok eksterior:

a. $b_E = L/8 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$ (2.9.c)

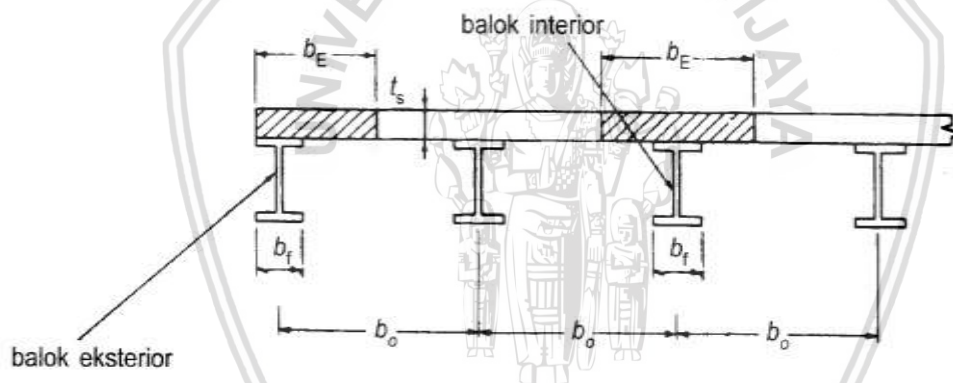
b. $b_E = 0,5 b_0 + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat})$ (2.9.d)

Keterangan:

L = panjang bentang balok pusat ke pusat tumpuan

b_0 = jarak antar as balok ke baja

Lebar efektif yang dipakai dipilih yang terkecil.



Gambar 2.6 Lebar efektif balok komposit

Sumber; Setiawan (2008:284)

2.7.2 Tegangan Elastis Balok Komposit

Kuat rencana balok komposit didasarkan pada kondisi saat terjadi keruntuhan, namun perilaku balok komposit pada saat beban layan merupakan salah satu hal penting yang harus diperhatikan. Lendutan harus dikontrol pada saat beban layan, dan dalam beberapa kasus kuat rencana bisa ditentukan oleh syarat kemampuan.

Umumnya penampang beton ditransformasikan menjadi baja, namun mempunyai efek sama dengan beton. *Gambar 2.8* menunjukkan sebuah segmen dari balok komposit dengan diagram tegangan dan regangannya. Jika pelat beton dihubungkan secara kaku terhadap profil baja, maka Diagram regangan akan mempunyai bentuk seperti gambar

tersebut. Hal ini sesuai dengan teori lendutan kecil, yang menyatakan bahwa penampang melintang akan tetap datar sebelum atau sesudah terjadi lentur. Namun distribusi tegangan linier seperti dalam gambar hanya tepat untuk balok homogen. Hubungan antara tegangan dan regangan baja dan beton dapat dinyatakan sebagai berikut

:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \quad \text{atau} \quad \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \quad (2.10.a)$$

$$\text{atau} \quad f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad (2.10.b)$$

$$f_{st} = \frac{M \cdot y_t}{I_{tr}} \quad (2.10.c)$$

$$f_{sb} = \frac{M \cdot y_b}{I_{tr}} \quad (2.10.d)$$

Keterangan :

E_c = modulus elastisitas beton

$n = \frac{E_s}{E_c}$ = rasio modulus

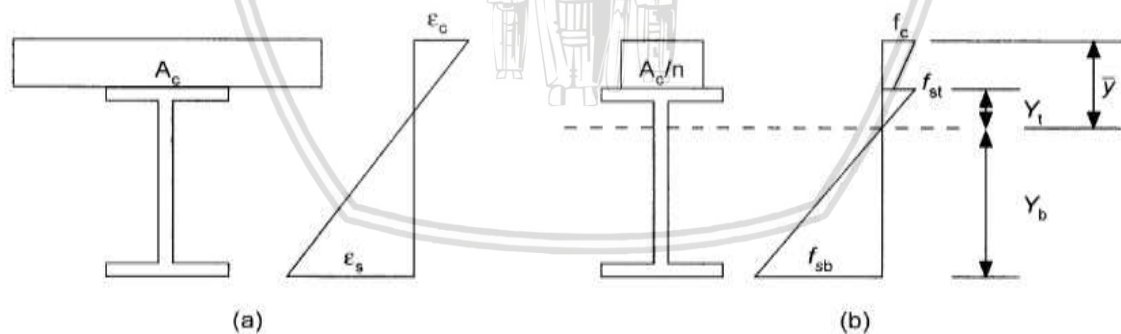
M = momen lentur yang harus dipikul

I_{tr} = momen inersia terhadap sumbu netral

y_t = jarak dari sumbu netral ke serat atas profil baja

y_b = jarak dari sumbu netral ke serat bawah profil baja

(Setiawan, 2008: 283)



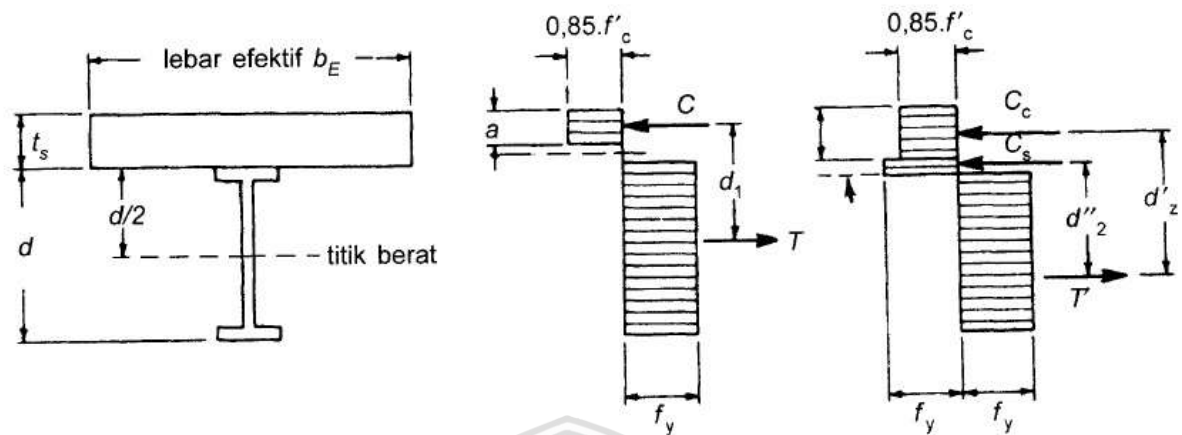
Gambar 2.7 (a) Diagram Regangan Balok Komposit, (b) Diagram Tegangan pada Balok Komposit dengan Penampang Transformasi

Sumber; Setiawan (2008: 283)

2.7.3 Kuat Lentur Nominal Balok Komposit

Pada balok komposit, kuat lentur di daerah momen positif dikontrol dari kekuatan plastis penampang atau kekuatan pelat beton maupun dari kekuatan penghubung geser. Jika badan dari penampang baja sangat langsing dan badan menerima tekan dengan porsi

besar dapat terjadi tekuk pada badan yang menyebabkan ada batasan terhadap kekuatan nominal balok. (Setiawan,2008)



Gambar 2.8 Kuat Lentur Nominal Berdasarkan Distribusi tegangan plastis

Sumber; Setiawan (2008:293)

a. Kuat lentur positif

Kuat lentur nominal komposit pada kondisi momen positif, kondisi penampang beton adalah tekan. Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit menurut SNI 03-1729-2002 pasal 12.4.2.1 ditentukan sebagai berikut: (Setiawan, 2008: 292)

a) Untuk $h/t_w \leq 1680/\sqrt{f_y}$ (2.11.a)

M_n kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit

$\Phi = 0,85$

b) Untuk $h/t_w > 1680/\sqrt{f_y}$ (2.11.b)

M_n kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan superposisi tegangan–tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah)

$\Phi = 0,9$

Kuat lentur nominal yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis, dapat dikategorikan menjadi dua kasus sebagai berikut: (Setiawan, 2008)

1. Sumbu netral plastis jatuh pada pelat beton

Dengan mengacu pada *Gambar 2.8*, maka besar gaya tekan C adalah:

$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_E$ (2.11.c)

Gaya tarik T pada profil baja adalah sebesar:

$T = A_s \cdot f_y$ (2.11.d)

Untuk menentukan kapasitas momen nominal, harus dicapai keseimbangan gaya, yaitu bila kondisi distribusi tegangan plastis memenuhi $C = T$, maka diperoleh:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_E} \quad (2.11.e)$$

Kuat lentur nominal dapat dihitung dari *Gambar 2.9*:

$$M_n = C \cdot d_1 \quad (2.11.f)$$

$$\text{atau} = T \cdot d_1 = A_s \cdot f_y \cdot (d/2 + t_s - a/2) \quad (2.11.g)$$

Jika dari hasil perhitungan ternyata $a > t_s$, maka asumsi harus diubah. Hasil ini menyatakan bahwa pelat beton tidak cukup kuat untuk mengimbangi gaya tarik yang timbul pada profil baja.

2. Sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

Apabila dalam blok tegangan beton, a ternyata melebihi tebal pelat beton, maka distribusi tegangan dapat ditunjukkan seperti pada *Gambar 2.8* gaya tekan C_c yang bekerja pada beton adalah sebesar: (Setiawan, 2008: 293)

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_E \quad (2.11.h)$$

Dari keseimbangan gaya, diperoleh hubungan.

$$T' = C_c + C_s \quad (2.11.i)$$

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$, yaitu:

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s \quad (2.11.j)$$

Dari 2 persamaan di atas, maka diperoleh:

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2} \quad (2.10.k)$$

Atau dengan mensubsitusikan persamaan pertama, diperoleh bentuk:

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - 0,85 \cdot f_c' \cdot b_E \cdot t_s}{2} \quad (2.11.l)$$

Kuat lentur nominal diperoleh dengan memperhatikan *Gambar 2.9*:

$$M_n = C_c \cdot d_2' + d_2'' \quad (2.11.m)$$

Keterangan:

C = gaya tekan total

T = gaya Tarik total

A_s = luas penampang profil baja

f_c' = mutu beton

f_y = tegangan leleh baja

b. Kuat lentur negatif

Desain kuat lentur negatif berlaku apabila baja atau penampang komposit yang digunakan sederhana. Untuk penampang komposit, beton dengan gaya tarik diabaikan, namun memperhitungkan gaya Tarik dari baja tulangan pada pelat beton. Persamaan keseimbangan berlaku dengan ketentuan sebagai berikut: (Setiawan, 2008)

1. Balok baja berupa penampang kompak harus diberi pengaku.
2. Penghubung geser dipasang pada daerah momen negatif luas penampang balok.
3. Batang tulangan longitudinal pada daerah lebar efektif pelat, harus dijangkar dengan baik.

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan:

$$T_{sr} \text{ (Tarik-tulangan)} + T_s \text{ (Tarik-profil baja)} = C_s \text{ (tekan-profil baja)}$$

Nilai T_{sr} diambil sebagai nilai terkecil dari:

a) $A_r \cdot f_{yr}$ (2.11.n)

b) $\sum Q_n$ (2.11.o)

Gaya tekan nominal maksimum dalam penampang balok baja

$$C_{max} = A_s \cdot f_y \quad (2.11.p)$$

Dari persamaan kesetimbangan:

$$C_s = T_{sr} + T_s \quad (2.11.q)$$

$$C_s = C_{max} - T_s \quad (2.11.r)$$

Maka diperoleh:

$$T_s = \frac{C_{max} - T_{sr}}{2} \quad (2.11.s)$$

Dimana, $T_{sr} = A_{sr} \cdot f_y$ (2.11.t)

Letak garis netral penampang ditentukan dengan asumsi bila nilai C_{max} lebih besar dari T_{sr} , maka garis netral penampang terletak di dalam baja. Diasumsikan PNA berada di flens atas penampang baja, maka dapat ditentukan: (Setiawan, 2008)

Jarak serat atas pelat sayap ke garis netral penampang

$$y_3 = \frac{T_s}{A_s \cdot f_y} \quad (2.11.u)$$

$$y = \frac{A_s \left(\frac{d}{2}\right) - b_f \cdot y_3 \left(d - \frac{y_3}{2}\right)}{A_s - (b_f \cdot y_3)} \quad (2.11.v)$$

Kuat lentur nominal negatif ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\Phi_b M_n = M_{n1} + M_{n2} \quad (2.11.w)$$

Yang mana

$$M_{n1} = T_{sr} \cdot d_3' = A_{sr} \cdot f_{yr} (d - y + T_s - (T_s/2)) \quad (2.11.x)$$

$$M_{n2} = T_{sr} \cdot d_3' = y_3 = \frac{A_s \cdot f_y \cdot A_{sr} \cdot f_{yr}}{A_s \cdot f_y} \left(d - y - \left(\frac{y_3}{2} \right) \right) \quad (2.11.y)$$

2.7.4 Kuat geser nominal balok komposit

Kuat geser rencana balok komposit ditentukan berdasarkan kuat geser pelat badan penampang baja. Gaya geser yang terjadi pada balok komposit harus memenuhi persamaan dibawah ini: (Smith,1996)

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (2.12.a)$$

$$0,9 V_n \geq 0,6 \cdot f_y \cdot A_w, \quad (2.12.b)$$

Dimana, A_w = luas kotor pelat badan

2.7.5 Analisa penampang komposit

Terdapat dua cara analisis yang dapat digunakan untuk mencari tegangan pada struktur komposit yaitu:

- a. Rumus lentur untuk balok komposit

Menurut Timoshenko untuk menghitung tegangan normal di balok komposit diperoleh dengan memasukkan rumus untuk kelengkungan ke dalam rumus σ_{x1} dan σ_{x2} , jadi. (Gare & Timoshenko, 1972)

$$\sigma_{x1} = - \frac{MyE_1}{E_1I_1 + E_2I_2} \quad (2.13.a)$$

$$\sigma_{x2} = - \frac{MyE_2}{E_1I_1 + E_2I_2} \quad (2.13.b)$$

- b. Metode penampang tertransformasi

Metode penampang ini terdiri atas transformasi penampang suatu balok komposit menjadi penampang ekuivalen balok imajiner yang terdiri atas hanya satu bahan. (Gare & Timoshenko, 1972)

Pada cara ini luas bagian beton yaitu lebar efektif kali tebal bagian yang tertekan diganti dengan suatu luas baja ekivalen A_{ek} . (Soehardjono, 2006)

$$A_{ek} = \frac{A_c}{n} \quad (2.13.c)$$

Dimana:

A_c = Luas beton yang tertekan

n = rasio modular = $\frac{E_s}{E_c}$ = perbandingan antara modulus elastisitas baja dan beton

E_s = modulus elastisitas baja (= 200.000 N/mm²)

E_c = modulus elastisitas beton (= 4.700 $\sqrt{f'_c}$ N/mm²)



f_c' = tegangan tekan beton umur 28 hari dengan benda uji silinder (N/mm^2)

Pada analisis perhitungan ini, perlu diadakan beberapa asumsi:

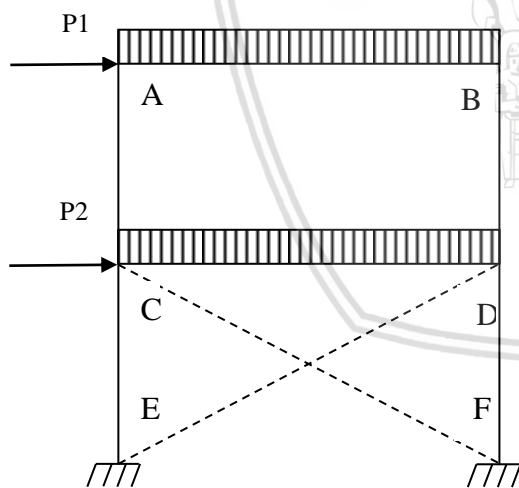
1. Penghubung geser (*shear connector*) antara baja dan beton dianggap cukup kaku, sehingga slip dapat diabaikan.
2. Baja dan beton adalah bahan elastis linier (*linearly elastic materials*).
3. Beton yang mengalami tegangan tarik dianggap tidak bekerja.

(Soehardjono, 2006)

2.7.6 Balok-Kolom Baja

Komponen struktur harus sanggup memikul beban aksial (tarik/tekan) serta momen lentur apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibanding momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut dapat diabaikan dan komponen struktur tersebut dapat didesain sebagai komponen balok lentur. Namun apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen struktur tersebut dinamakan balok-kolom (*beam-column*). (Setiawan, 2008).

Elemen balok-kolom biasanya dijumpai pada struktur-struktur statis tak tertentu. Misalkan pada struktur portal statis tak tertentu pada *Gambar 2.10*.



Gambar 2.9 Struktur Portal Statis Tak Tentu.

Akibat pembebanan yang bekerja, maka batang AB tidak hanya memikul beban merata saja namun juga memikul beban lateral P_1 . Dalam hal ini efek lentur dan gaya tekan P_1 yang bekerja pada batang AB harus dipertimbangkan dalam proses desain penampang batang AB, maka batang AB harus didesain sebagai suatu elemen balok-kolom. Selain, batang AB yang didesain sebagai elemen balok-kolom, batang AC, BD, CE,

DF, juga didesain sebagai elemen balok kolom. Karena selain memikul gaya aksial akibat reaksi dari balok-balok AB dan CD, efek lentur dan efek gaya aksial yang bekerja tidak bisa diabaikan salah satunya. Berbeda dengan batang CD yang hanya didominasi oleh efek lentur, gaya lateral P2 telah dipikul oleh pengaku-pengaku (*bracing*) bentuk X. Sehingga batang CD dapat didesain sebagai suatu elemen balok tanpa pengaruh gaya aksial (Setiawan : 2008).

a. Interaksi Momen Aksial

Dalam perencanaan komponen struktur balok-kolom, telah diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3 yang menyatakan bahwa komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial yang direncanakan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_n} < 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{2\phi N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.14.a)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0,2 \text{ maka } \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (2.14.b)$$

Dengan,

N_u = gaya tekan aksial terfaktor, N.

ϕN_n = kuat nominal penampang, N.

ϕ = faktor reduksi tahanan tekan (0,85).

M_{ux}, M_{uy} = momen lentur terfaktor sumbu x, sumbu y.

M_{nx}, M_{ny} = momen nominal untuk lentur sumbu x, sumbu y.

ϕ_b = faktor reduksi tahanan lentur = 0,9.

b. Pembesaran Momen untuk Komponen Struktur Tak Bergoyang

Untuk suatu komponen struktur tak bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$M_u = \delta_b \cdot M_{ntu} \quad (2.14.c)$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{N_u}{N_{cr}} \right)} \geq 1,0 \quad (2.14.d)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E A_g}{\left(\frac{kL}{r} \right)^2} \quad (2.14.e)$$

Dengan keterangan,

M_{ntu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan.

δ_b = faktor pembesaran momen struktur tak bergoyang.

N_u = gaya tekan aksial terfaktor.

N_{cr} = gaya tekan menurut Euler dengan kL/r terhadap sumbu lentur dan $k \leq 1,0$ (untuk komponen struktur tak bergoyang).

Nilai C_m ditentukan sebagai berikut :

- 1) Untuk komponen struktur tak bergoyang dengan beban transversal di antara kedua tumpuannya, maka besar C_m dapat ditentukan berdasarkan analisis rasional sebagai berikut :

$C_m = 1,0$, untuk komponen struktur dengan ujung sederhana.

$C_m = 0,85$, untuk komponen struktur dengan ujung kaku.

- 2) Sedangkan untuk komponen struktur tak bergoyang dengan beban transversal di antara kedua tumpuannya, namun mempunyai momen ujung M_1 dan M_2 ($M_1 < M_2$) maka C_m akan mengkonversikan momen lentur yang bervariasi secara linear menjadi momen lentur seragam

$$M_E = C_m \cdot M_2 \tag{2.14.f}$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \tag{2.14.g}$$

Rasio $\frac{M_1}{M_2}$ bernilai negatif untuk kelengkungan tunggal dan bernilai positif untuk kelengkungan ganda.

c. Pembesaran Momen untuk Komponen Struktur Bergoyang

Untuk komponen struktur bergoyang, maka besarnya momen lentur terfaktor harus dihitung sebagai berikut :

$$M_u = \delta_b \cdot M_{ntu} + \delta_s \cdot M_{ltu} \tag{2.14.h}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \sum N_u \left(\frac{\Delta_{oh}}{H \cdot L} \right)} \tag{2.14.i}$$

Atau,

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{cr}}} \tag{2.14.j}$$

Dimana,

M_{ltu} = momen lentur terfaktor orde pertama yang diakibatkan oleh beban-beban yang dapat menimbulkan goyangan.

$\sum N_u$ = gaya aksial tekan terfaktor akibat beban gravitasi kolom satu tingkat

N_{cr} = gaya tekan kL/r terhadap sumbu lentur dan $k \geq 1,0$.

Δ_{oh} = simpangan antar lantai pada tingkat yang sedang ditinjau.

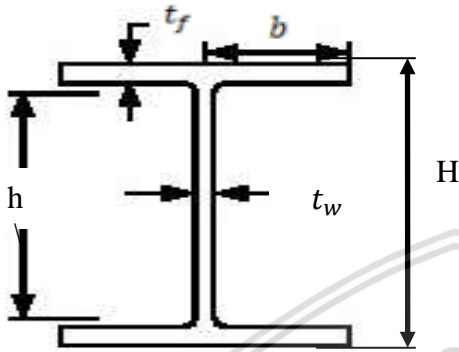
L = tinggi tingkat.



d. Tekuk Lokal Web Pada Komponen Struktur Balok-Kolom

Untuk menentukan tahanan lentur rencana dari suatu profil, maka terlebih dahulu harus diperiksa kekompakan dari penampang tersebut. Syarat kelangsingan badan atau kekompakan badan sebagai berikut :

Nilai banding $\frac{h}{t_w}$, Akan lebih kritis jika $h = H - (2.C_x)$



Gambar 2.10 Profil Wide Flange.

Kelangsingan dari web dapat dikategorikan menjadi tiga bagian :

- 1) Jika $\lambda \leq \lambda_p$, maka penampang kompak
- 2) Jika $\lambda < \lambda < \lambda_r$, maka penampang tak kompak
- 3) Jika $\lambda > \lambda_r$, maka penampang langsing

Table 7.5.1 SNI 03-1729-2002 memberikan batasan nilai untuk λ_p dan λ_r sebagai berikut :

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} < 0,125, \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_b \cdot N_y} \right] \quad (2.14.k)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} > 0,125, \lambda_p = \frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b \cdot N_y} \right] > \frac{665}{\sqrt{f_y}} \quad (2.14.l)$$

$$\text{Untuk semua nilai, } \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 \cdot N_u}{\phi_b \cdot N_y} \right] \quad (2.14.m)$$

Dengan $N_y = A_g \cdot f_y$ adalah gaya aksial yang diperlukan untuk mencapai kondisi batas leleh.

2.7.7 Sambungan

a. Sambungan baut

$$\text{Tahanan geser } (\Phi R_n) = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.15.a)$$

$$\text{Tahanan tarik } (\Phi R_n) = 0,75 \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.15.b)$$

$$\text{Tahanan tumpu } (\Phi R_n) = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.15.c)$$



Tahanan nominal yang diambil adalah yang terkecil.

$$\text{Jumlah baut, } n = V_u / \Phi R_n \tag{2.15.d}$$

Keterangan:

- $r_1 = 0,5$ (baut tanpa ulir pada bidang geser)
- $= 0,4$ (baut dengan ulir pada bidang geser)

- f_u^b = tegangan tarik putus baut
- A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir
- f_u = tegangan tarik putus terendah dari baut atau pelat
- t_p = tebal pelat
- m = jumlah bidang geser

Kontrol jarak baut:

$$\text{jarak tepi minimum} : 1,5 \text{ db} \tag{2.15.e}$$

$$\text{jarak tepi maksimum} : (4 t_p + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm} \tag{2.15.f}$$

$$\text{jarak minimum anatar baut} : 3 \text{ db} \tag{2.15.g}$$

$$\text{jarak maksimum antar baut} : 1,5 t_p \text{ atau } 200 \text{ mm} \tag{2.15.h}$$

(SNI 03-1729-2002)

b. Sambungan las

Tahanan nominal las sudut

$$\text{Dengan } R_u \leq \Phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_c \cdot (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \tag{2.15.i}$$

$$R_u \leq \Phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_c \cdot (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \tag{2.15.j}$$

Keterangan:

- f_{uw} = tegangan Tarik putus logam las
- f_u = tegangan Tarik putus bahan dasar
- t_c = tebal efektif las (mm)

(SNI 03-1726-2012)

Panjang efektif las sudut

$$L_w = \frac{R_u}{\Phi R_{nw}} \tag{2.15.k}$$



Tabel 2.6.

Ukuran minimum las sudut

Tebal bagian paling tebal, t [mm]	Tebal minimum las sudut, t_s [mm]
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sumber: SNI 03-1726-2012

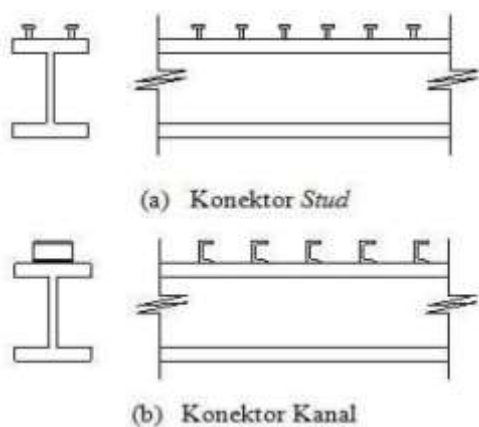
Pembatasan ukuran maksimum las sudut:

- a) Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen
- b) Untuk komponen dengan tebal 6,4 atau lebih, diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen.

2.7.8 Penghubung geser

Geser horizontal pada antara slab beton dan balok baja selama pembebanan harus bisa ditahan sedemikian rupa sehingga gelincir dapat dikekang. Desain komposit baja-beton balok sangat tergantung pada mekanisme transfer geser yang disediakan oleh penghubung geser (*shear connector*). Penghubung geser berfungsi untuk menahan geser horisontal yang terjadi selama pembebanan. Agar didapat penampang yang sepenuhnya komposit, penghubung geser harus cukup kaku sehingga dapat menahan geseran (*slip*) yang terjadi pada bidang pertemuan antara beton dan balok baja. (Salmon, dkk, 1991)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1729-2002 Kapasitas suatu penghubung geser untuk dapat menahan gaya geser horizontal dipengaruhi oleh kekakuan dan luas bidang kontak penghubung geser tersebut dengan beton. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi pada penghubung geser yaitu bentuk dan ukurannya, lokasi pada balok, lokasi momen maksimum dan cara pemasangannya pada balok baja.



Gambar 2.11 Jenis-jenis Penghubung Geser.

Penghubung geser yang umum dipakai berupa potongan baja kanal atau stud berkepala yang dilas pada sayap atas dari balok baja. Panjang stud terpasang minimal empat kali diameter batang stud. Tebal beton diatas puncak penghubung geser minimal 25 mm, kecuali jika penghubung geser dipasang di atas dek baja berprofil. (Setiawan, 2008)

Untuk komposit yang bekerja menahan momen lentur positif, gaya geser horisontal total antara titik momen nol harus diambil nilai terkecil dari: (Setiawan, 2008)

$$1. 0,85 \cdot f_c' \cdot A_c \tag{2.16.a}$$

$$2. A_s \cdot f_y \tag{2.16.b}$$

$$3. \sum Q_n \tag{2.16.c}$$

a. Kuat geser stud

Kuat geser nominal (Q_n) untuk satu stud baja yang tertanam dalam pelat beton adalah:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u \tag{2.16.d}$$

Keterangan:

A_{sc} adalah luas penampang bersih stud (mm^2)

f_u adalah kuat tarik minimum stud (Mpa)

E_c adalah modulus elastisitas beton

$E_c = w^{1,5} \cdot \sqrt{f_c'}$, dimana w = berat volume beton

Diameter stud maksimal adalah 2,5 kali tebal sayap balok baja, kecuali jika stud dilas tepat diatas badan balok baja. (Setiawan, 2008)

b. Kuat geser kanal

Kuat geser nominal (Q_n) penghubung geser kanal yang tertanam dalam pelat beton adalah:

$$Q_n = 0,3 \cdot (t_f + 0,5 t_b) \cdot L_c \cdot \sqrt{f_c' \cdot E_c} \tag{2.16.e}$$

Keterangan:

t_f = tebal sayap kanal

t_b = tebal badan kanal

L_c = panjang kanal

Jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh titik momen lentur maksimum, positif atau negatif dan momen nol yang berdekatan adalah sama dengan gaya geser horizontal total V_h yang bekerja dibagi dengan kuat nominal satu sambungan geser Q_n

$$N = \frac{V_h}{Q_n} \quad (2.16.f)$$



BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Pengumpulan Data

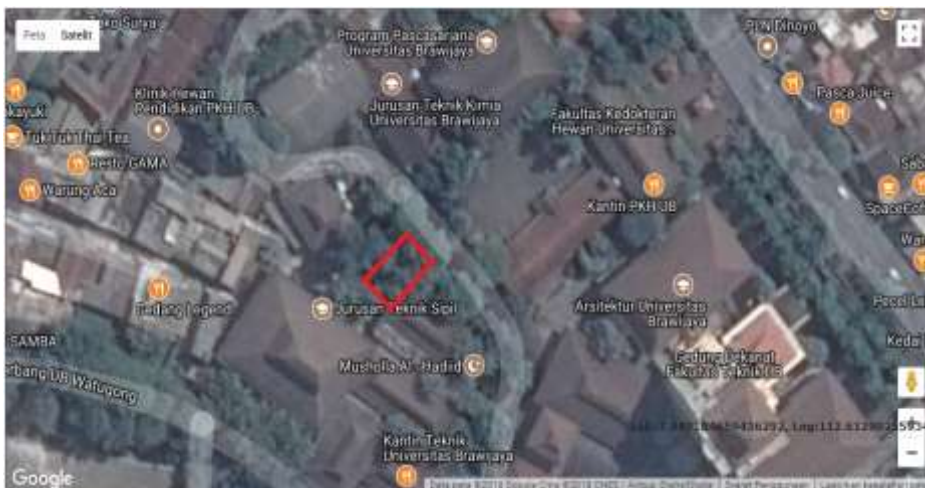
Pengumpulan data dalam skripsi ini yaitu dengan mengumpulkan gambar dari tim teknis proyek berupa gambar rencana bangunan yang digunakan sebagai acuan untuk perencanaan struktur komposit.

3.2 Data Perencanaan

3.2.1 Data umum gedung

Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya merupakan gedung laboratorium dan perkuliahan. Data-data lain mengenai gedung adalah sebagai berikut

Nama Gedung	: Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Lokasi	: Jl. MT. Haryono 167, Kota Malang, 65145, Jawa Timur, Indonesia
Fungsi	
Lantai 1	: Laboratorium dan Hall
Lantai Mezanin	: Ruang Perkuliahan dan Ruang Karyawan
Lantai 2 – 5	: Ruang Pelatihan/kerja Mahasiswa, Laboratorium
Lantai 7	: Lantai Atap
Waktu Dimulai Pengerjaan	: 5 Agustus 2017
Biaya	: Rp. 4.600.000.000,-



Gambar 3.1 Peta Lokasi Gedung

3.2.2 Data Teknis gedung

Struktur Gedung	: Lantai 1 sampai 7 menggunakan struktur beton bertulang.
Jumlah Lantai	: 7 lantai
Tinggi Bangunan	: ± 33 m
Tinggi Tiap Lantai	
Lantai 1/Mezanin - 2	: @ 3,00 m
Lantai 3 - atap	: @ 4,00 m
Mutu Beton	: K-300
Mutu Baja	: 400 Mpa

3.3 Prosedur Perencanaan

Secara garis besar langkah-langkah perencanaan struktur pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya meliputi hal-hal sebagai berikut:

3.3.1 Analisis pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan pada perencanaan pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati
2. Beban Hidup
3. Beban Angin
4. Beban Gempa

Berdasarkan beban-beban di atas, maka beton bertulang Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut ini:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 E + L$
6. $0,9 D + 1,0 W$
7. $0,9 D + 1,0 E$

Keterangan:

D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen

L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung

A : beban atap

R : beban air hujan

W : beban angin

E : beban gempa

3.3.2 Analisis statika

Dalam perencanaan Skripsi ini digunakan analisis desain respon spektrum untuk menghitung gaya pada struktur akibat gaya gempa. Adapun cara menganalisisnya yaitu dengan menggunakan aplikasi analisis struktur SAP2000 v19. Penggunaan aplikasi analisis struktur SAP2000 v19 digunakan untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur (momen, gaya aksial, dan gaya geser).

3.3.3 Desain penampang

Prinsip dasar yang digunakan untuk mendesain penampang pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya adalah dengan menggunakan konsep LRFD (*Load Resistance and factor Design*).

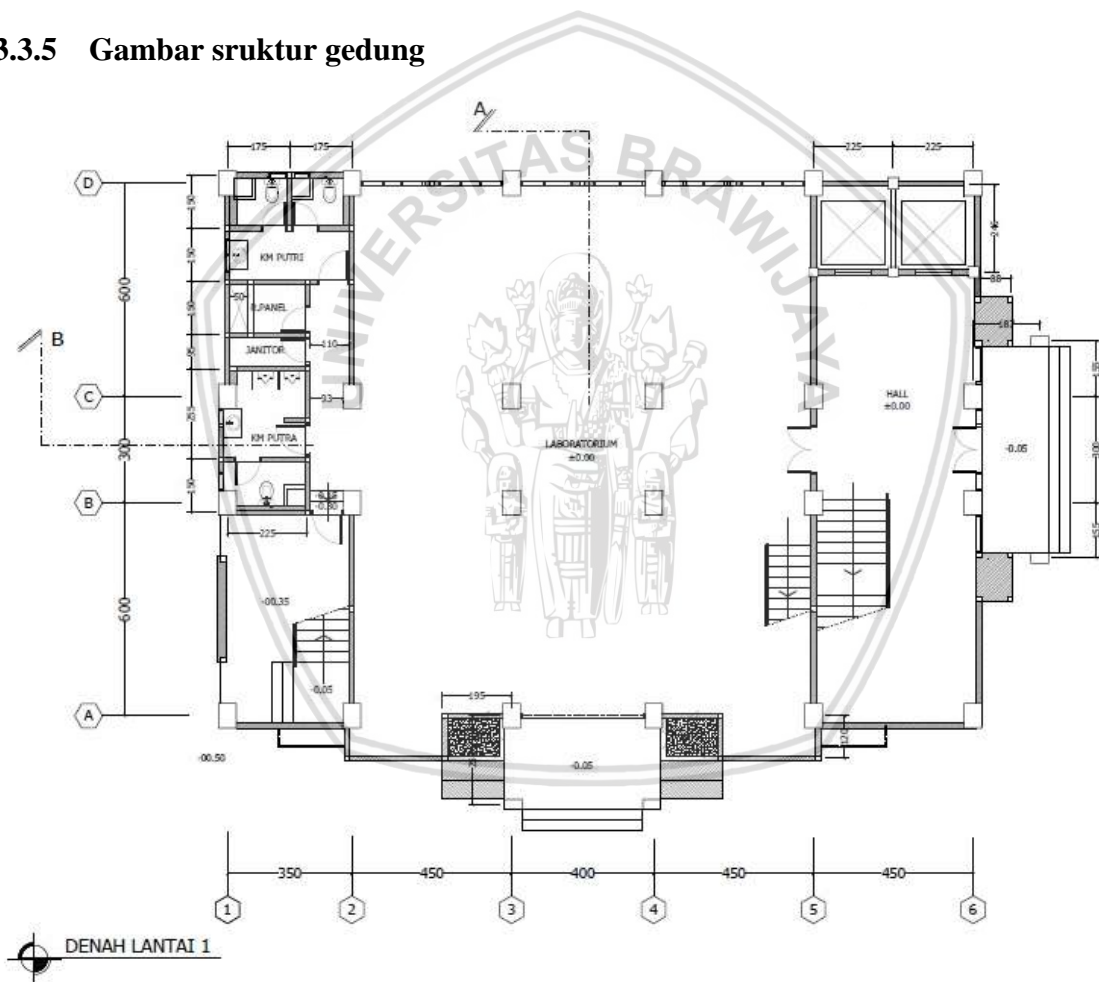
Detail penampang yang akan digunakan pada balok berupa bahan baja dengan profil WF (*Wide Flange*) yang dikompositkan dengan pelat beton. Sedangkan detail penampang yang akan digunakan pada kolom berupa profil WF (*Wide Flange*).

Ada dua macam kontrol setelah perencanaan awal dimensi, yaitu kontrol kondisi dan kontrol penampang. Pada kontrol kondisi dibagi menjadi kontrol sebelum komposit dan setelah komposit. Pada kondisi sebelum komposit, pembebanan meliputi berat sendiri pelat, spesi, keramik, plafond, instalasi, dinding dan beban hidup. Sedangkan kontrol penampang dilakukan pada penampang balok dan kolom.

3.3.4 Gambar struktur

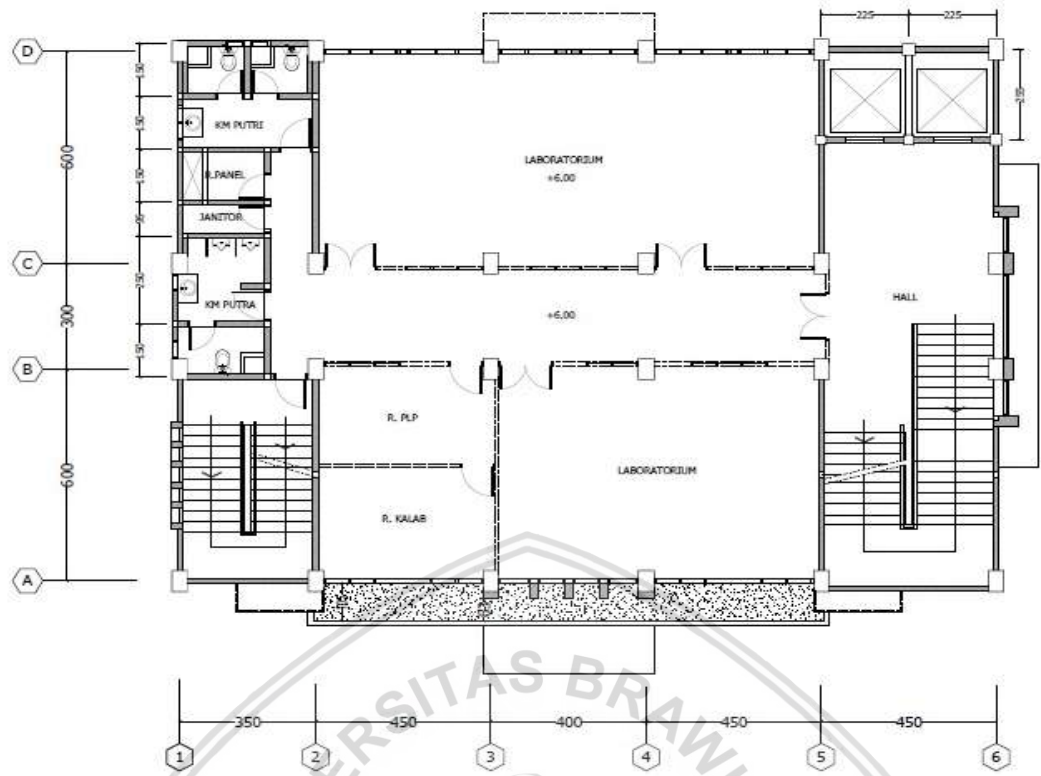
Penggambaran gambar teknik dalam perencanaan dan perhitungan menggunakan program AutoCAD 2016. Sedangkan untuk permodelan 3D menggunakan program SAP 2000 v19.

3.3.5 Gambar sruktur gedung



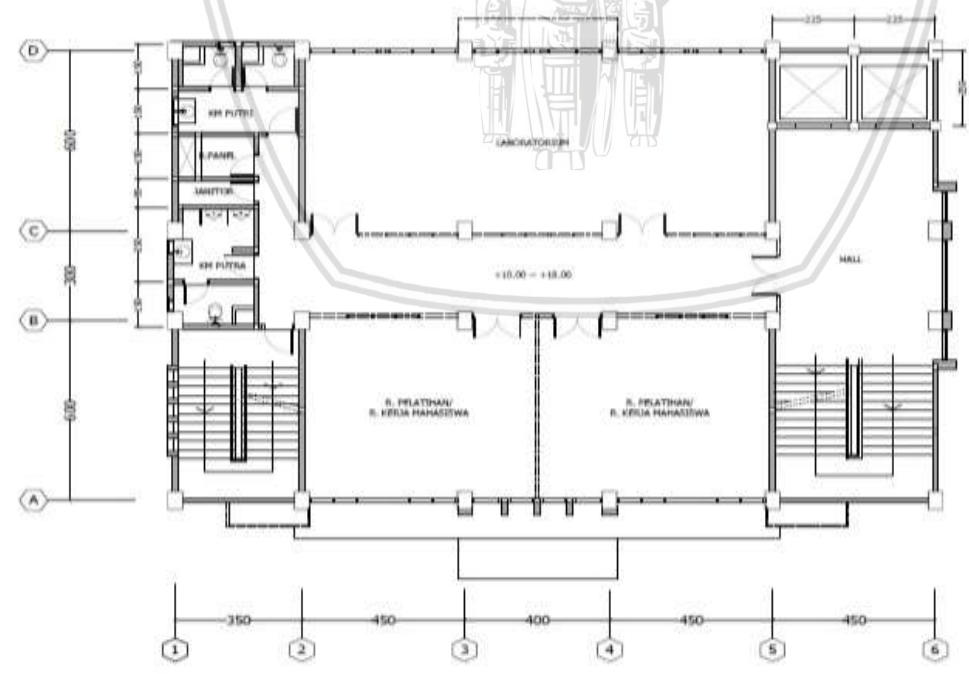
Gambar 3.2 Denah Gedung Lantai 1





DENAH LANTAI 2

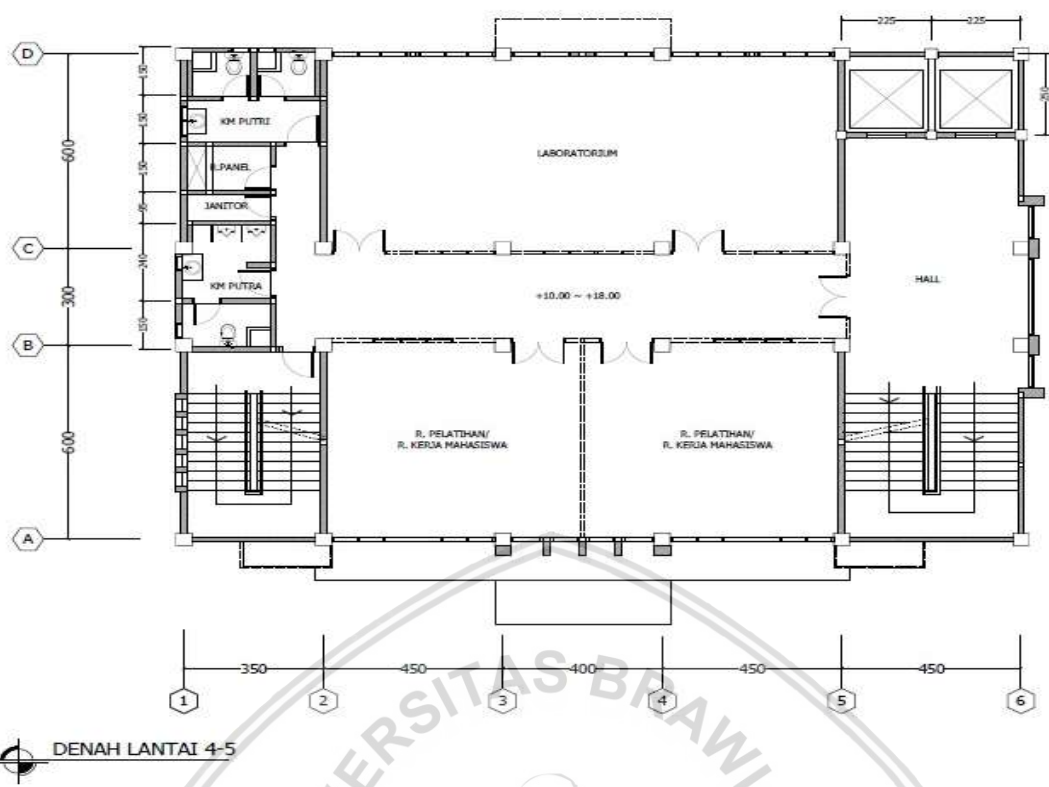
Gambar 3.3 Denah Gedung Lantai 2



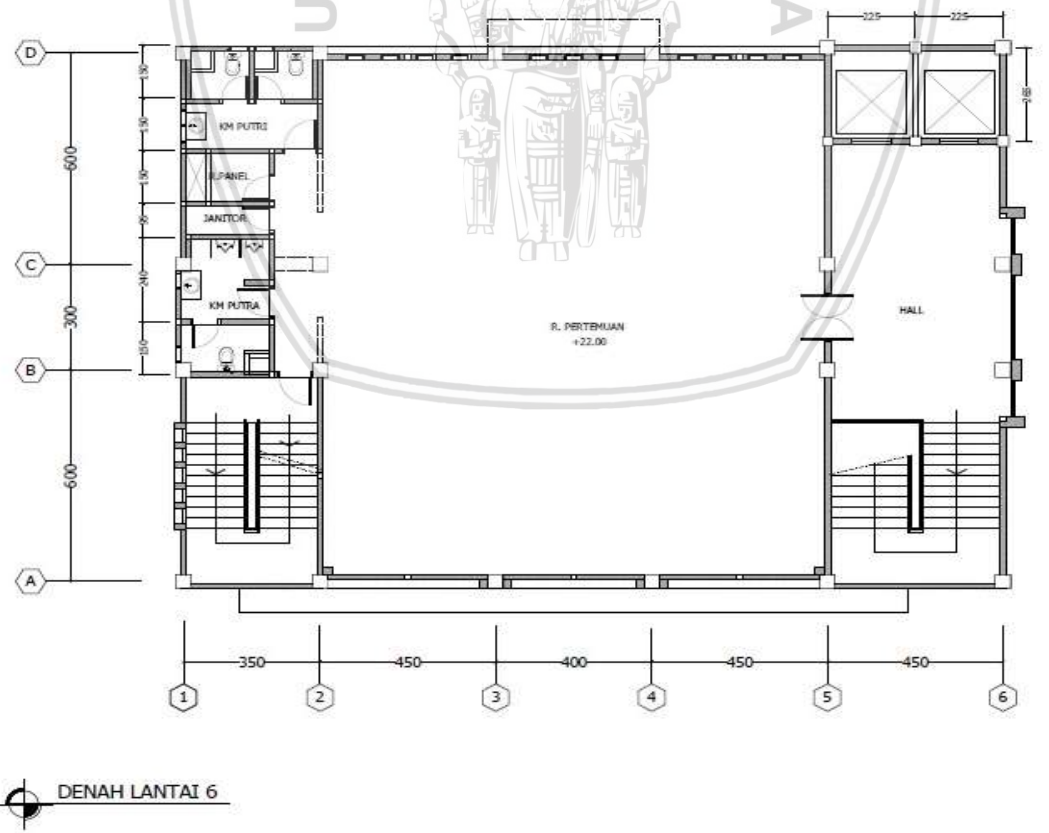
DENAH LANTAI 3

Gambar 3.4 Denah Gedung Lantai 3

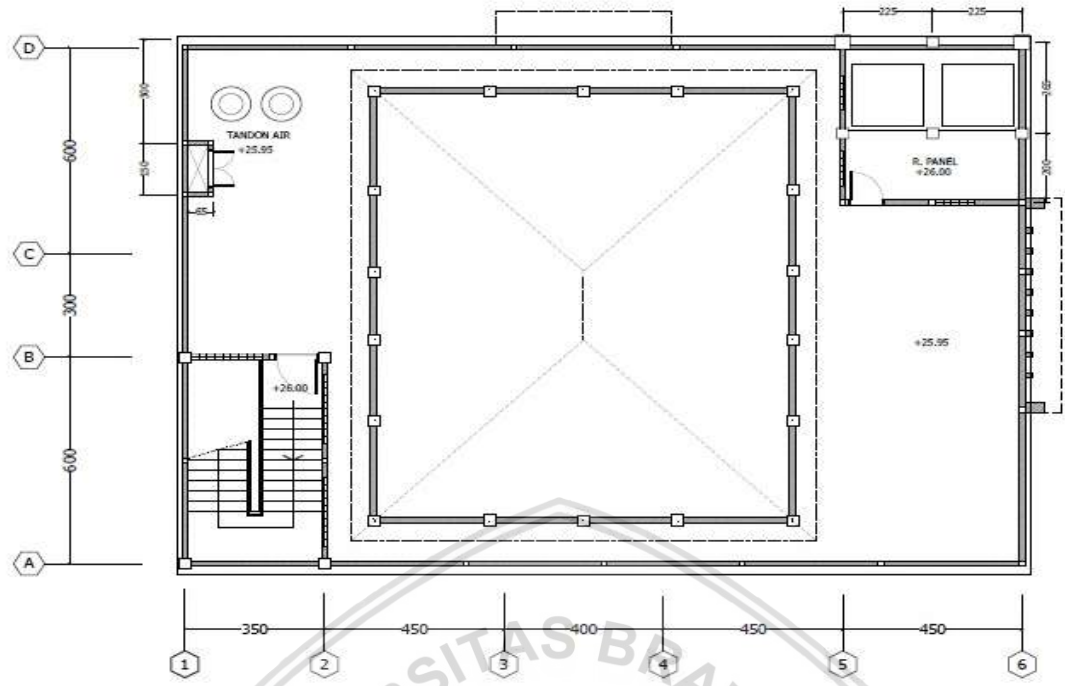




Gambar 3.5 Denah Gedung Lantai 4-5

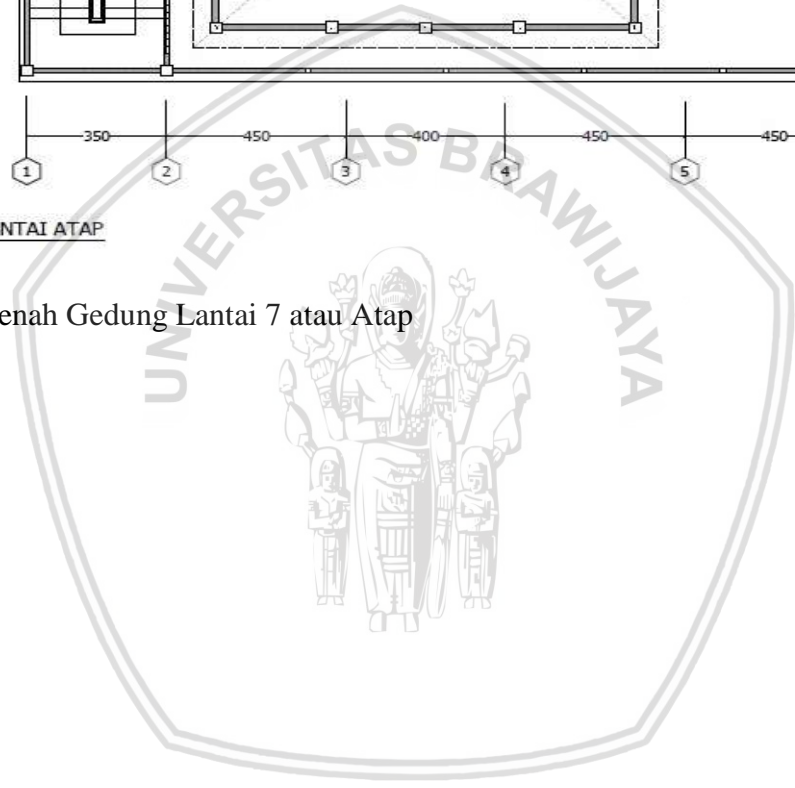


Gambar 3.6 Denah Gedung Lantai 6

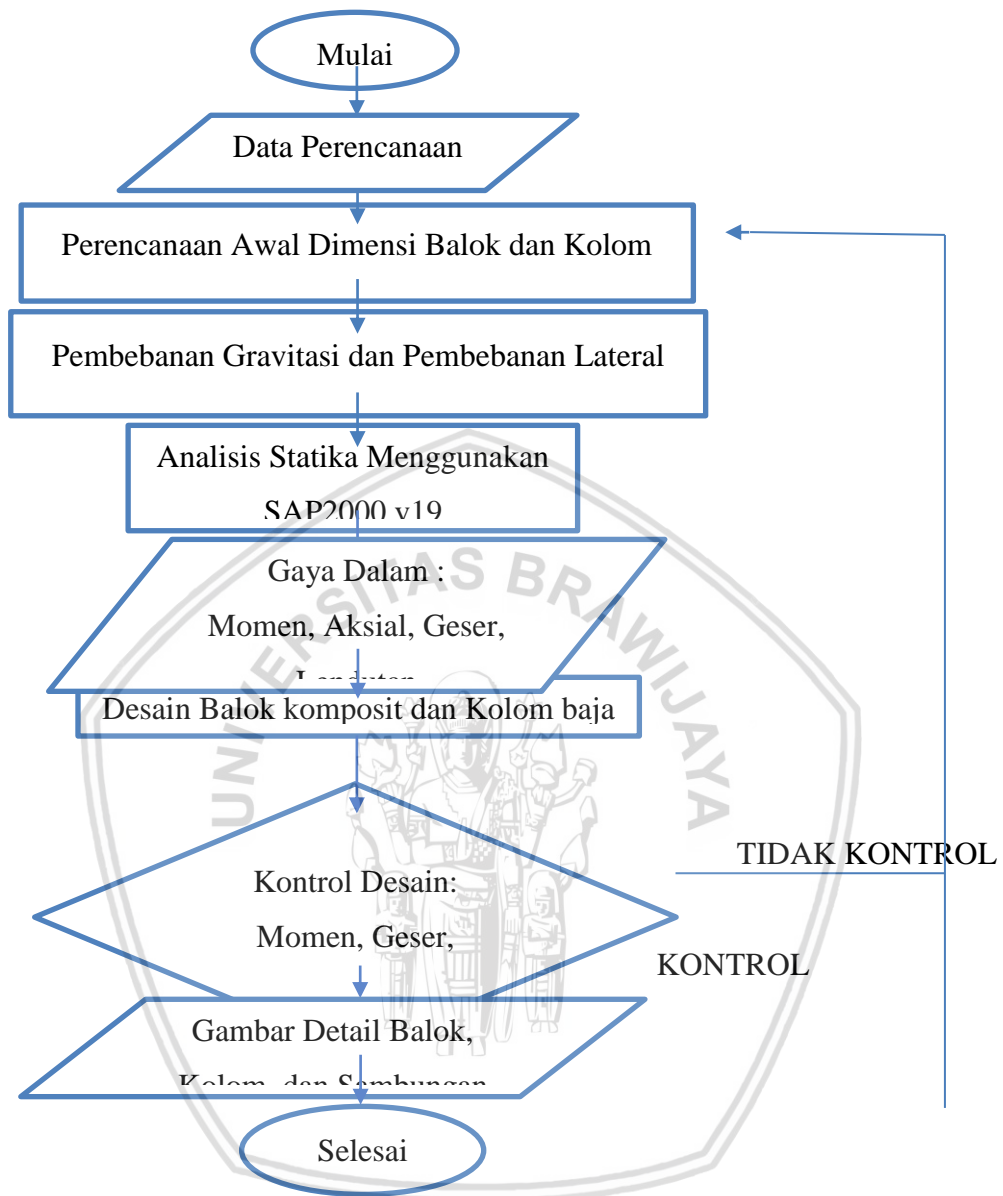


DENAH LANTAI ATAP

Gambar 3.7 Denah Gedung Lantai 7 atau Atap



3.3.5 Diagram alur perencanaan



BAB IV

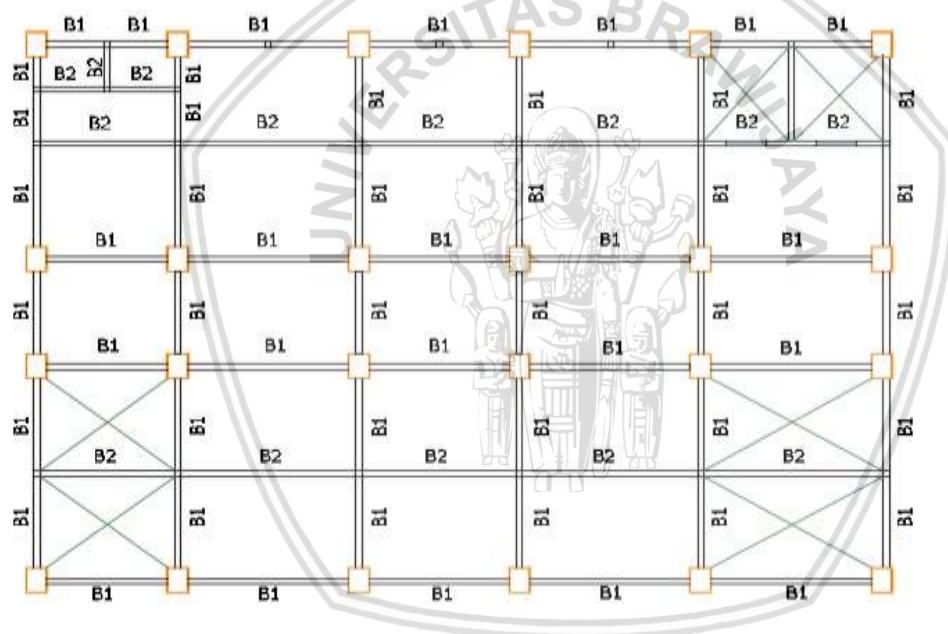
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Terdapat beberapa macam balok yang digunakan yaitu balok induk (B1) dan balok anak (B2) yang didasarkan pada panjang bentang dan besarnya gaya dalam yang diterima pada balok tersebut. Mutu baja yang digunakan untuk balok adalah BJ 50. Pada perencanaan dimensi balok mengacu pada Tabel Profil Konstruksi Baja, dimana profil yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Profil 14' WF 14x12 untuk balok induk (B1)
2. Profil 10' WF 10x8 untuk balok anak (B2)

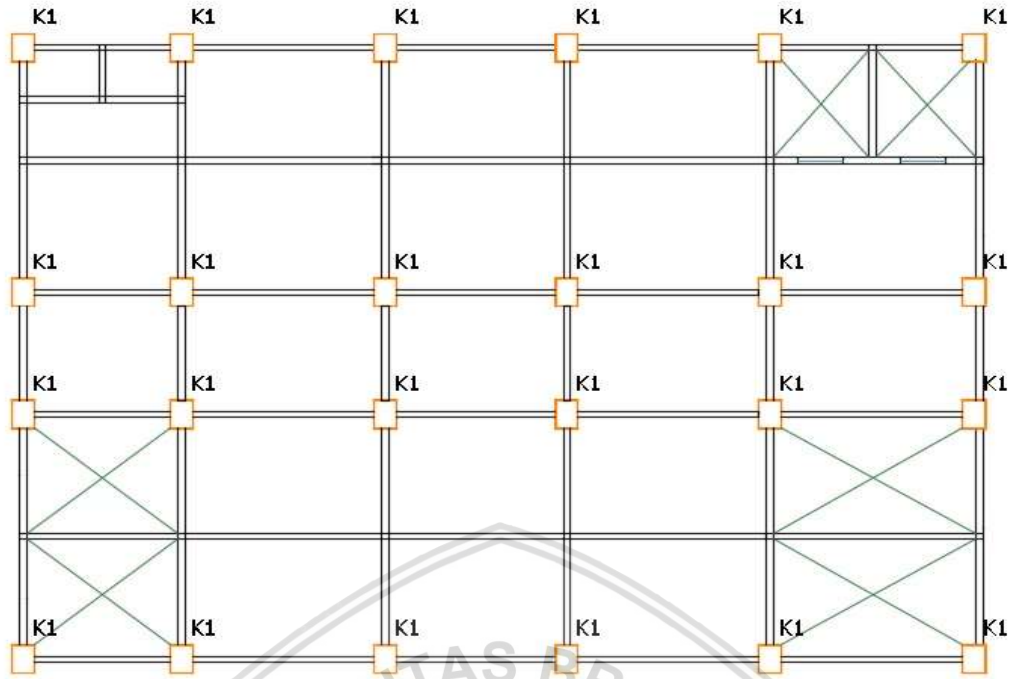


Gambar 4.1 Denah Balok Gedung

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Dikarenakan momen inersia pada kolom harus lebih besar dari balok maka profil yang digunakan juga lebih besar serta mutu baja yang digunakan untuk kolom adalah BJ 50. Dimensi profil kolom yang direncanakan berdasarkan Tabel Konstruksi Baja yaitu sebagai berikut.

1. Profil WF 400x400x13x21 (K1)



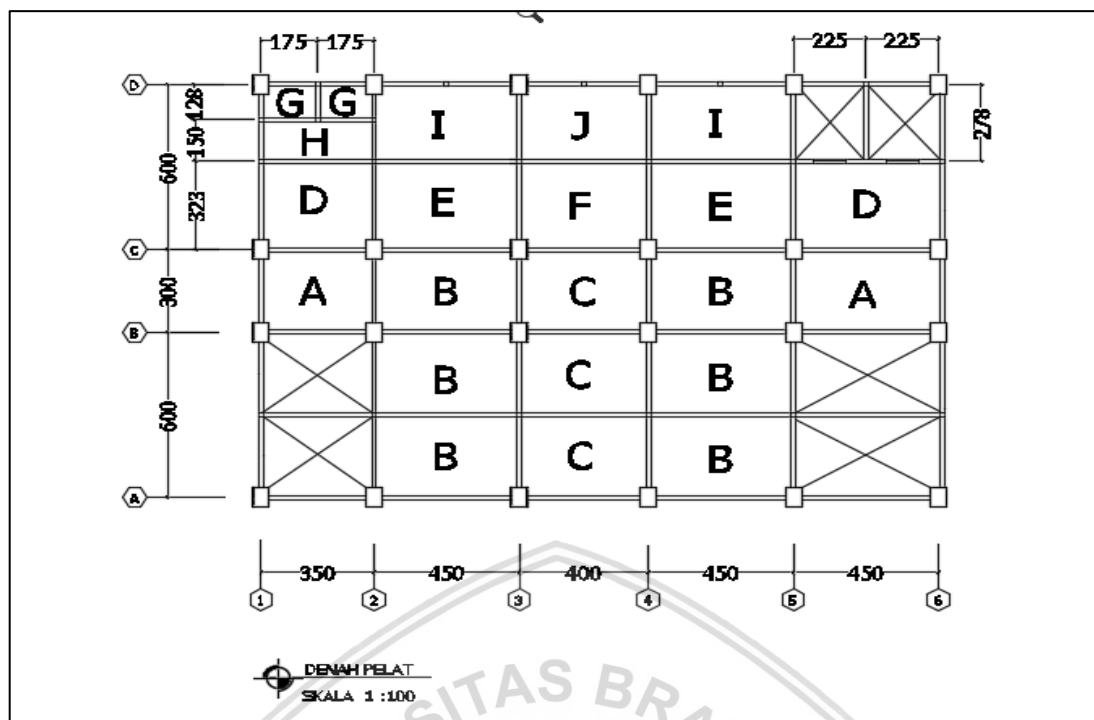
Gambar 4.2 Gambar Denah Kolom

4.1.3 Perencanaan Pelat

Sesuai pada keadaan existing gedung ini. Penerapan tebal pelat dibedakan menjadi 2 (dua), yaitu pelat lantai dan pelat atap. Dimana untuk pelat lantai direncanakan setebal 12cm, sedangkan untuk pelat atap direncanakan setebal 10cm. Untuk mutu beton yang digunakan yaitu 25 MPa.

Data teknis

- ❖ f'_c = 25 MPa
- ❖ Mutu baja tulangan plat = 240 MPa
- ❖ Tebal plat lantai rencana = 12 cm
- ❖ Tebal adukan semen = 3 cm



Gambar 4.3 Denah Pelat

Pembebanan

Beban yang bekerja

- **Beban mati :** (*PPIUG tabel 2.1 hal. 11-12*)
 - Berat beton bertulang = 2400 kg/m³
 - Adukan per cm tebal dari semen = 21 kg/m²
 - Penutup lantai dari keramik = 24 kg/m²
- **Beban hidup sesuai pada** (*PPIUG tabel 3.1 hal. 17*)
 - Ruang kuliah = 250 kg/m²
 - Ruang pertemuan = 400 kg/m²

Beban mati :

Berat beton bertulang	= 0,12 . 2400	= 288 kg/m ²
Adukan semen	= 3 . 21	= 63 kg/m ²
Pasir	= 0,03. 1600	= 48 kg/m ²
Penutup lantai dari keramik		= <u>24 kg/m²</u>
		423 kg/m²

Beban hidup :



Beban guna Ruang Kuliah	= 250 kg/m ²
Beban guna Ruang Pertemuan	= 400 kg/m ²
	<u>650 kg/m²</u>

Kombinasi Pembebanan

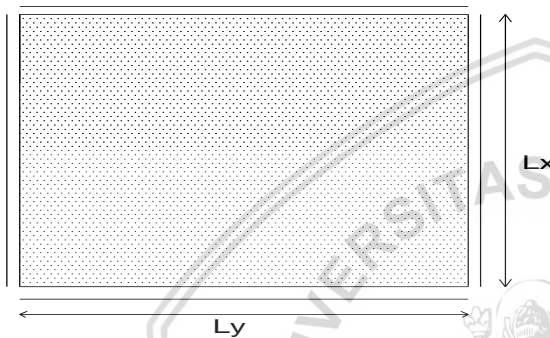
Kombinasi II :

$$1,2 D + 1,6 L = 1,2 \cdot 423 + 1,6 \cdot 650$$

$$= 1547,6 \text{ kg/m}^2$$

Statika dan Penulangan Plat

- **Plat A**



Gambar 4.4 Plat A

$$Lx = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$$

$$Ly = 350 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$$

$$Ly / Lx = 1,2$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K$

Nilai K untuk $Ly/Lx = 1,2$ (Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202).

$$MLx = 46$$

$$MTx = 46$$

$$MLy = 38$$

$$MTy = 38$$

Sehingga nilai Mu =

$$MLx = 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 46 = 640,7 \text{ kgm}$$

$$MLy = 0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,5^2 \cdot 38 = 720,4 \text{ kgm}$$

$$MTx = -0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 46 = -640,7 \text{ kgm}$$

$$MTy = -0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,5^2 \cdot 38 = -720,4 \text{ kgm}$$

Penulangan

Tebal selimut beton (d') = 20 mm

$$\text{Tebal pelat } h = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240}$$

$$= 0,04$$

- Lapangan X

$$M_u = 640,7 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{640,7 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,009 \text{ kg/cm}^2 = 0,8009 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,8009}{240}} \right) = 0,0034$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan X

$$M_u = -640,7 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{640,7 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,009 \text{ kg/cm}^2 = 0,8009 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,8009}{240}} \right)$$

$$= 0,0034$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$M_u = 720,4 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{720,4 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 9,005 \text{ kg/cm}^2 = 0,9005 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,9005}{240}} \right) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan Y

$$M_u = -720,4 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{925,582 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 9,005 \text{ kg/cm}^2 = 0,9005 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,9005}{240}} \right) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

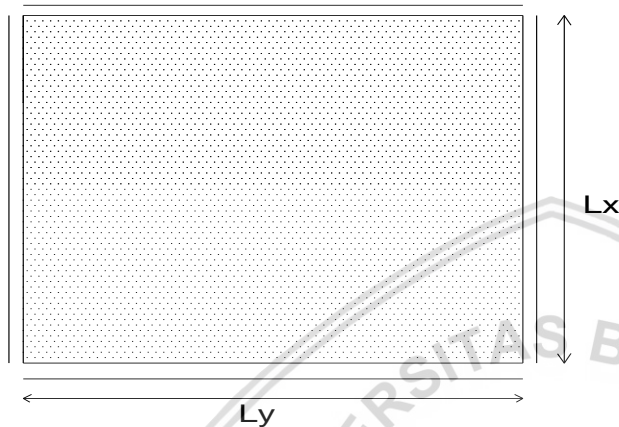
Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :



$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\
 &= 5,833 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\varnothing 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Plat B**



Gambar 4.5 Plat B

$$L_x = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$$

$$L_y = 450 \text{ cm} = 4,5 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,5$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow \mathbf{Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K}$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,5$ (*Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202*).

$$M_{Lx} = 56$$

$$M_{Tx} = 56$$

$$M_{Ly} = 37$$

$$M_{Ty} = 37$$

sehingga nilai Mu =

$$M_{Lx} = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 56 = 779,1 \text{ kgm}$$

$$M_{Ty} = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 37 = 1159,54 \text{ kgm}$$

$$M_{Tx} = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 56 = -779,1 \text{ kgm}$$

$$M_{Ty} = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 37 = -1159,54 \text{ kgm}$$

Penulangan

Tebal selimut beton (d') = 20 mm

Tebal pelat h = 120 mm

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 120 - 20 \\ &= 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \quad (\text{untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85) \\ &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240} \\ &= 0,04\end{aligned}$$

- Lapangan X

$$M_u = -779,1 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{779,1 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 1000 \cdot 100^2} = 9,74 \text{ kg/cm}^2 = 0,974 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,974}{240}} \right) \\ &= 0,00415\end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 1000 \cdot 100 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

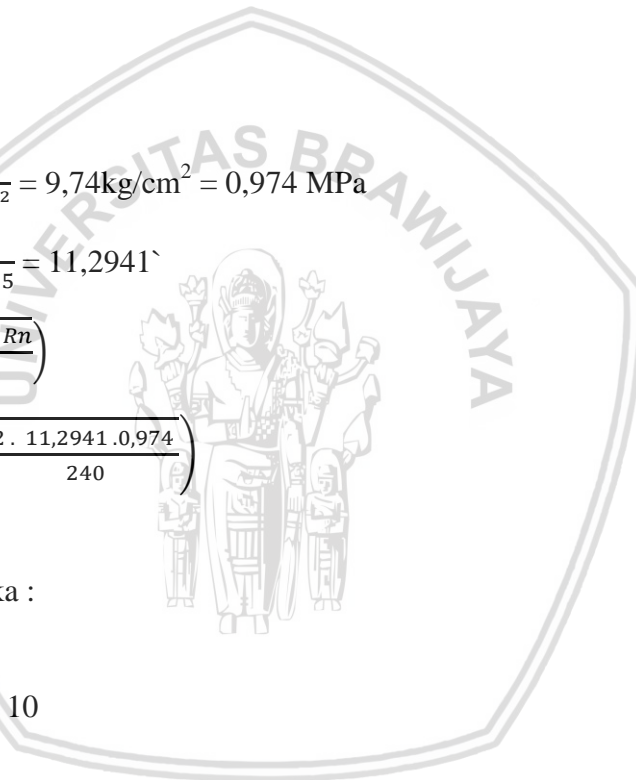
- Tumpuan X

$$M_u = -779,1 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{779,1 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 1000 \cdot 100^2} = 9,74 \text{ kg/cm}^2 = 0,974 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,974}{240}} \right)\end{aligned}$$



$$= 0,00415$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$M_u = 1159,54 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1159,54 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,5 \text{ kg/cm}^2 = 1,45 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_{c}} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,45}{240}} \right) \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan Y

$$M_u = -1159,54 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1159,54 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,5 \text{ kg/cm}^2 = 1,45 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_{c}} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

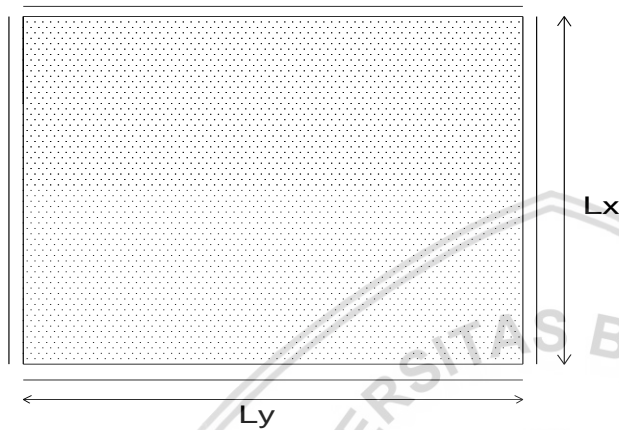
$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,45}{240}} \right) \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\varnothing 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

• **Plat C**



Gambar 4.6 Plat C

$$L_x = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$$

$$L_y = 400 \text{ cm} = 4 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,3$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,7$ (*Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202*).

$$ML_x = 50$$

$$MT_x = 50$$

$$ML_y = 38$$

$$MT_y = 38$$

Sehingga nilai Mu =

$$ML_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 50 = 696,42 \text{ kgm}$$

$$ML_y = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = 940,94 \text{ kgm}$$

$$MT_x = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3^2 \cdot 50 = -696,42 \text{ kgm}$$

$$MT_y = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = -940,94 \text{ kgm}$$

Penulangan



$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240}$$

$$= 0,04$$

- Lapangan X

$$M_u = 696,42 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{696,42 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,705 \text{ kg/cm}^2 = 0.8705 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0.8705}{240}} \right) = 0,0037$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan X

$$M_u = 696,42 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{696,42 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,705 \text{ kg/cm}^2 = 0.8705 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,8705}{240}} \right)$$

$$= 0,0037$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$M_u = 940,94 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{940,94 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 11,762 \text{ kg/cm}^2 = 1,1762 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,1762}{240}} \right)$$

$$= 0,00504$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

sehingga,

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan Y

$$M_u = -377,194 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1043,023 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 4,715 \text{ kg/cm}^2 = 0,4715 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,4715}{240}} \right)$$

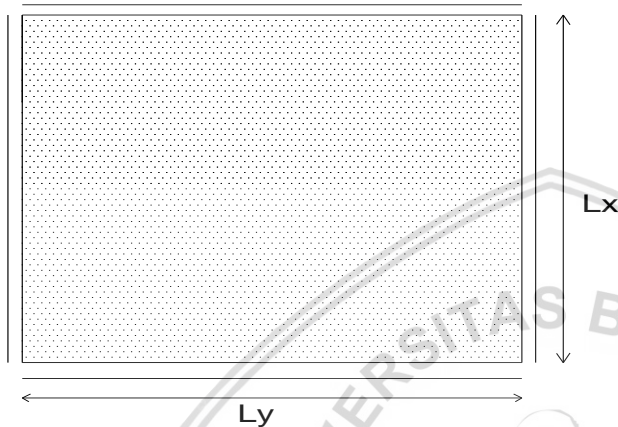
$$= 0,001987$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Plat D**



Gambar 4.7 Plat D

$$L_x = 323 \text{ cm} = 3,23 \text{ m}$$

$$L_y = 350 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,1$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,1$ (Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202).

$$ML_x = 42$$

$$MT_x = 42$$

$$ML_y = 37$$

$$MT_y = 37$$

Sehingga nilai Mu =

$$ML_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 42 = 678,13 \text{ kgm}$$

$$ML_y = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,5^2 \cdot 37 = 701,45 \text{ kgm}$$

$$MT_x = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 42 = -678,13 \text{ kgm}$$

$$MT_y = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,5^2 \cdot 37 = -701,45 \text{ kgm}$$

Penulangan

Tebal selimut beton (d') = 20 mm

Tebal pelat h = 120 mm

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 120 - 20 \\
 &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85) \\
 &= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240} \\
 &= 0,04
 \end{aligned}$$

- Lapangan X

$$M_u = 678,13 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{678,13 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,48 \text{ kg/cm}^2 = 0.848 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0.848}{240}} \right) \\
 &= 0,0036
 \end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\
 &= 5,833 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan X

$$M_u = -678,13 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{678,13 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,48 \text{ kg/cm}^2 = 0.848 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,848}{240}} \right) \\ &= 0,0036\end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}As &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$Mu = 701.45 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{701.45 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,77 \text{ kg/cm}^2 = 0,877 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,877}{240}} \right) \\ &= 0,0037\end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}As &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan Y

$$Mu = -701.45 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{701.45 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,77 \text{ kg/cm}^2 = 0,877 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,877}{240}} \right)\end{aligned}$$

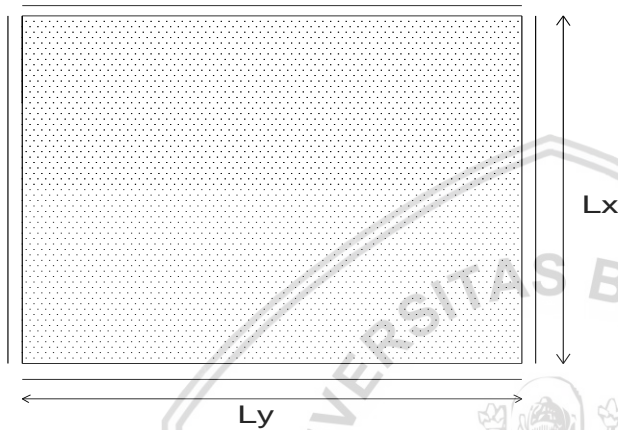
$$= 0,0037$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\varnothing 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Plat E**



Gambar 4.8 Plat E

$$L_x = 323 \text{ cm} = 3,23 \text{ m}$$

$$L_y = 450 \text{ cm} = 4,5 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,4$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow \mathbf{Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K}$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,4$ (*Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202*).

$$ML_x = 53$$

$$MT_x = 53$$

$$ML_y = 38$$

$$MT_y = 38$$

Sehingga nilai Mu =

$$ML_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 53 = 855,73 \text{ kgm}$$

$$ML_y = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 38 = 1190,87 \text{ kgm}$$

$$MT_x = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 53 = -855,73 \text{ kgm}$$

$$MT_y = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 38 = -1190,87 \text{ kgm}$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240}$$

$$= 0,04$$

- Lapangan X

$$M_u = 855,73 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{855,73 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 10,7 \text{ kg/cm}^2 = 1,07 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,07}{240}} \right)$$

$$= 0,00457$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

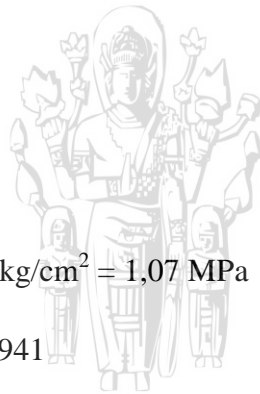
$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan X

$$M_u = -855,73 \text{ kg m}$$



$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{855,73 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 10,7 \text{ kg/cm}^2 = 1,07 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,07}{240}} \right) \\ &= 0,00457 \end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$Mu = 1190,87 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1190,87 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,88 \text{ kg/cm}^2 = 1,488 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,488}{240}} \right) \\ &= 0,0064 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

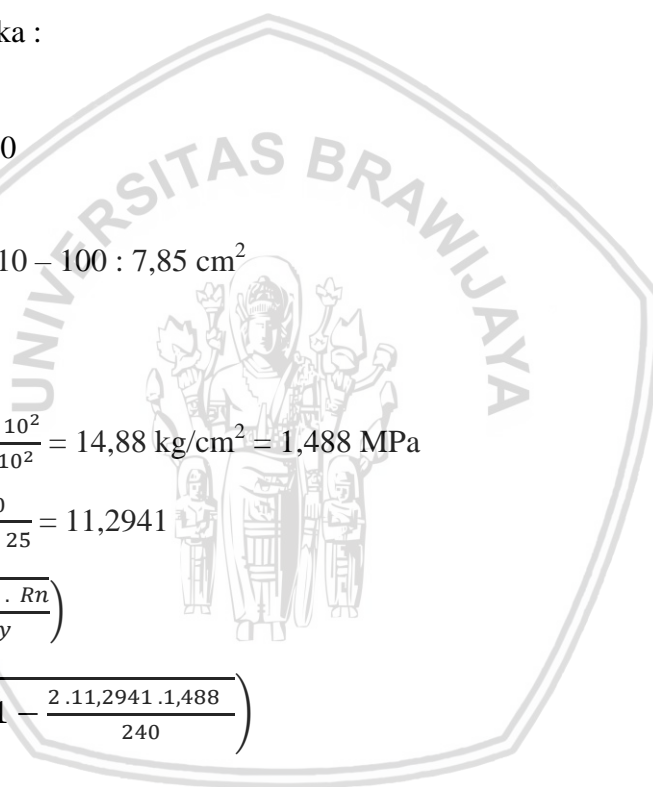
$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0064 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6,43 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan Y

$$Mu = -1190,87 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{701,45 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,88 \text{ kg/cm}^2 = 1,488 \text{ MPa}$$



$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

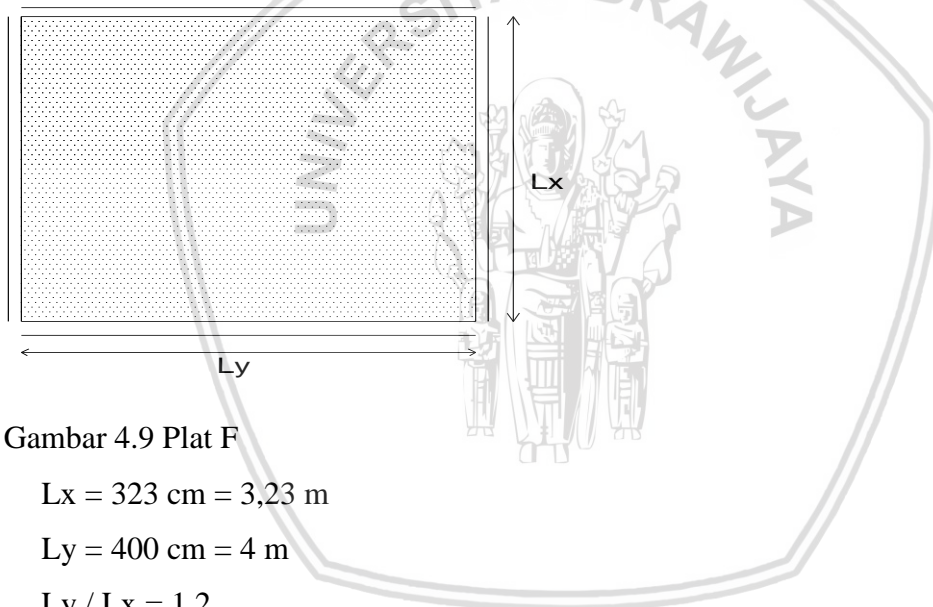
$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,877}{240}} \right) \\ &= 0,0064 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0064 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6,43 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Plat F**



Gambar 4.9 Plat F

$$L_x = 323 \text{ cm} = 3,23 \text{ m}$$

$$L_y = 400 \text{ cm} = 4 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,2$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow \mathbf{Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K}$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,2$ (*Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202*).

$$ML_x = 46$$

$$MT_x = 46$$

$$ML_y = 38$$

$$MT_y = 38$$

Sehingga nilai Mu =

$$ML_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 46 = 742,71 \text{ kgm}$$

$$ML_y = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = 940,94 \text{ kgm}$$

$$MT_x = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 3,23^2 \cdot 46 = -742,71 \text{ kgm}$$

$$MT_y = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = -940,94 \text{ kgm}$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (\text{untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$

$$= 0,04$$

- Lapangan X

$$Mu = 742,71 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{742,71 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 1000 \cdot 100^2} = 9,28 \text{ kg/cm}^2 = 0,928 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,928}{240}} \right)$$

$$= 0,0039$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 1000 \cdot 100$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\varnothing 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Tumpuan X**

$$M_u = -742,71 \text{ kgm}$$

$$R = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{742,71 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 9,28 \text{ kg/cm}^2 = 0,928 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

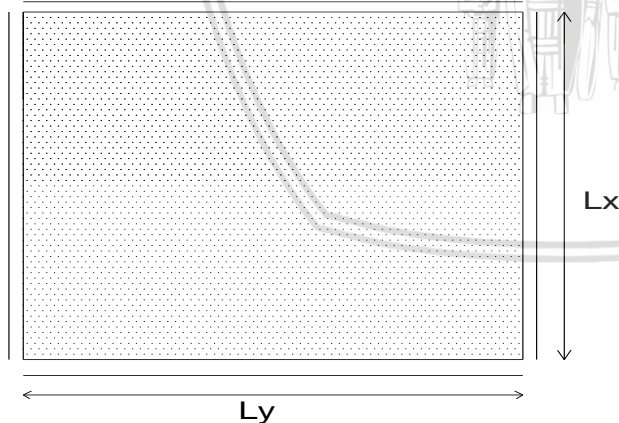
$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,928}{240}} \right) \\ &= 0,0039 \end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\varnothing 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

• **Plat G**



Gambar 4.10 Plat G

$$L_x = 128 \text{ cm} = 1,28 \text{ m}$$

$$L_y = 175 \text{ cm} = 1,75 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,4$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow M_u = 0,001 \cdot W_u \cdot L_x^2 \cdot K$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,4$ (Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202).

$$M_{Lx} = 53$$

$$M_{Tx} = 53$$

$$M_{Ly} = 38$$

$$M_{Ty} = 38$$

Sehingga nilai Mu =

$$M_{Lx} = 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 1,28^2 \cdot 53 = 134,38 \text{ kgm}$$

$$M_{Ly} = 0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 1,75^2 \cdot 38 = 940,94 \text{ kgm}$$

$$M_{Tx} = -0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 1,28^2 \cdot 53 = -134,38 \text{ kgm}$$

$$M_{Ty} = -0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 1,75^2 \cdot 38 = -940,94 \text{ kgm}$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \quad (\text{untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$

$$= 0,04$$

- Lapangan X

$$Mu = 134,38 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{134,38 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 1,68 \text{ kg/cm}^2 = 0,168 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

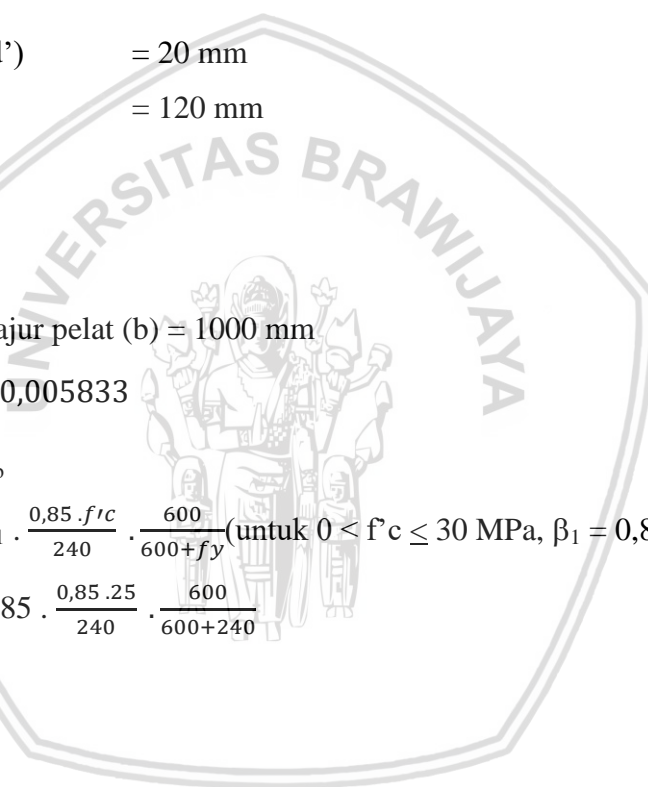
$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,168}{240}} \right)$$

$$= 0,0007$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$



$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Tumpuan X

$$Mu = -134,38 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{134,38 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 1,68 \text{ kg/cm}^2 = 0,168 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,168}{240}} \right)$$

$$= 0,0007$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$As = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- Lapangan Y

$$Mu = 940,94 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{940,94 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 11,76 \text{ kg/cm}^2 = 1,176 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,176}{240}} \right)$$

$$= 0,00504$$

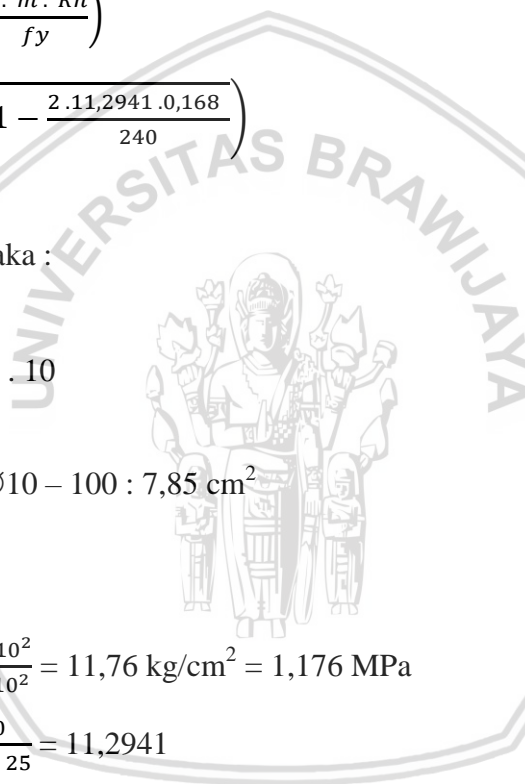
Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$As = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$



- **Tumpuan Y**

$$Mu = -940,94 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{940,94 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 11,76 \text{ kg/cm}^2 = 1,176 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

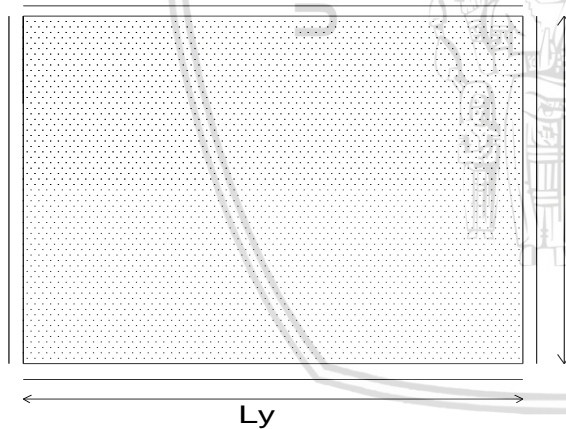
$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,877}{240}} \right) \\ &= 0,00504 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} As &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 5,833 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

• **Plat H**



Gambar 4.11 Plat H

$$Lx = 150 \text{ cm} = 1,5 \text{ m}$$

$$Ly = 350 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$$

$$Ly / Lx = 2,3$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240}$$

$$= 0,04$$

Beban berfaktor $q_u = 1,2 D + 1,6 L$

$$= 1,2 \cdot 423 + 1,6 \cdot 650$$

$$= 1547,6 \text{ kg/m}^2$$

$$M_u = 1/10 \cdot 1547,6 \cdot 3,5^2$$

$$= 1895,81 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1895,81 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 22,95 \text{ kg/cm}^2 = 2,295 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 2,295}{240}} \right)$$

$$= 0,01$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,01 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 10,1 \text{ cm}^2$$

$$A_s' = 0,002 \cdot b \cdot h$$

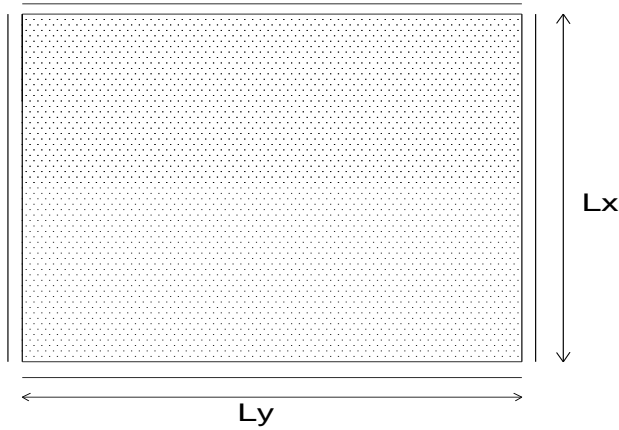
$$= 0,002 \cdot 100 \cdot 12$$

$$= 2,4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan dipakai} : \text{Ø}10 - 75 = 10,47 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tulangan bagi} : \text{Ø}10 - 275 = 2,6 \text{ cm}^2$$

- **Plat I**



Gambar 4.12 Plat I

$$Lx = 278 \text{ cm} = 2,78 \text{ m}$$

$$Ly = 450 \text{ cm} = 4,5 \text{ m}$$

$$Ly / Lx = 1,6$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow Mu = 0,001 \cdot Wu \cdot Lx^2 \cdot K$

Nilai K untuk $Ly/Lx = 1,6$ (Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202).

$$MLx = 58$$

$$MTx = 58$$

$$MLy = 36$$

$$MTy = 36$$

Sehingga nilai Mu =

$$MLx = 0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 2,78^2 \cdot 58 = 693,7 \text{ kgm}$$

$$MLy = 0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 36 = 1128,2 \text{ kgm}$$

$$MTx = -0,001 \cdot q \cdot Lx^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 2,78^2 \cdot 58 = -693,7 \text{ kgm}$$

$$MTy = -0,001 \cdot q \cdot Ly^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4,5^2 \cdot 36 = -1128,2 \text{ kgm}$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600+f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85) \\
&= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600+240} \\
&= 0,04
\end{aligned}$$

- **Lapangan X**

$$Mu = 693,7 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{693,7 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,67 \text{ kg/cm}^2 = 0,867 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,867}{240}} \right) \\
&= 0,0036
\end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
&= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10 \\
&= 5,833 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Tumpuan X**

$$Mu = -693,7 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{693,7 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 8,67 \text{ kg/cm}^2 = 0,867 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned}
\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
&= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,867}{240}} \right) \\
&= 0,0036
\end{aligned}$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
&= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10
\end{aligned}$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Lapangan Y**

$$Mu = 1128,2 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1128,2 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,1 \text{ kg/cm}^2 = 1,41 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,41}{240}} \right)$$

$$= 0,006$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$As = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,006 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 6 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Tumpuan Y**

$$Mu = -1128,2 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1128,2 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,1 \text{ kg/cm}^2 = 1,41 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,41}{240}} \right)$$

$$= 0,006$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$As = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

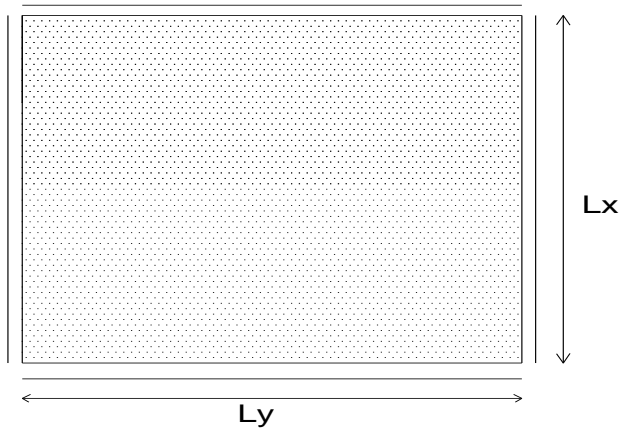
$$= 0,006 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 6 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$



• **Plat J**



Gambar 4.13 Plat J

$$L_x = 278 \text{ cm} = 2,78 \text{ m}$$

$$L_y = 400 \text{ cm} = 4 \text{ m}$$

$$L_y / L_x = 1,6$$

Statika plat dapat dihitung sebagai berikut $\rightarrow \mathbf{Mu} = \mathbf{0,001} \cdot \mathbf{Wu} \cdot \mathbf{Lx^2} \cdot \mathbf{K}$

Nilai K untuk $L_y/L_x = 1,4$ (*Grafik dan Tabel PBI 1971 hal. 202*).

$$M_{Lx} = 53$$

$$M_{Tx} = 53$$

$$M_{Ly} = 38$$

$$M_{Ty} = 38$$

Sehingga nilai $M_u =$

$$M_{Lx} = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 2,78^2 \cdot 53 = 633,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Ly} = 0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = 0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = 940,94 \text{ kgm}$$

$$M_{Tx} = -0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 2,78^2 \cdot 53 = -633,9 \text{ kgm}$$

$$M_{Ty} = -0,001 \cdot q \cdot L_y^2 \cdot K = -0,001 \cdot 1547,6 \cdot 4^2 \cdot 38 = -940,94 \text{ kgm}$$

Penulangan

$$\text{Tebal selimut beton (d')} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat h} = 120 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 120 - 20$$

$$= 100 \text{ mm}$$

Lebar satu satuan lajur pelat (b) = 1000 mm

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,005833$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$



$$= 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{0,85 \cdot f'c}{240} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \text{ (untuk } 0 < f'c \leq 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85)$$

$$= 0,75 \cdot 0,85 \cdot \frac{0,85 \cdot 25}{240} \cdot \frac{600}{600 + 240}$$

$$= 0,04$$

- **Lapangan X**

$$M_u = 633,9 \text{ kg m}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{633,9 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 7,92 \text{ kg/cm}^2 = 0,792 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,792}{240}} \right)$$

$$= 0,0036$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Tumpuan X**

$$M_u = -633,9 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{633,9 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 7,92 \text{ kg/cm}^2 = 0,792 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 0,792}{240}} \right)$$

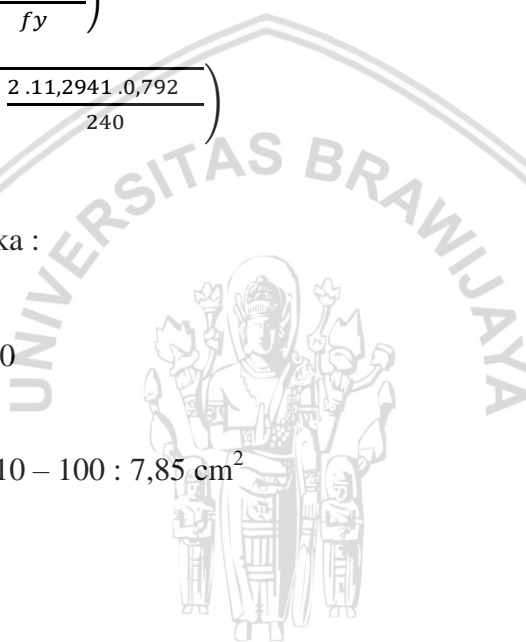
$$= 0,0036$$

Karena $\rho < \rho_{\min}$, maka :

$$A_s = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,005833 \cdot 100 \cdot 10$$

$$= 5,833 \text{ cm}^2$$



Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Lapangan Y**

$$Mu = 1128,2 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1128,2 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,1 \text{ kg/cm}^2 = 1,41 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,41}{240}} \right) \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

- **Tumpuan Y**

$$Mu = -1128,2 \text{ kgm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1128,2 \cdot 10^2}{0,8 \cdot 100 \cdot 10^2} = 14,1 \text{ kg/cm}^2 = 1,41 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{240}{0,85 \cdot 25} = 11,2941$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{11,2941} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 11,2941 \cdot 1,41}{240}} \right) \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

Karena $\rho > \rho_{\min}$, maka :

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 100 \cdot 10 \\ &= 6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan dipakai : $\emptyset 10 - 100 : 7,85 \text{ cm}^2$

4.2 Perencanaan Pembebanan Struktur

4.2.1 Beban Mati

Dalam peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), telah diatur beban mati yang ada pada gedung sebagai berikut:

Berat sendiri baja profil	= 7850 kg/m ³
Berat isi beton	= 2400 kg/m ³
Berat spesi per cm tebal	= 21 kg/m ²
Berat keramik	= 24 kg/m ²
Berat pasangan bata ringan	= 300 kg/m ²
Berat plafond	= 11 kg/m ²
Berat instalasi gedung	= 25 kg/m ²

4.2.2 Beban Hidup

Sesuai dengan peraturan pembebanan Beton Bertulang Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983), beban mati diatur sebagai berikut:

Ruang kuliah	= 250 kg/m ³
Ruang pertemuan	= 400 kg/m ³

- Perhitungan Pembebanan Pelat

Direncanakan:

Tebal pelat lantai	= 12 cm
Tebal pelat atap	= 10 cm
Tebal spesi	= 3 cm
Tebal keramik	= 1 cm
Beban hidup pelat lantai (beban guna)	= 250 kg/m ²
Beban hidup pelat atap	= 100 kg/m ²

a. Beban pelat sebelum komposit

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

berat sendiri = 1 selfweight pelat

2. Beban hidup pelat lantai dan atap

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 100 kg/m²

b. Beban pelat setelah komposit

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

berat sendiri	= 1 selfweight pelat	
berat spesi	= 3 . 21	= 63 kg/m ²
berat keramik	= 1 . 24	= 24 kg/m ²
plafond	= 11	= 11 kg/m ²
berat instalasi		= 25 kg/m ²
Total berat		<u>= 123 kg/m²</u>

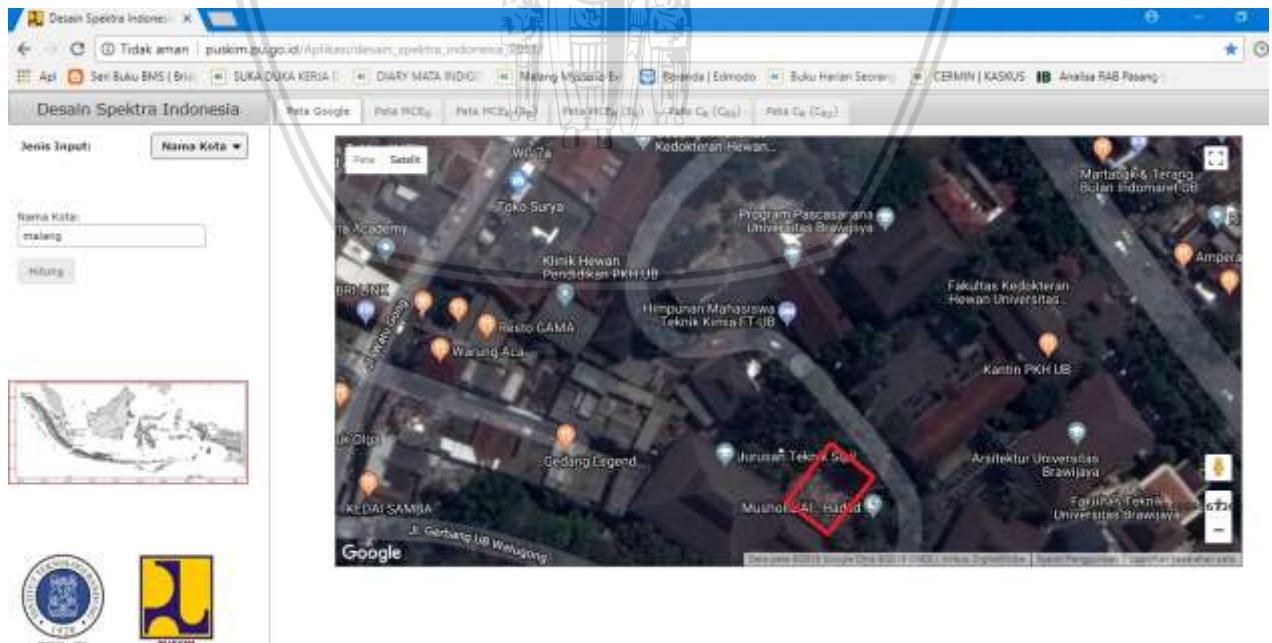
2. Beban hidup pelat lantai (beban guna)
 - Beban guna Ruang kuliah sebesar 250 kg/m²
 - Beban guna Ruang pertemuan sebesar 400 kg/m²

3. Beban hidup pelat atap

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 100 kg/m².

4.3 Analisis Beban Gempa

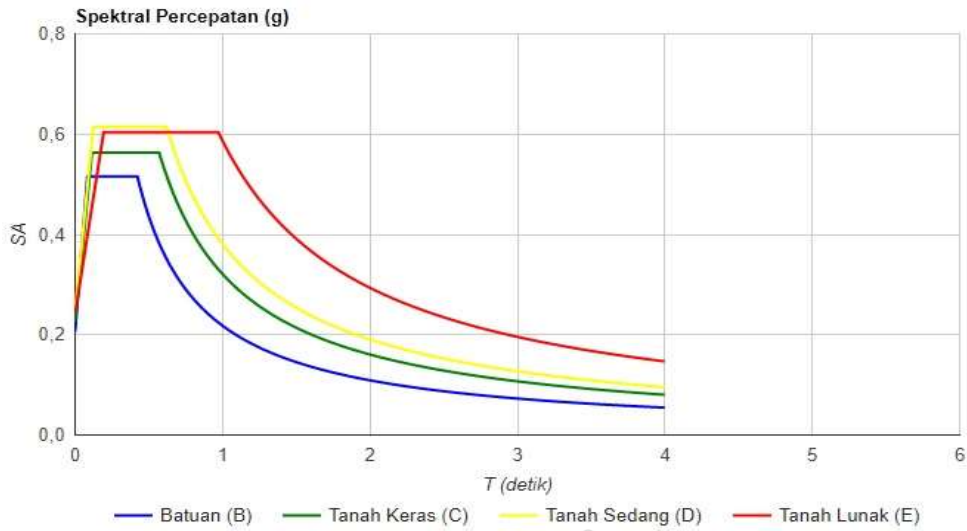
Untuk perhitungan beban gempa pada gedung Gedung Laboratorium kebencanaan menggunakan analisis spektrum repons desain yang didapat dari PU: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. Caranya yaitu dengan memasukan data koordinat lokasi ataupun nama kota yang akan ditinjau, seperti berikut:



Gambar 4.14 Peta Lokasi Gedung menurut puskim PU.

Setelah itu didapatkan grafik respon spektra :





Gambar 4.15 Respon spectral percepatan

Data yang diperoleh Pada Tanah Sedang di Kota Malang :

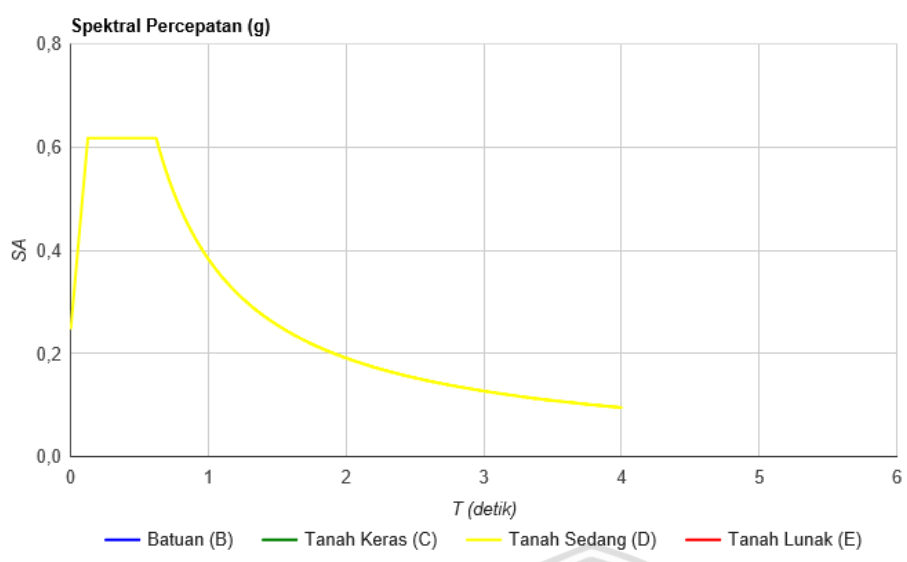
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.399
S _s (g)	0.781
S ₁ (g)	0.330
C _{RS}	1.003
C _{RI}	0.921
F _{PGA}	1.101
F _A	1.188
F _V	1.740
PSA (g)	0.439
S _{MS} (g)	0.927
S _{M1} (g)	0.574
S _{DS} (g)	0.618
S _{D1} (g)	0.383
T ₀ (detik)	0.124
T _S (detik)	0.619

Koordinat Spektrum respons desain:

T (detik)	SA (g)
T ₀	0.247
T _S	0.618
T _S +0	0.618
T _S +0.1	0.532



T (detik)	SA (g)
T _S +0.2	0.467
T _S +0.3	0.416
T _S +0.4	0.376
T _S +0.5	0.342
T _S +0.6	0.314
T _S +0.7	0.290
T _S +0.8	0.270
T _S +0.9	0.252
T _S +1	0.236
T _S +1.1	0.223
T _S +1.2	0.210
T _S +1.3	0.199
T _S +1.4	0.190
T _S +1.5	0.181
T _S +1.6	0.172
T _S +1.7	0.165
T _S +1.8	0.158
T _S +1.9	0.152
T _S +2	0.146
T _S +2.1	0.141
T _S +2.2	0.136
T _S +2.3	0.131
T _S +2.4	0.127
T _S +2.5	0.123
T _S +2.6	0.119
T _S +2.7	0.115
T _S +2.8	0.112
T _S +2.9	0.109
T _S +3	0.106
T _S +3.1	0.103
T _S +3.2	0.100
T _S +3,3	0.098
4	0.096
-	-



Gambar 4.16 Respons spektrum desain

4.4 Beban Kombinasi

Adapun beban-beban yang diperhitungkan dalam perencanaan struktur Gedung ini antara lain sebagai berikut :

- 5. Beban Mati
- 6. Beban Hidup
- 7. Beban Gempa

Beban-beban diatas haruslah mampu memikul beban kombinasi yang ada. Beban Kombinasi mengacu kepada peraturan SNI 03-1729-2002

- 8. 1,4 D
- 9. 1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r atau R)
- 10. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5W)
- 11. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r atau R)
- 12. 1,2 D + 1,0 E + L
- 13. 0,9 D + 1,0 W
- 14. 0,9 D + 1,0 E

Keterangan:

- D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen
- L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung
- A : beban atap
- R : beban hidup
- W : beban angin

E : beban gempa

4.5 Pemodelan pada SAP2000 v19

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan untuk memodelkan struktur pada aplikasi SAP2000 v19, yaitu dengan :

a. *Menyamakan Satuan*

Satuan dipilih sesuai dengan apa yang akan digunakan. Agar tidak terjadi kekeliruan pada saat memasukkan bentang ataupun beban, maka satuan harus disamakan.

b. *Sistem Grid dan Lantai*

Grid digunakan untuk mempermudah permodelan 3D. Caranya dengan memperhatikan kondisi sumbu x,y,z terlebih dahulu. Setelah itu menginput bentang yang akan digunakan.

c. *Define → Materials*

Digunakan untuk mendefinisikan material, mutu bahan dan peraturan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur.

d. *Define → Section Properties*

Berisi data dimensi balok, kolom dan pelat. Juga data-data dari elemen struktur batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis melalui *property*, dan momen inersia dari setiap elemen.

e. *Function → Respons Spektrum*

Sebagai tempat input data gempa yang akan digunakan yang didapat dari data web puskim Pekerjaan Umum.

f. *Define → Load Patterns*

Memuat informasi tentang data-data dari elemen batang tiga dimensi pada struktur yang dianalisis meliputi beban yang bekerja pada elemen. Beban yang bekerja dari analisis struktur yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

- Dead load
- Live load
- Quake
- Other

g. *Define → Load Combination*

Memuat informasi mengenai kombinasi pembebanan yang digunakan pada analisis struktur utama.

h. *Analyze* → *Run Analyze*

Memuat informasi untuk mendapatkan hasil dari data input yang telah dimasukkan.

4.6 Perencanaan Balok

Direncanakan pada balok induk menggunakan profil 14' WF 14x12 dengan data-data sebagai berikut :

b_f (lebar bawah)	= 305 mm	r (corner radius)	= 15,2 mm
d (tinggi profil)	= 360 mm	$h = d - 2(tf + r)$	= 290,08 mm
t_f (tebal sayap)	= 19,76 mm	I_x	= 386500000 mm ⁴
t_w (tebal badan)	= 11,46 mm	I_y	= 55570000 mm ⁴
A_s	= 15940 mm ²		
f_y (BJ 50)	= 290 Mpa		
f_u (BJ 50)	= 500 Mpa		
E_s	= 200000 Mpa		
f'_c	= 25 Mpa		
Z_x (Modulus Plastis)	$= \frac{t_w \cdot d^2}{4} + ((bf - t_w) \cdot (d - t_f) \cdot t_f)$		
	$= \frac{11,46 \cdot 360^2}{4} + ((305 - 11,46) \cdot (360 - 19,76) \cdot 19,76)$		
	$= 2344815,22 \text{ mm}^3$		

Cek kelangsingan penampang profil 14' WF 14x12

- Tekuk lokal sayap:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,9827$$

$$\lambda = \frac{bf}{2t_f} = \frac{360}{2(19,76)} = 9,1093$$

$$\lambda = 9,1093 < \lambda_p = 9,9827 \quad \rightarrow \text{Sayap Kompak}$$

- Tekuk lokal badan:

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,653$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2(r + t_f)}{11,46} = \frac{360 - 2(15,2 + 19,76)}{11,46} = \frac{290,08}{11,46} = 25,31$$

$$\lambda = 25,31 < \lambda_p = 98,653 \quad \rightarrow \text{Badan kompak}$$

Direncanakan pada balok anak menggunakan profil 10' WF 10x8 dengan data-data sebagai berikut :

- | | | | |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|
| b_f (lebar bawah) | = 204 mm | t_w (tebal badan) | = 8,89 mm |
| d (tinggi profil) | = 257 mm | r (corner radius) | = 15,2 mm |
| t_f (tebal sayap) | = 15,7 mm | h | = $d - 2(t_f + r)$ = 195,2 mm |
| I_x | = 103500000 mm ⁴ | E_s | = 200000 Mpa |
| I_y | = 22150000 mm ⁴ | f'_c | = 25 Mpa |
| A_s | = 8540 mm ² | f_u (BJ 50) | = 500 Mpa |
| f_y (BJ 50) | = 290 Mpa | | |

$$Z_x \text{ (Modulus Plastis)} = \frac{t_w \cdot d^2}{4} + ((b_f - t_w) \cdot (d - t_f) \cdot t_f)$$

$$= \frac{8,89 \cdot 257^2}{4} + ((204 - 8,89) \cdot (257 - 15,7) \cdot 15,7)$$

$$= 885950,5776 \text{ mm}^3$$

Cek kelangsingan penampang profil 10' WF 10x8

- Tekuk lokal sayap

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,9827$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{204}{2 \cdot 15,7} = 6,4968$$

$$\lambda = 6,4968 < \lambda_p = 9,9827 \rightarrow \text{Sayap kompak}$$

- Tekuk lokal badan

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,653$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{d - 2(r + t_f)}{8,89} = \frac{257 - 2(15,2 + 15,7)}{8,89} = \frac{195,2}{8,89} = 21,9573$$

$$\lambda = 21,9573 < \lambda_p = 98,653 \rightarrow \text{Badan kompak}$$

Tabel 4.1.
Rekapitulasi Kelangsingan Penampang Balok

Balok	Profil	Penampang
Balok Induk (B1)	14' WF 14x12	Kompak
Balok Anak (B2)	10' WF 10x8	Kompak



4.6.1 Perencanaan Balok Sebelum Komposit

a. Kuat lentur

- Balok Induk Profil 14' WF 14x12

$$M_{u \max} = 22887,4 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 2344815,22 \cdot 290 \\ &= 679996413,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u \leq \Phi_b \cdot M_n$$

$$22887,4 \leq 0,85 \cdot 679996413,8$$

$$22887,4 \text{ kgm} \leq 57799,7 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

- Balok Anak Profil 10' WF 10x8

$$M_{u \max} = 5798,57 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 885950,5776 \cdot 290 \\ &= 256925667,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u \leq \Phi_b \cdot M_n$$

$$5798,57 \leq 0,85 \cdot 256925667,5$$

$$5798,57 \text{ kgm} \leq 21838,7 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

Tabel 4.2.

Rekapitulasi kuat lentur balok sebelum komposit

Balok	Profil	Mu (Kgm)	ΦM_n (Kgm)	Kontrol ($M_u \leq \Phi \cdot M_n$)
B1	14' WF 14x12	22887,400	57799,695	OK
B2	10' WF 10x8	5798,570	21838,682	OK

b. Kuat Geser

- Balok Induk Profil 14' WF 14x12

$$V_{u \text{ maks}} = 12459,86 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{b_f - t_w}{2} + t_w \\ &= \frac{305 - 11,46}{2} + 11,46 \\ &= 158,23 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} k_n &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{158,23}{290,08}\right)^2} \\ &= 21,8 \end{aligned}$$

Asumsikan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

$$\frac{290,08}{11,46} \leq 1,10 \sqrt{\frac{21,8 \cdot 200000}{290}}$$

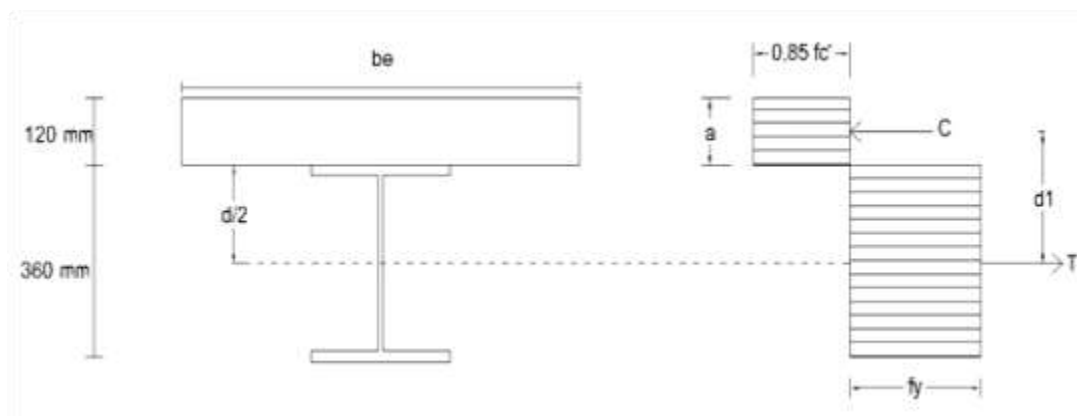
$$25,31 \leq 134,89$$

Jadi asumsi benar, sehingga:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w) \\ &= 0,6 \cdot 290 \cdot ((360 - 2 \cdot 19,76) \cdot 11,46) \\ &= 557736,34 \text{ N} \\ &= 56872,37 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \Phi_b \cdot V_n \\ 12459,86 &\leq 0,9 \cdot 56872,37 \\ 12459,86 \text{ kg} &\leq 51185,14 \text{ kg} \end{aligned}$$

OK



Gambar 4.17 Distribusi tegangan plastis lentur balok induk sebelum komposit

- Balok Anak Profil 10' WF 10x8

$$V_{u \text{ maks}} = 3661,73 \text{ kg}$$

$$a = \frac{b_f - t_w}{2} + t_w$$

$$= \frac{204 - 8,89}{2} + 8,89$$

$$= 106,44 \text{ mm}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{106,44}{195,2}\right)^2}$$

$$= 21,81$$

Asumsikan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

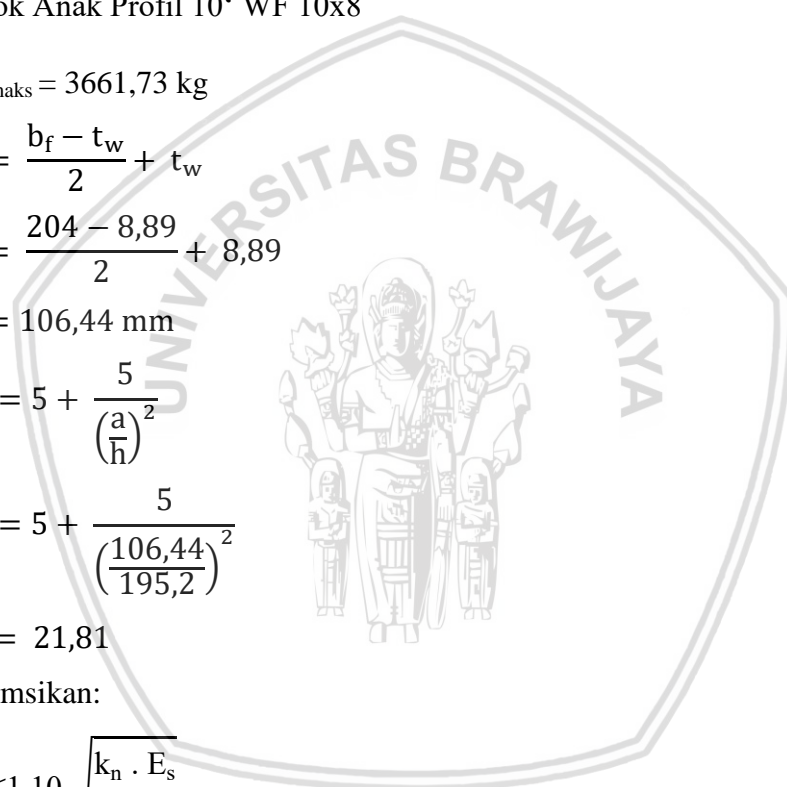
$$\frac{195,2}{8,89} \leq 1,10 \sqrt{\frac{21,81 \cdot 200000}{290}}$$

$$21,96 \leq 134,92$$

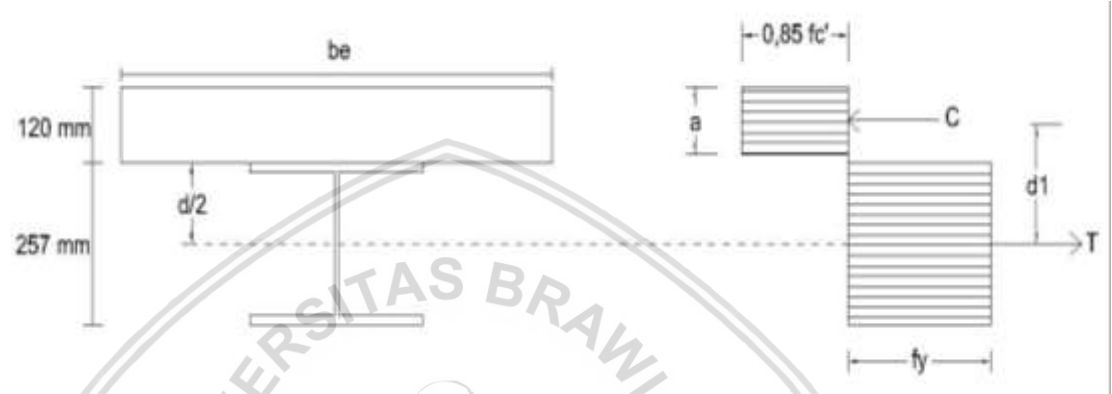
Jadi asumsi benar, sehingga:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w)$$



$$\begin{aligned}
 &= 0,6 \cdot 290 \cdot ((257 - 2 \cdot 15,4) \cdot 8,89) \\
 &= 304568 \text{ N} \\
 &= 31056,8 \text{ Kg} \\
 V_u &\leq \Phi_b \cdot V_n \\
 3661,73 &\leq 0,9 \cdot 31056,8 \\
 3661,73 \text{ kg} &\leq 27951,1 \text{ kg} \qquad \qquad \qquad \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.18 Distribusi tegangan plastis lentur pada balok anak sebelum komposit

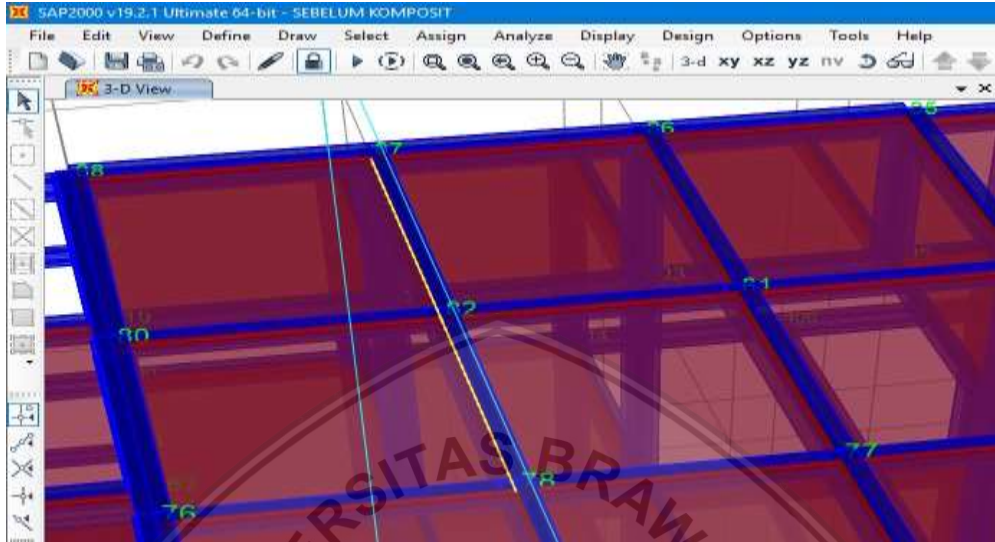
Tabel 4.3. Rekapitulasi kuat geser balok sebelum komposit

Balok	Profil	V_u (Kg)	ΦV_n (Kg)	Kontrol ($V_u \leq \Phi_b V_n$)
B1	14' WF 14x12	12459,86	51185,14	OK
B2	10' WF 10x8	3661,73	27951,12	OK



c. Lentutan

Menurut Tabel 6.4-1 SNI 03-1729-2002, batas lentutan untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah $L/360$, dengan L adalah bentang balok. Pada hal ini, L berada pada joint 82.



Gambar 4.19 Bentang Balok yang mengalami lentutan terbesar

$$\begin{aligned} \text{Panjang bentang (L)} &= 8,5 \text{ m} \\ &= 8500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentutan maksimum } (\Delta_{\text{maks}}) &= 0,01424 \text{ m} \\ &= 14,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentutan ijin } (\Delta_{\text{ijin}}) &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{8500}{360} \\ &= 23,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{maks}} &\leq \Delta_{\text{ijin}} \\ 14,24 \text{ mm} &\leq 23,61 \text{ mm} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

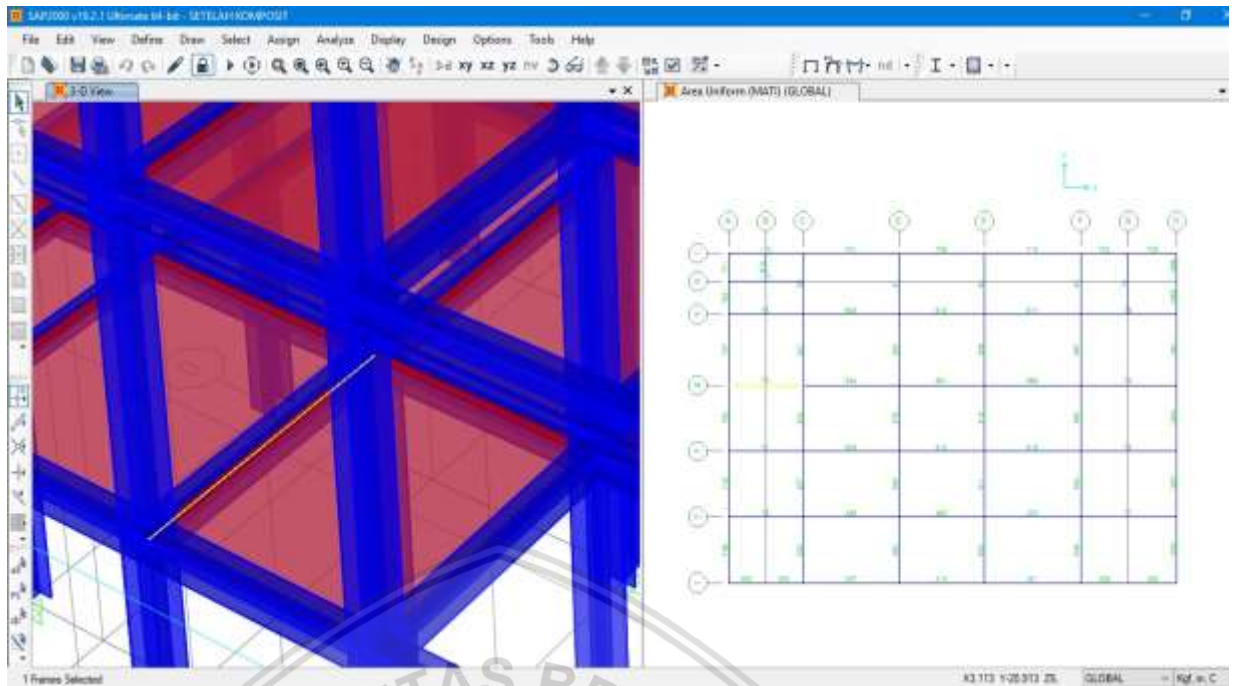
4.6.2 Perencanaan Balok Setelah Komposit

a. Kuat Lentur

- Kuat lentur positif pada profil 14' WF 14x12

$$M_{u \text{ maks}} = 36883,31 \text{ kgm}$$





Gambar 4.20 Momen ultimate maksimum positif pada profil 14' WF14x12 terjadi pada frame 70

Menentukan lebar efektif

$$b_e = L/4 = 3500/4 = 875 \text{ mm}$$

$$b_e = b_o = L = 3500 \text{ mm}$$

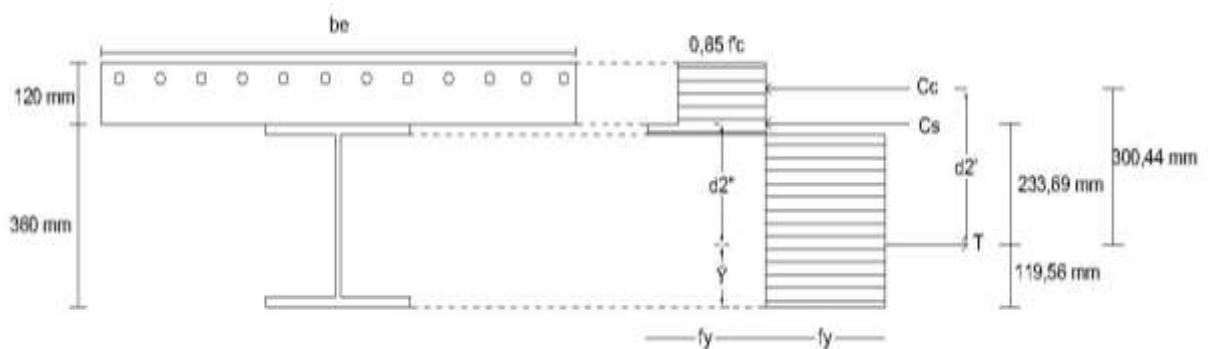
Jadi lebar efektifnya = 875 mm (diambil yang terkecil)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b_e}$$

$$a = \frac{15940 \cdot 290}{0,85 \cdot 25 \cdot 875}$$

$$a = 248,61 \text{ mm} > 120 \text{ mm}$$

Sumbu netral plastis (PNA) jatuh pada profil baja, sehingga:



Gambar 4.21 Distribusi tegangan plastis lentur positif balok induk setelah komposit

$$\begin{aligned} C_c &= 0.85 \cdot f'_c \cdot t_s \cdot b_E \\ &= 0.85 \cdot 25 \cdot 120 \cdot 875 \\ &= 2231250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T' = C_c + C_s$$

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$ yaitu

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s$$

Sehingga ;

$$C_c + C_s = A_s \cdot f_y - C_s$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2}$$

$$C_s = \frac{15940 \cdot 290 - 2231250}{2}$$

$$C_s = 1195675 \text{ N}$$

Tinggi blok tekan pada sayap baja dihitung sebagai berikut :

$$df = \frac{C_s}{bf \cdot f_y}$$

$$df = \frac{1195675}{305 \cdot 250}$$

$$df = 13,52 \text{ mm} < t_f = 19,76 \text{ mm}$$

Letak titik berat dari profil baja diukur dari serat bawah profil

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \frac{A_s \cdot (0.5 \cdot d) - df \cdot bf \cdot (d - 0.5 \cdot df)}{A_s - df \cdot bf} \\ &= \frac{15940 \cdot (0,5 \cdot 360) - 13,52 \cdot 305 \cdot (360 - 0,5 \cdot 13,52)}{15940 - 13,52 \cdot 305} \\ &= 119,56 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$M_n = C_c \cdot d2' + C_s \cdot d2''$$

$$\begin{aligned} d2' &= (d - \bar{Y}) + \frac{ts}{2} \\ &= (360 - 119,56) + \frac{120}{2} \\ &= 300,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d2'' &= (d - \bar{Y}) - \frac{df}{2} \\ &= (360 - 119,56) + \frac{13,52}{2} \end{aligned}$$

$$= 233,69 \text{ mm}$$

$$M_n = 2231250 \cdot 300,44 + 1195675 \cdot 233,69$$

$$= 671563422752 \text{ Nmm}$$

$$= 67156,34 \text{ kgm}$$

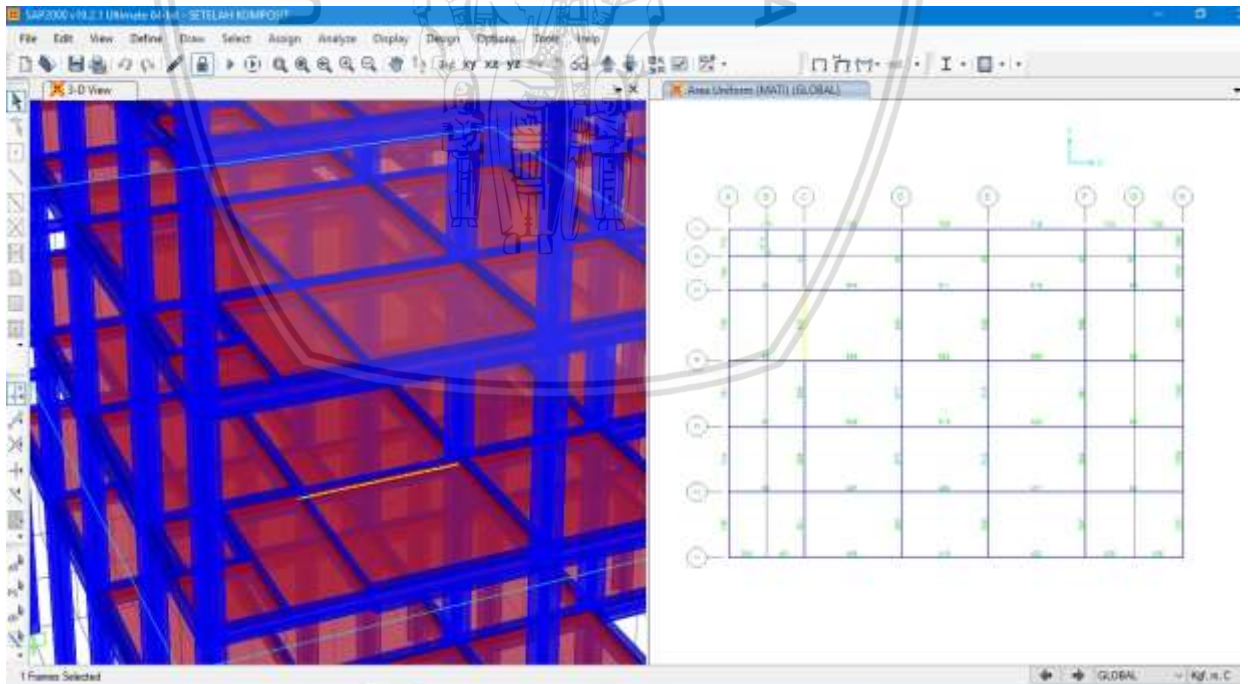
$$M_u \leq \Phi_b \cdot M_n$$

$$36883,31 \leq 0,85 \cdot 67156,34$$

$$36883,31 \text{ kgm} \leq 57082,89 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

- Kuat lentur positif pada profil 10' WF 10x8

$$M_{u \text{ maks}} = 12714,83 \text{ kgm}$$



Gambar 4.22 Momen ultimate maksimum positif pada profil 10' WF 10x8 terjadi pada frame 842

Menentukan lebar efektif

$$b_e = L/4 = 3230/4 = 807,5 \text{ mm}$$

$$b_e = b_o = L = 3230 \text{ mm}$$

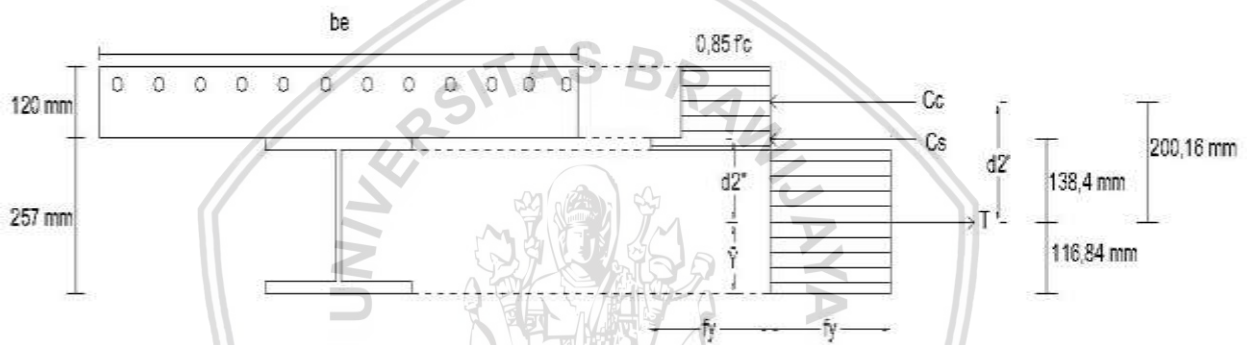
Jadi lebar efektifnya = 807,5 mm (diambil yang terkecil)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b_e}$$

$$a = \frac{8540 \cdot 290}{0.85 \cdot 25 \cdot 807,5}$$

$$a = 144,33 \text{ mm} > 120 \text{ mm}$$

Sumbu netral plastis (PNA) jatuh pada profil baja, sehingga:



Gambar 4.23 Distribusi tegangan plastis lentur positif pada balok anak setelah komposit

$$C_c = 0.85 \cdot f'_c \cdot t_s \cdot b_E$$

$$= 0.85 \cdot 25 \cdot 120 \cdot 807,5$$

$$= 2059125 \text{ N}$$

$$T' = C_c + C_s$$

Besarnya T' sekarang lebih kecil daripada $A_s \cdot f_y$ yaitu

$$T' = A_s \cdot f_y - C_s$$

Sehingga ;

$$C_c + C_s = A_s \cdot f_y - C_s$$

$$C_s = \frac{A_s \cdot f_y - C_c}{2}$$

$$C_s = \frac{8540 \cdot 290 - 2059125}{2}$$

$$C_s = 208737,5 \text{ N}$$

Tinggi blok tekan pada sayap baja dihitung sebagai berikut

$$df = \frac{C_s}{bf \cdot f_y}$$



$$df = \frac{208737,5}{204 \cdot 290}$$

$$df = 3,53 \text{ mm} < t_f = 15,7 \text{ mm}$$

Letak titik berat dari profil baja diukur dari serat bawah profil

$$\begin{aligned} \bar{Y} &= \frac{As \cdot (0,5 \cdot d) - df \cdot bf \cdot (d - 0,5 \cdot df)}{As - df \cdot bf} \\ &= \frac{8540 \cdot (0,5 \cdot 257) - 3,53 \cdot 204 \cdot (257 - 0,5 \cdot 3,53)}{8540 - 3,53 \cdot 204} \\ &= 116,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$Mn = Cc \cdot d2' + Cs \cdot d2''$$

$$d2' = (d - \bar{Y}) + \frac{ts}{2}$$

$$\begin{aligned} &= (257 - 116,84) + \frac{120}{2} \\ &= 200,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d2'' = (d - \bar{Y}) - \frac{df}{2}$$

$$\begin{aligned} &= (267 - 116,84) + \frac{3,53}{2} \\ &= 138,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= 2059125 \cdot 200,16 + 208737,5 \cdot 138,4 \\ &= 412373543,14 \text{ Nmm} \\ &= 41237,35 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$Mu \leq \Phi_b \cdot Mn$$

$$12714,83 \leq 0,85 \cdot 41237,35$$

$$12714,83 \text{ kgm} \leq 35051,75 \text{ kgm}$$

OK

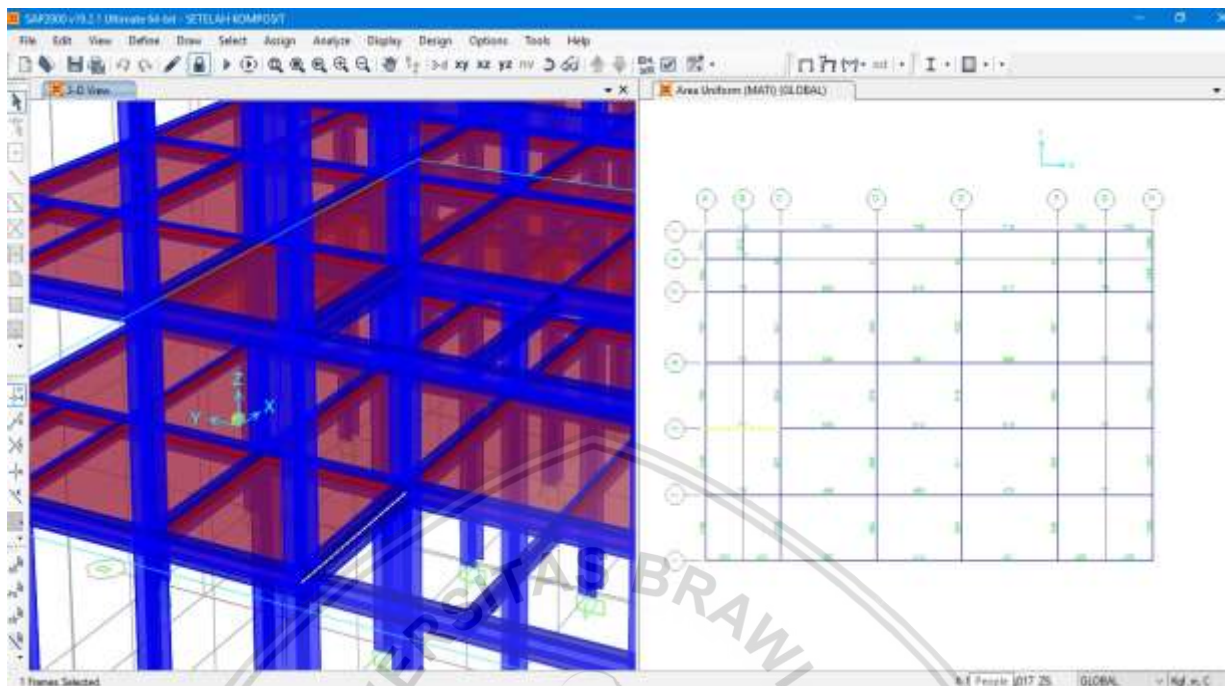
Tabel 4.4.
Rekapitulasi kuat lentur positif

Balok	Profil	Mu(+) Kgm	ΦMn(+) Kgm	Kontrol
Balok Induk (B1)	14' WF 14x12	36883,31	57082,891	OK
Balok Anak (B2)	10' WF 10x8	12714,83	35051,751	OK



- Kuat lentur negatif pada profil 14' WF 14x12

$$M_{u \text{ maks}} = 40607,59 \text{ kgm}$$



Gambar 4.24 Momen ultimate maximum negatif balok induk pada profil 14' WF 14x12 terjadi pada frame 71

Menentukan tulangan pelat

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{290} = 0,005$$

$$\begin{aligned} A_{c \min} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,005 \cdot 1000 \cdot 120 \\ &= 579,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan Ø10-150 ; $A_{sr} = 524 \text{ mm}^2$

Menentukan gaya Tarik tulangan

$$\begin{aligned} T_{sr} &= n \cdot A_{sr} \cdot f_{yr} \\ &= 12 \cdot 524 \cdot 290 \\ &= 1823520 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{maks}} &= A_s \cdot f_y \\ &= 15940 \cdot 290 \\ &= 4622600 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $C_{\text{maks}} > T_{sr}$ maka sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

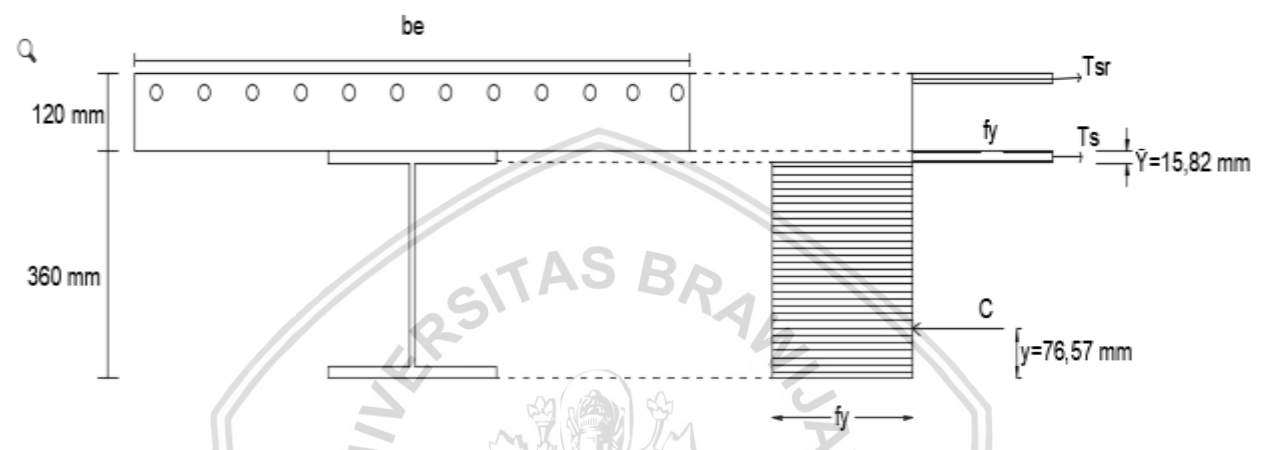
$$T_s = \frac{C_{maks} - T_{sr}}{2}$$

$$= \frac{4622600 - 1823520}{2}$$

$$= 1399540 \text{ N}$$

Jarak sumbu netral plastis dari tepi atas flens

$$\bar{Y} = \frac{T_s}{f_y \cdot b_f} = \frac{1399540}{290 \cdot 305} = 15,82 \text{ mm}$$



Gambar 4.25 Distribusi tegangan plastis lentur negatif balok induk setelah komposit
Menentukan letak garis kerja T_s diukur dari bagian bawah profil

	Luas, A (mm ²)	Lengan, y (mm)	Momen (A.y) (mm ³)
Profil Wf	15940	180	2869200
flens daerah \bar{Y}	6026,80	350,12	2110103,22
	9913,200		759096,784

$$y = \frac{759096,78}{9913,2}$$

$$y = 76,57 \text{ mm}$$

Momen nominal

$$M_{n1} = T_{sr} (d - y \cdot t_s - 20)$$

$$= 1823520 (360 - 76,57 \cdot 120 - 20)$$

$$= 699184352,77 \text{ Nmm}$$

$$= 69918,44 \text{ kgm}$$

$$M_{n2} = T_s (d - y - (\bar{Y}/2))$$

$$= 1399540 (360 - 76,57 - (15,82/2))$$

$$= 385593116,72 \text{ Nmm}$$

$$= 38559,31 \text{ kgm}$$

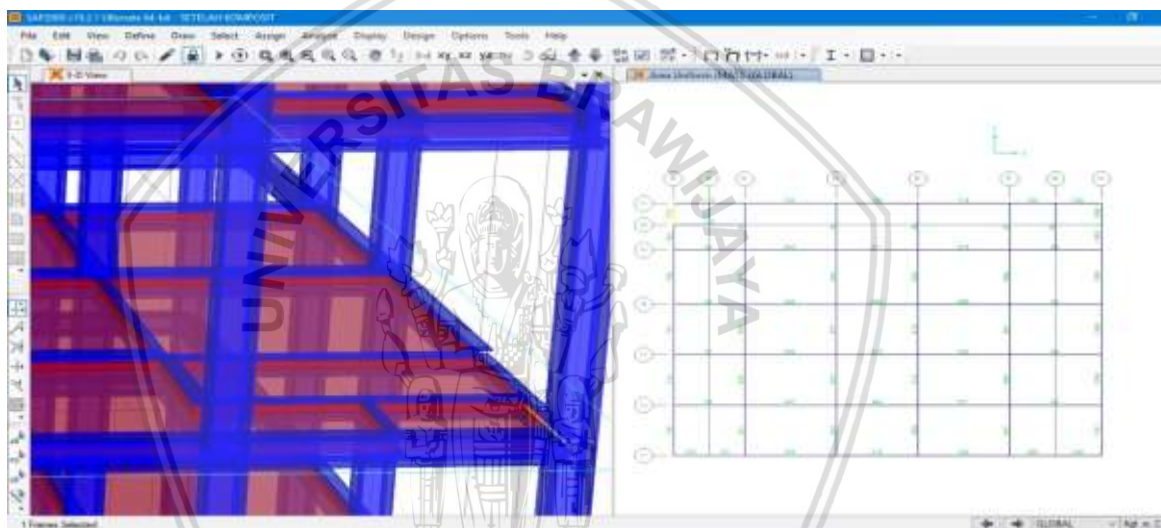


$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\
 &= 69918,44 + 38559,31 \\
 &= 108477,75 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi_b \cdot M_n \\
 40607,59 &\leq 0,85 \cdot 108477,75 \\
 40607,59 \text{ kgm} &\leq 92206,08 \text{ kgm} \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- Kuat lentur negatif pada profil 10' WF 10x8

$$M_{u \text{ maks}} = 14230,33 \text{ kgm}$$



Gambar 4.26 Momen ultimate maksimum negatif pada balok anak profil 10' WF 10x8 terjadi pada frame 772

Menentukan tulangan pelat

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{290} = 0,0055$$

$$\begin{aligned}
 A_{c \min} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\
 &= \rho_{\min} \cdot 1000 \cdot 120 \\
 &= 579,31
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan Ø10-150 ; $A_{sr} = 524 \text{ mm}^2$

Menentukan gaya Tarik tulangan

$$\begin{aligned}
 T_{sr} &= n \cdot A_{sr} \cdot f_{yr} \\
 &= 10 \cdot 524 \cdot 290
 \end{aligned}$$

$$= 1519600 \text{ N}$$

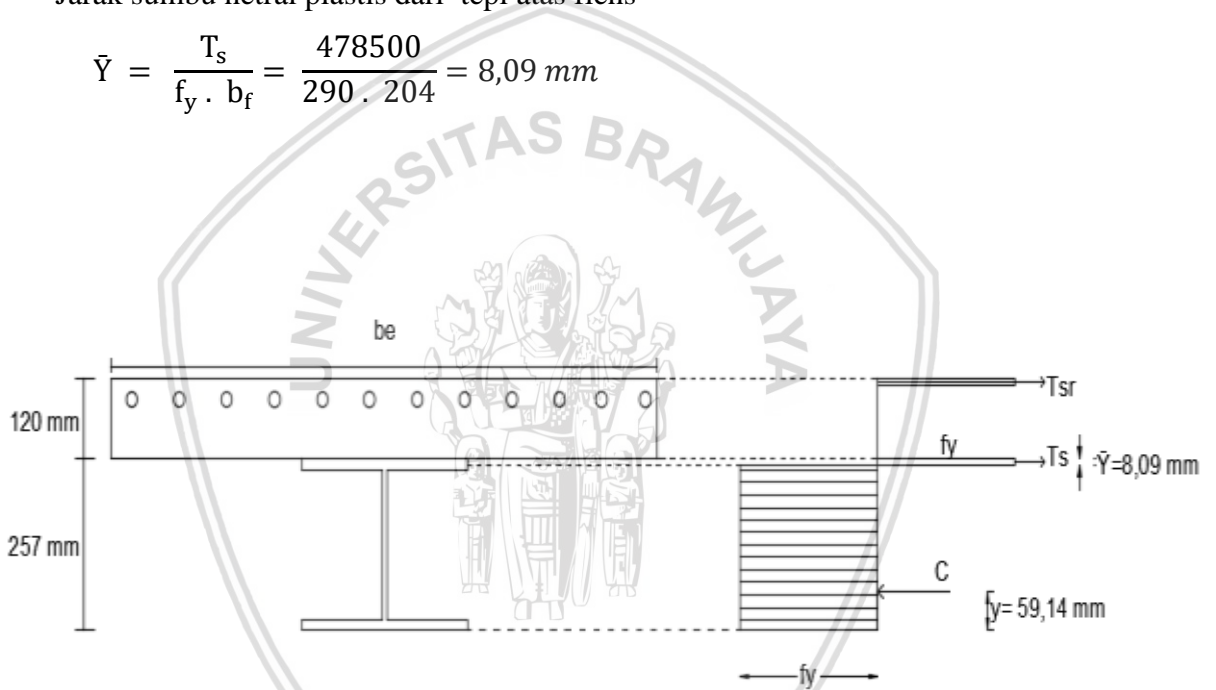
$$\begin{aligned} C_{\text{maks}} &= A_s \cdot f_y \\ &= 8540 \cdot 290 \\ &= 2476600 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena $C_{\text{maks}} > T_{\text{sr}}$ maka sumbu netral plastis jatuh pada profil baja

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{C_{\text{maks}} - T_{\text{sr}}}{2} \\ &= \frac{2476600 - 1519600}{2} \\ &= 478500 \text{ N} \end{aligned}$$

Jarak sumbu netral plastis dari tepi atas flens

$$\bar{Y} = \frac{T_s}{f_y \cdot b_f} = \frac{478500}{290 \cdot 204} = 8,09 \text{ mm}$$



Gambar 4.27 Distribusi tegangan plastis lentur negatif balok anak setelah komposit

Menentukan letak garis kerja T_s diukur dari bagian bawah profil

	Luas, A (mm ²)	Lengan, y (mm)	Momen (A.y) (mm ³)
Profil Wf	8540	128,5	1097390
flens daerah \bar{Y}	3202,80	249,15	797977,62
	5424,431		320793,168

$$y = \frac{320793,17}{5424,431}$$

$$y = 59,14 \text{ mm}$$

Momen nominal

$$M_{n1} = T_{\text{sr}} (d - y \cdot t_s - 20)$$

$$\begin{aligned}
 &= 1519600 (257 - 59,14 \cdot 120 - 20) \\
 &= 452630204,94 \text{ Nmm} \\
 &= 45263,02 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= T_s (d - y - (\bar{Y}/2)) \\
 &= 478500 (257 - 59,14 \cdot (8,09/2)) \\
 &= 92741576,37 \text{ Nmm} \\
 &= 9274,16 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\
 &= 45263,02 + 9274,16 \\
 &= 54537,18 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &\leq \phi_b \cdot M_n \\
 18055,9 &\leq 0,85 \cdot 54537,18 \\
 18055,9 \text{ kgm} &\leq 46356,6 \text{ kgm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Rekapitulasi kuat lentur negatif

Balok	Profil	Mu(-) Kgm	ΦMn(-) Kgm	Kontrol
Balok Induk (B1)	14' WF 14x12	40607,59	92206,08	OK
Balok Anak (B2)	10' WF 10x8	18055,90	46356,60	OK

a. Kuat geser

- Balok Induk profil 14' WF 14x12

$$\begin{aligned}
 V_{u \text{ maks}} &= 22912,38 \text{ kg} \\
 a &= \frac{b_f - t_w}{2} + t_w \\
 &= \frac{305 - 11,46}{2} + 11,46 \\
 &= 158,23 \text{ mm} \\
 k_n &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{\bar{h}}\right)^2}
 \end{aligned}$$



$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{158,23}{290,08}\right)^2}$$

$$= 21,8$$

Asumsikan :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

$$\frac{290,08}{11,46} \leq 1,10 \sqrt{\frac{21,8 \cdot 200000}{290}}$$

$$25,31 \leq 134,88$$

Jadi asumsi benar, sehingga:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w) \\ &= 0,6 \cdot 290 \cdot ((360 - 2 \cdot 15,7) \cdot) \\ &= 639049,94 \text{ N} \\ &= 65153,92 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \Phi_b \cdot V_n \\ 22912,38 &\leq 0,9 \cdot 65153,92 \end{aligned}$$

$$22912,38 \text{ kg} \leq 58647,53 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

- Balok 10' WF 10x8

$$V_{u \text{ maks}} = 12871,81 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{b_f - t_w}{2} + t_w \\ &= \frac{204 - 8,89}{2} + 8,89 \\ &= 106,44 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$= 5 + \frac{5}{\left(\frac{106,44}{195,2}\right)^2}$$

$$= 21,8$$

Asumsikan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

$$\frac{195,2}{8,89} \leq 1,10 \sqrt{\frac{21,8 \cdot 200000}{290}}$$

$$21,96 \leq 134,88$$

Jadi asumsi benar, sehingga:

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w$$

$$= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w)$$

$$= 0,6 \cdot 290 \cdot ((257 - 2 \cdot 15,7) \cdot 8,89)$$

$$= 348971,62 \text{ N}$$

$$= 35584,64 \text{ kg}$$

$$V_u \leq \Phi_b \cdot V_n$$

$$12871,81 \leq 0,9 \cdot 35584,64$$

$$12871,81 \text{ kg} \leq 32026,17 \text{ kg} \quad \text{OK}$$

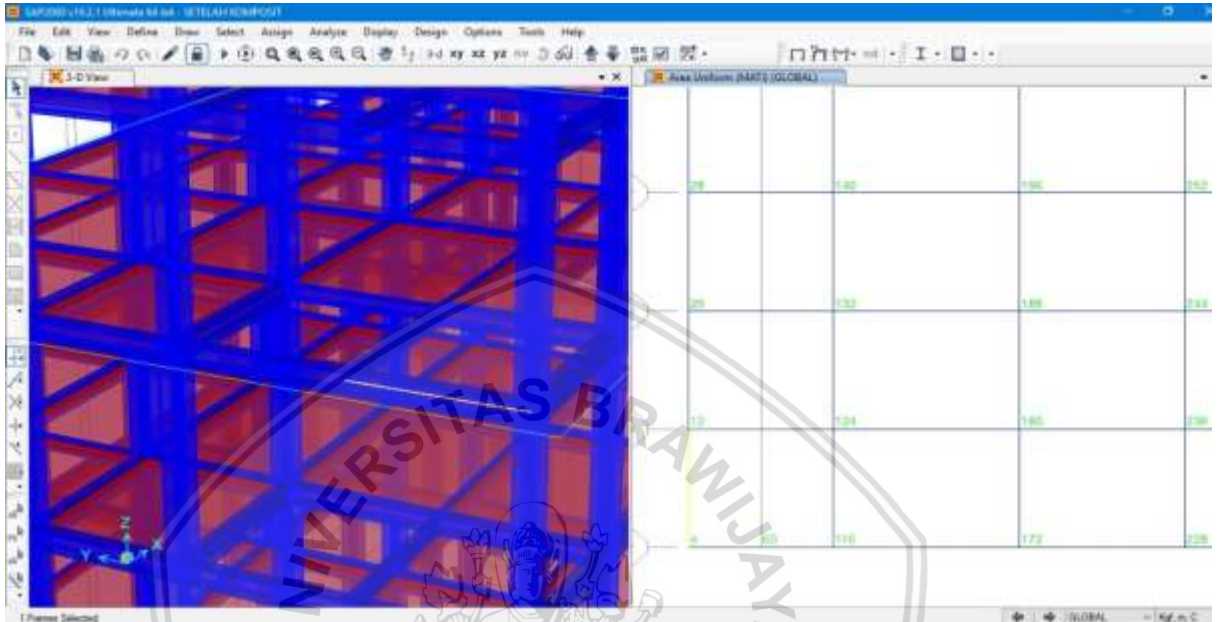
Tabel 4.6.

Rekapitulasi kuat geser balok setelah komposit

Balok	Profil	Vu (Kg)	ΦV_n (Kg)	Kontrol
Balok Induk (B1)	14' WF 14x12	22912,380	58647,530	OK
Balok Anak (B2)	10' WF 10x8	12871,810	32026,170	OK

b. Lentutan

Menurut Tabel 6.4-1 SNI 03-1729-2002, batas lentutan untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah $L/360$, dengan L adalah bentang balok. Pada hal ini L terjadi pada joint 4.



Gambar 4.28 Bentang Balok yang mengalami lentutan terbesar setelah komposit

$$\begin{aligned} \text{Panjang bentang (L)} &= 3 \text{ m} \\ &= 3000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Lentutan maksimum } (\Delta_{\text{maks}}) = 0,423 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Lentutan ijin } (\Delta_{\text{ijin}}) &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{3000}{360} \\ &= 8,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{maks}} \leq \Delta_{\text{ijin}}$$

$$0,423 \text{ mm} \leq 8,33 \text{ mm} \quad \mathbf{OK}$$

4.7 Perencanaan Kolom

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan program aplikasi analisis struktur, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan kolom ini, digunakan momen dan gaya normal (aksial). Selanjutnya dilakukan analisis perhitungan kolom yang didasarkan SNI 03-1729-2002.

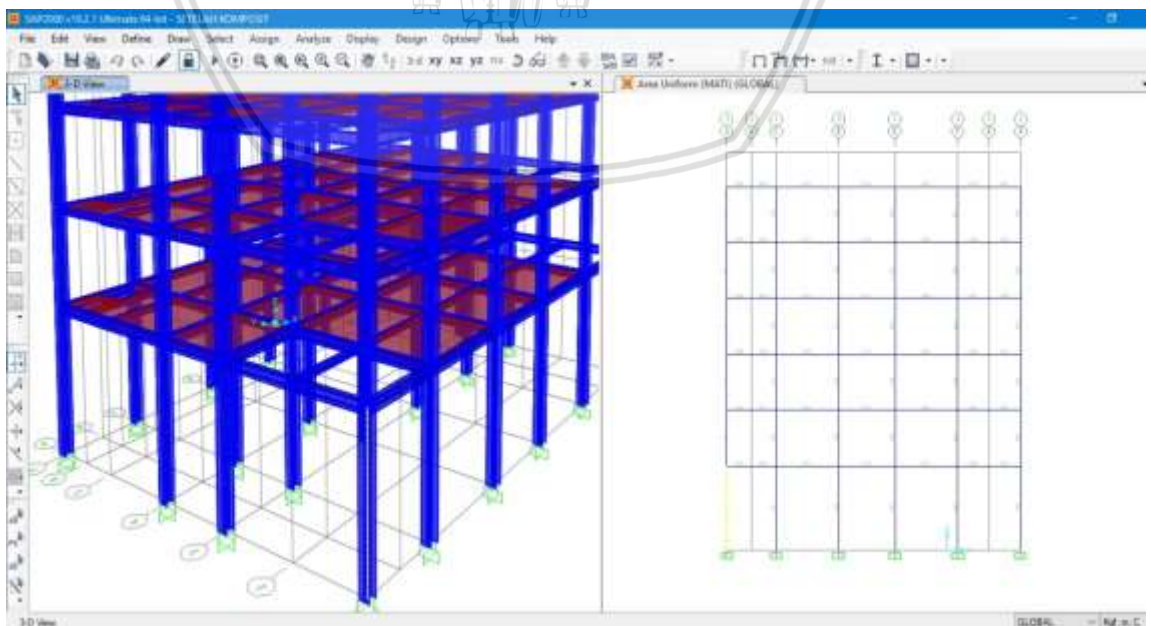
Data-data profil WF 400 x 400x13x21mm :

b_f	=	400 mm	f_y	=	290 Mpa
d	=	400 mm	f_u	=	500 Mpa
h	=	314 mm	E_s	=	200000 Mpa
t_f	=	21 mm	f'_c	=	30 Mpa
t_w	=	13 mm	A_s	=	21870 mm ²
r_x	=	175 mm	S_x	=	3330000 mm ³
r_y	=	101 mm	S_y	=	1120000 mm ³
I_x	=	666000000 mm ⁴	I_y	=	224000000 mm ⁴
J	=	2731775,333 mm ⁴	Z_x	=	3600133 mm ³
G	=	80000 Mpa	Z_y	=	1695125,5 mm ³

4.7.1 Kontrol Penampang

- Kuat rencana pada profil WF 400x400x13x21 mm

$$N_{u \max} = 23594,68 \text{ kg}$$



Gambar 4.29 N_u maximum pada profil WF 400x400 terjadi pada frame 1

- Periksa kelangsingan penampang

- Flens

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{400/2}{21} = 9,52$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{290}} = 14,68$$

$$\frac{b/2}{t_f} = 9,52 < \lambda_r = 14,68 \quad \rightarrow \text{Sayap kompak}$$

- Web

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,153$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,05$$

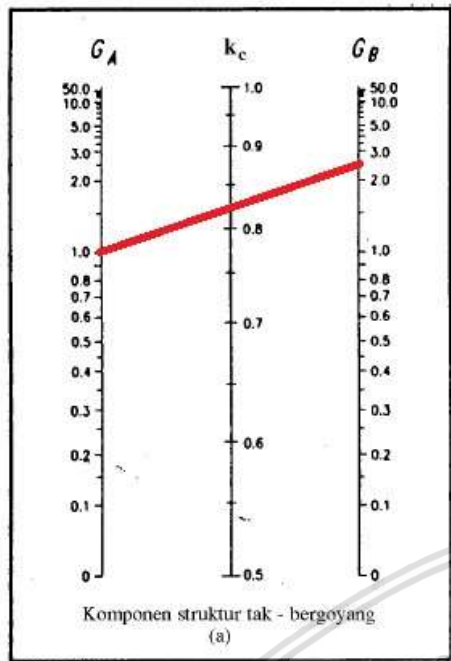
$$\frac{h}{t_w} = 24,153 < \lambda_r = 39,05 \quad \rightarrow \text{Badan kompak}$$

- Faktor panjang efektif
 $G_A = 1$ (Jepit)
- Momen Inersia kolom WF 400x400 (K1)
 $I_x = 666000000 \text{ mm}^4$
- Momen inersia balok induk (B1) 14³ WF 14x12
 $I_x = 386500000 \text{ mm}^4$
- Faktor panjang efektif k



Gambar 4.30 Struktur portal yang ditinjau

4.7.2 Akibat Portal Tak Bergoyang



Gambar 4.31 Nomogram faktor panjang tekuk, k portal tak bergoyang

Sumber : SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2

$G_A = 1 \rightarrow$ Bagian dasar kolom diasumsikan jepit

$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{111000 + 166500}{115142,8571}$$

$$= 2,41$$

$k_c = 0,83$ (dari nomogram diagram)

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$= \frac{0,83 \cdot 6000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}}$$

$$= 0,34$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,34 < 1,2$, maka :

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)}$$

$$= \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 0,34)}$$

$$= 1,0451$$

$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f_y}{\omega} \\
 &= \frac{290}{1,0451} \\
 &= 277,48 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Kuat rencana nominal

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_s \cdot f_{cr} \\
 &= 21870 \cdot 277,48 \\
 &= 6068414,21 \text{ N} \\
 &= 606841,42 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_u &\leq \phi \cdot N_n \\
 23594,68 &\leq 0,85 \cdot 606841,42 \\
 23594,68 \text{ kg} &\leq 515815,21 \text{ kg} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

- Menentukan persamaan kuat tekan lentur

Untuk menentukan rumus persamaan interaksi aksial-momen, maka dicari :

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{23594,68}{515815,21} = 0,046 < 0,2$$

Karena $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} < 0,2$, Maka digunakan persamaan :

$$\frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Cek kelangsingan penampang profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,153$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_c N_y} \right) \\
 &= \frac{1680}{\sqrt{290}} \left(1 - \frac{2,75 \times 23594,68}{515815,2} \right) \\
 &= 86,24
 \end{aligned}$$

$$\lambda = 24,513 < \lambda_p = 86,24 \quad \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

- Kontrol tekuk lateral

$$\begin{aligned}
 L_p &= \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y \\
 &= \frac{790}{\sqrt{290}} \cdot 101,02 \\
 &= 4677,66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$f_L = f_y - f_r = 290 - 70 = 220$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \\
 &= \frac{\pi}{3330000} \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 2731775,333 \cdot 21870}{2}} \\
 &= 20614,71 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right) \\
 &= \frac{4 \cdot 8043896000000}{224000000} \left(\frac{3330000}{80000 \cdot 2731775,333} \right) \\
 &= 2,19 \text{ mm}^4/N^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_L)^2} \\
 &= 101,2 \frac{20614,71}{220} \sqrt{1 + 2,19(220)^2} \\
 &= 171348,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_p < L < L_r$$

4677,66 < 6000 < 171348,2 mm → Bentang Menengah

Dikarenakan kolom termasuk Bentang menengah, maka rumus M_n yang digunakan :

$$M_n = C_b \left(M_r + (M_p - M_r) \left(\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right) \leq M_p$$

$C_b = 1$, beban diasumsikan simetris

- Untuk M_{nx}

$$M_r = S_x (f_y - f_r)$$

$$= 3330000 (290 - 70)$$

$$= 732600000 \text{ mm}$$

$$= 732600 \text{ kgm}$$

$$M_{px} = Z_x \cdot f_y$$

$$= 3600133 \cdot 290$$

$$= 1044038570 \text{ Nmm}$$

$$= 1044038,57 \text{ kgm}$$

$$M_{nx} = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_{px}$$

$$= 1,0 \left[732600 + (1044038,57 - 732600) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,66)} \right]$$

$$\leq 1044038,57$$

$$= 1036336,5 \leq 1044038,57$$

$$\emptyset M_{nx} = 0,9 \times M_{nx}$$

$$= 0,9 \times 1036336,5$$

$$= 932702,88 \text{ kgm}$$

- Untuk Mny

$$M_r = S_y (f_y - f_r)$$

$$= 246400000 (290 - 70)$$

$$= 246400000 \text{ N mm}$$

$$= 24640 \text{ kgm}$$

$$M_{py} = Z_y \cdot f_y$$

$$= 1695125,5 \cdot 290$$

$$= 491586395 \text{ N mm}$$

$$= 491586,395 \text{ kgm}$$

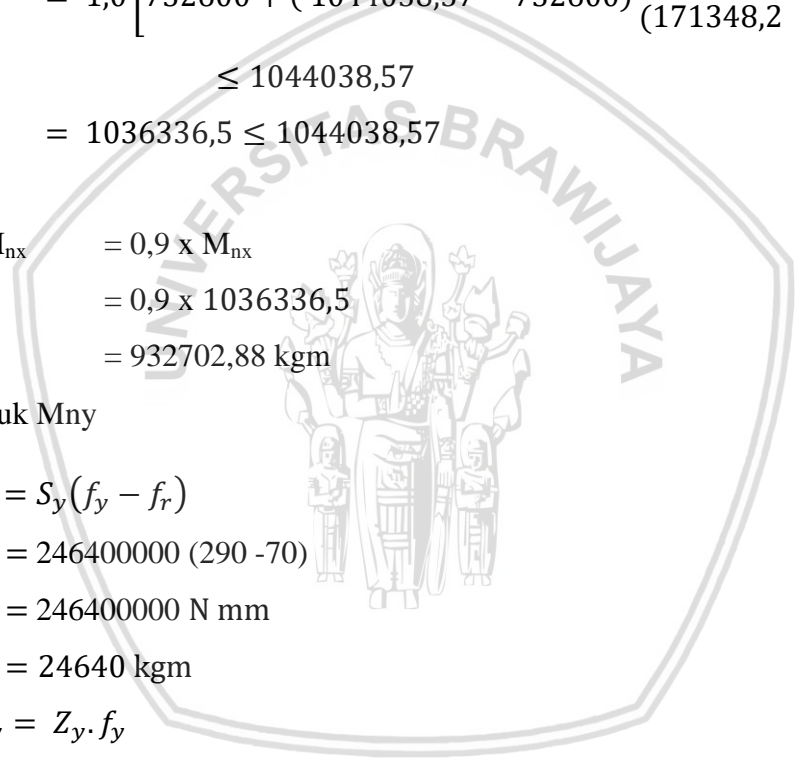
$$M_{ny} = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$= 1,0 \left[24640 + (491586,395 - 24640) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right]$$

$$\leq 491586,395$$

$$= 487881,7 \leq 491586,40$$

$$\emptyset M_{ny} = 0,9 \times M_{ny}$$



$$= 0,9 \times 487881,7$$

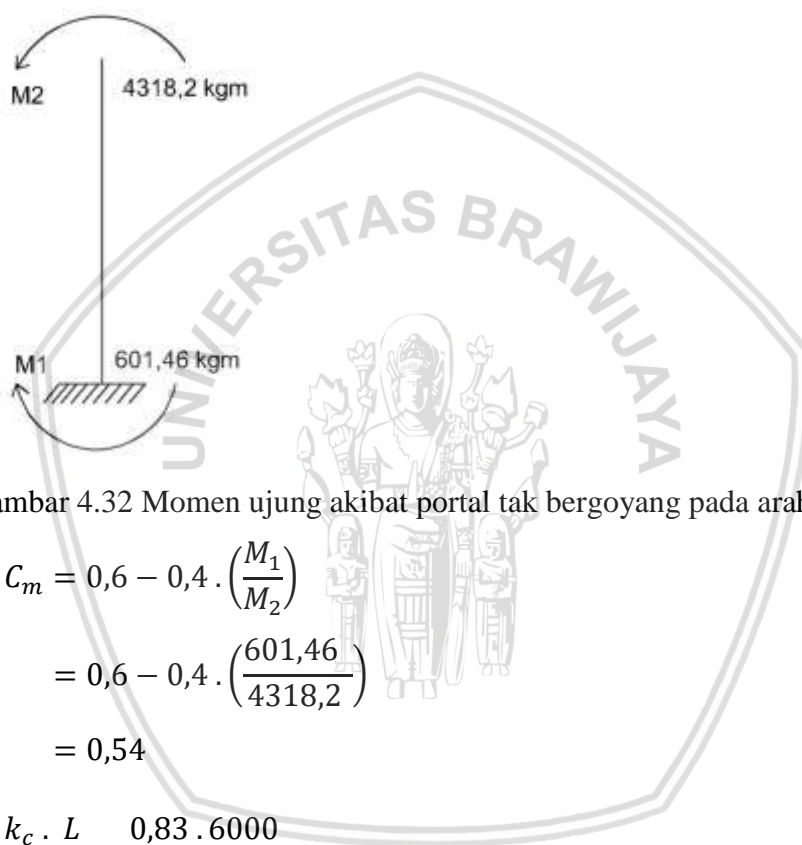
$$= 439093,53 \text{ kgm}$$

- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{ux} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 601,46 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 4318,2 \text{ kgm}$$



Gambar 4.32 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

$$= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{601,46}{4318,2}\right)$$

$$= 0,54$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{0,83 \cdot 6000}{174,507}$$

$$= 28,537$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(28,537)^2}$$

$$= 52954739,44 \text{ N}$$

$$= 5295473,944 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \delta_b &= \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}} \\ &= \frac{0,54}{1 - \frac{23594,68}{5295473,944}} \\ &= 0,55 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)} \end{aligned}$$

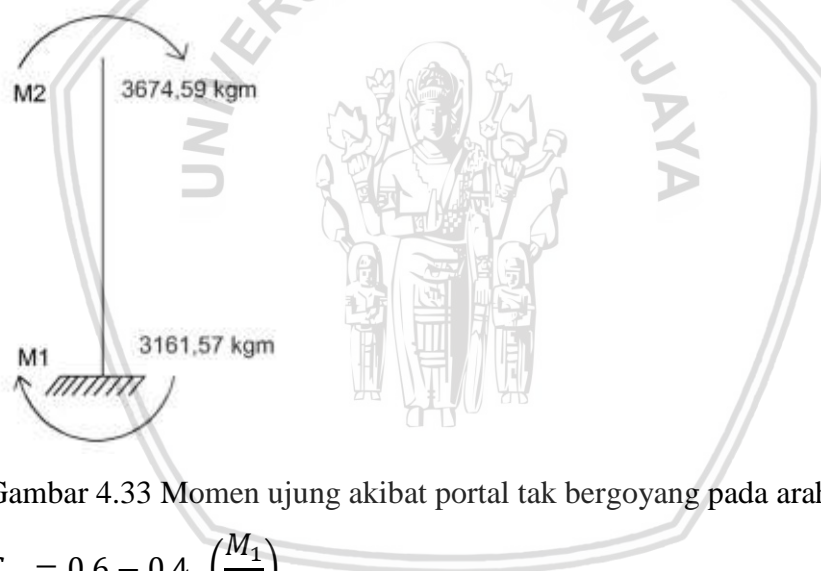
$$\begin{aligned} M_{ux} &= \delta_b \cdot M_x \text{ maks} \\ &= 1 \cdot 4318,2 \\ &= 4318,2 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{uy} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 3161,57 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 3674,59 \text{ kgm}$$



Gambar 4.33 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y.

$$\begin{aligned} C_m &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \\ &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{3161,57}{3674,59} \right) \\ &= 0,256 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{k_c \cdot L}{r_y} &= \frac{0,83 \cdot 6000}{101,204} \\ &= 49,207 \end{aligned}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(49,207)^2}$$

$$= 17810603,05 \text{ N}$$

$$= 1781060,305 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{0,256}{1 - \frac{23594,68}{1781060,305}}$$

$$= 0,26 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_y \text{ maks}$$

$$= 1 \cdot 3161,57$$

$$= 3161,57 \text{ kgm}$$

- Kontrol kuat tekan lentur

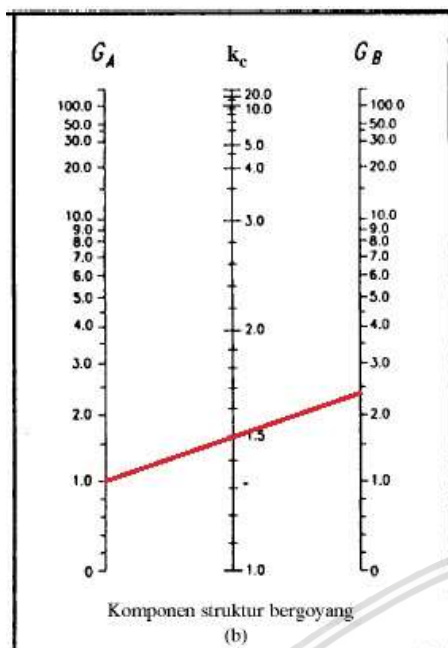
$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{23594,68}{2 \cdot 515815,2077} + \left(\frac{4318,2}{932702,88} + \frac{3161,57}{439093,53} \right) \leq 1,0$$

$$0,035 \leq 1,0$$

OK

4.7.3 Akibat Portal Bergoyang



Gambar 4.34 Nomogram faktor panjang tekuk, k portal bergoyang

Sumber : SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2

$G_A = 1 \rightarrow$ Bagian dasar kolom diasumsikan jepit

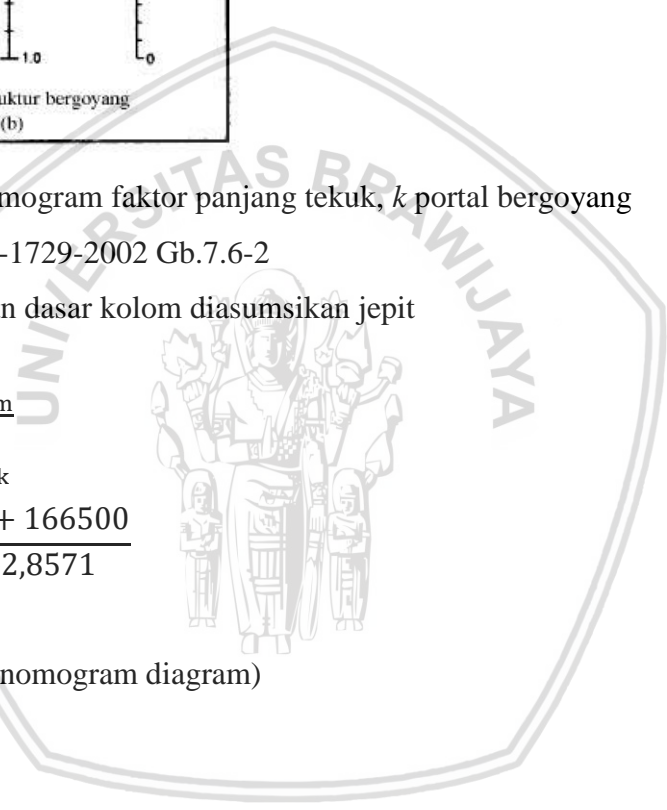
$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{balok}}} = \frac{111000 + 166500}{115142,8571} = 2,41$$

$k_c = 1,5$ (dari nomogram diagram)

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} = \frac{1,5 \cdot 6000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}} = 0,625$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,625 < 1,2$, maka:

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 0,625121)} = 1,2106$$



$$\begin{aligned}
 f_{cr} &= \frac{f_y}{\omega} \\
 &= \frac{290}{1,2106} \\
 &= 239,537 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Kuat rencana nominal

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_s \cdot f_{cr} \\
 &= 21870 \cdot 239,537 \\
 &= 5238691,446 \text{ N} \\
 &= 523869,1446 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_u &\leq \phi \cdot N_n \\
 23594,68 &\leq 0,85 \cdot 523869,1446 \\
 23594,68 \text{ kg} &\leq 445288,77 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

OK

- Persamaan kuat tekan lentur

Untuk menentukan rumus persamaan interaksi aksial-momen, maka dicari :

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{23594,68}{445288,77} = 0,053 < 0,2$$

Karena $\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} < 0,2$, Maka menggunakan persamaan :

$$\frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

- Cek kelangsingan penampang profil

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,153$$

$$\begin{aligned}
 \lambda_p &= \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 \cdot N_u}{\phi_c N_y} \right) \\
 &= \frac{1680}{\sqrt{290}} \left(1 - \frac{2,75 \cdot 0,053}{445288,77} \right) \\
 &= 84,278
 \end{aligned}$$

$$\lambda = 24,513 < \lambda_p = 84,278 \quad \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

- Kontrol tekuk lateral

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$



$$= \frac{790}{\sqrt{290}} \cdot 101,204$$

$$= 4677,656 \text{ mm}$$

$$f_L = f_y - f_r$$

$$= 290 - 70$$

$$= 220$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$= \frac{\pi}{3330000} \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 2731775,333 \cdot 21870}{2}}$$

$$= 20614,713 \text{ MPa}$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$= \frac{4 \cdot 8043896000000}{224000000} \left(\frac{3330000}{80000 \cdot 2731775,333} \right)$$

$$= 2,189 \text{ mm}^4 / \text{N}^2$$

$$L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_L)^2}$$

$$= 101,204 \frac{20614,712}{220} \sqrt{1 + 2,189 (220)^2}$$

$$= 171348,2 \text{ mm}$$

$$L_p < L < L_r$$

4677,656 < 6000 < 171348,2 mm → Bentang Menengah

$$\text{Sehingga } M_n = C_b \left(M_r + (M_p - M_r) \left(\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right) \leq M_p$$

$C_b = 1$, beban dianggap simetris

- Untuk M_{nx}

$$M_r = S_x (f_y - f_r)$$

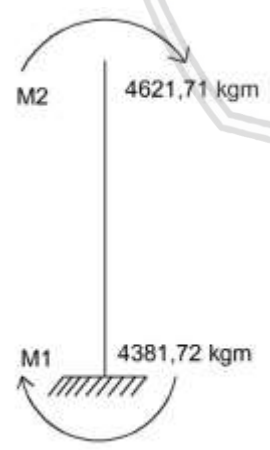
$$= 3330000 (290 - 70)$$

$$\begin{aligned}
 &= 732600000 \text{ Nmm} \\
 &= 732600 \text{ kgm} \\
 M_{px} &= Z_x \cdot f_y \\
 &= 3600133 \cdot 290 \\
 &= 1044038570 \text{ N mm} \\
 &= 1044038,57 \text{ kgm} \\
 M_{nx} &= C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \\
 &= 1,0 \left[732600 + (1044038,57 - 732600) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right] \\
 &\leq 1044038,57 \\
 &= 1036336,5 \leq 104403,857 \\
 \phi M_{nx} &= 0,9 \times M_{nx} \\
 &= 0,9 \times 1036336,5 \\
 &= 932702,88 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan perbesaran momen $\delta_b Mux$:

Hubungan Balok – Kolom

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 4381,72 \text{ kgm} \\
 M_2 &= 4621,71 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.35 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \\
 &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{4381,72}{4621,71} \right)
 \end{aligned}$$



$$= 0,22$$

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,5 \cdot 6000}{174,507}$$

$$= 51,574$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(51,574)^2}$$

$$= 16213564,44 \text{ N}$$

$$= 1621356,444 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{0,22}{1 - \frac{23594,68}{1621356,444}}$$

$$= 0,22 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

- Menentukan perbesaran Momen δ_s Mux

$$\sum N_u = 23594,68 \text{ kg}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(51,574)^2}$$

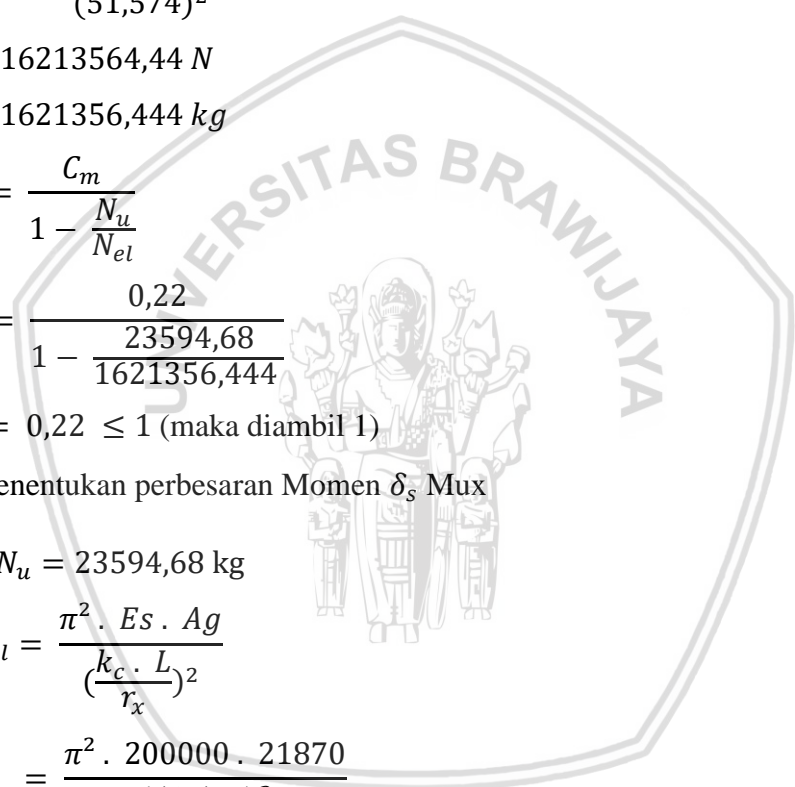
$$= 16213564,44 \text{ N}$$

$$= 1621356,444 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{23594,68}{1621356,444}}$$

$$\delta_s = 1,015 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,015)}$$



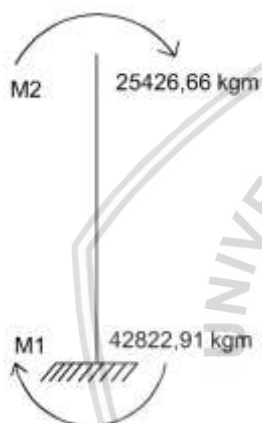
$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= \delta_b \cdot Mx \text{ maks tak bergoyang} + \delta_s \cdot Mx \text{ maks bergoyang} \\
 &= 1 \cdot 4318,2 + 1,015 \cdot 4381,72 \\
 &= 8764,626 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

- Menentukan perbesaran momen δ_b Muy :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 42822,91 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 25426,66 \text{ kgm}$$



Gambar 4.36 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y.

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right) \\
 &= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{42822,91}{25426,66}\right) \\
 &= -0,074
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{k_c \cdot L}{r_y} &= \frac{1,5 \cdot 6000}{101,204} \\
 &= 88,93
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{el} &= \frac{\pi \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2} \\
 &= \frac{\pi \cdot 200000 \cdot 21870}{(88,93)^2} \\
 &= 1736691 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$= 173669,1 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{-0,074}{1 - \frac{23594,68}{173669,1}}$$

$$= -0,085 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

- Menentukan perbesaran Momen δ_s Mux

$$\sum N_u = 23594,68 \text{ kg}$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(88,93)^2}$$

$$= 5453211 \text{ N}$$

$$= 545321,1 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum N_u}{\sum N_{el}}}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{23594,68}{545321,1}}$$

$$\delta_s = 1,045 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,045)}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_x \text{ maks tak bergoyang} + \delta_s \cdot M_x \text{ maks bergoyang}$$

$$= 1 \cdot 3161,57 + 1,045 \cdot 42822,91$$

$$= 47921,11 \text{ kgm}$$

- Kontrol kuat tekan lentur

$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{23594,68}{2 \cdot 445288,77} + \left(\frac{8764,626}{932702,88} + \frac{47921,11}{439093,53} \right) \leq 1,0$$

$$0,145 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$



4.8 Perencanaan Penghubung Geser

Penghubung geser pada struktur berfungsi untuk memikul gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil agar tidak terjadi selip pada saat masa layan. Perhitungan jumlah dan jarak antar penghubung geser dilakukan berdasarkan SNI 03-1729-2002. Pada struktur ini terdapat beberapa bentang profil yaitu

- Contoh perhitungan pada profil 14' WF 14x12 bentang 3,5 m.

Dengan data-data, antara lain :

Dipakai penghubung geser *stud*

$$\text{Diameter } stud = \frac{3}{4}'' = 19,05 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi } stud = 70 \text{ mm}$$

$$f_u \text{ } stud = 400 \text{ Mpa}$$

Menentukan gaya geser horizontal pada balok. Karena balok diasumsikan berperilaku sebagai komposit penuh, maka antara $A_s \cdot f_y$ dan $0,85 \cdot f'_c \cdot A_c$ nilainya diambil yang terkecil :

$$\begin{aligned} A_s \cdot f_y &= 15940 \cdot 250 \\ &= 4622600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,85 \cdot f'_c \cdot A_c &= 0,85 \cdot 25 \cdot t_s \cdot b_E \\ &= 0,85 \cdot 25 \cdot 120 \cdot (3500/4) \\ &= 2231250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_h = 2231250 \text{ N} \rightarrow \text{Diambil yang terkecil (SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2)}$$

Syarat diameter maksimum *stud* (SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6)

$$\emptyset < 2,5 \cdot t_f$$

$$19,05 < 2,5 \cdot 19,76$$

$$19,05 \text{ mm} < 49,4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Luas penampang melintang *stud*

$$A_{sc} = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{\pi \cdot 19,05^2}{4} = 284,878 \text{ mm}^2$$

Menentukan kuat geser sebuah *stud*

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \cdot A_{sc} (f'_c \cdot E_c)^{0,5} \\ &= 0,5 \cdot 284,878 (25 \cdot 20000)^{0,5} \\ &= 100719,746 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_n &= A_{sc} f_{u \text{ stud}} \\
 &= 284,878 \cdot 400 \\
 &= 113951,385 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$Q_n = 100719,746 \text{ N (diambil yang terkecil)}$$

Persyaratan mengenai jarak antar penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6 yang menjelaskan bahwa :

1. Selimut lateral minimum = 25 mm, kecuali ada dek baja
2. Diameter maksimum = 2,5 x tebal flens profil baja
3. Jarak longitudinal minimum = 6 x diameter penghubung geser
4. Jarak longitudinal maksimum = 8 x tebal pelat beton
5. Jarak minimum dalam arah tegak lurus sumbu longitudinal = 4 x diameter

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak minimum longitudinal} &= 6 \cdot \emptyset \\
 &= 6 \cdot 19,05 \\
 &= 114,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak minimum transfersal} &= 4 \cdot \emptyset \\
 &= 4 \cdot 19,05 \\
 &= 76,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

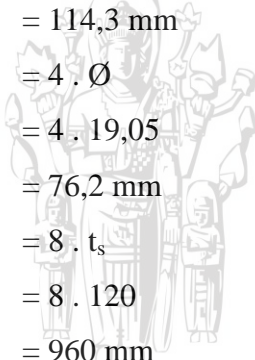
$$\begin{aligned}
 \text{Jarak maksimum longitudinal} &= 8 \cdot t_s \\
 &= 8 \cdot 120 \\
 &= 960 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jumlah *stud* yang diperlukan untuk setengah bentang balok.

$$\begin{aligned}
 N &= V_h / Q_n \\
 &= 2231250 / 100719,746 \\
 &= 22,153 = 23 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jarak longitudinal antar *stud* (dipasang secara 2 baris)

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{\frac{1}{2} L \cdot 2}{N} \\
 &= \frac{\frac{1}{2} 3500 \cdot 2}{23} \\
 &= 152,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

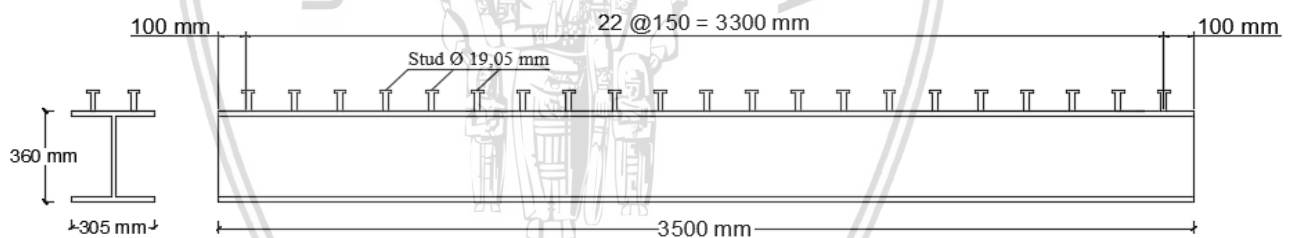


Dengan cara yang sama, didapatkan jumlah dan jarak *stud* pada bentang lain seperti dalam tabel berikut:

Tabel 4.7.
Rekapitulasi jumlah dan jarak antar *stud*.

Bentang (m)	Profil	N	S (mm)
3,50	14' WF 14x12	23	152,17
6,00	14' WF 14x12	38	157,89
3,00	14' WF 14x12	19	157,89
4,50	14' WF 14x12	29	155,17
4,00	14' WF 14x12	26	153,85
2,50	14' WF 14x12	16	156,25
2,25	14' WF 14x12	15	150,00
4,50	10' WF 10X8	29	155,17
4,00	10' WF 10X8	26	153,85
3,50	10' WF 10X8	23	156,25
3,00	10' WF 10X8	19	157,89
2,25	10' WF 10X8	15	150,00
1,75	10' WF 10X8	12	145,83

Diambil jarak rata-rata antar stud S (mm) sebesar 150 mm.



Gambar 4.37 Penghubung geser pada balok induk bentang 3,5 m

4.9 Perencanaan Sambungan

Sambungan pada suatu struktur gedung diperlukan untuk menyambung pertemuan antara balok dan kolom dan pertemuan antar kolom. Pada skripsi ini, sambungan antara balok baja dan kolom baja menggunakan las, sedangkan sambungan antar kolom menggunakan baut. Analisis terhadap sambungan ini dilakukan berdasarkan SNI 03-1729-2002.

4.9.1 Sambungan Balok - Kolom

Untuk penyambungan balok baja ke kolom baja digunakan sambungan berupa las.

Contoh perhitungan dilakukan pada balok profil 14^c WF 14x12.

Data-data las:

Digunakan electrode las E80

$$f_{u w} = 560 \text{ Mpa}$$

Data-data pada balok

$$M_{u \text{ maks}} = 36883,31 \text{ kgm} = 368833100 \text{ Nmm}$$

$$V_{u \text{ maks}} = 22912,38 \text{ kg} = 229123,8 \text{ N}$$

- Las pada badan

- Persyaratan ukuran las

$$a_{\text{maks}} = t_w - 1,6$$

$$a_{\text{maks}} = 11,46 - 1,6$$

$$a_{\text{maks}} = 9,86 \text{ mm}$$

$$a_{\text{min}} = 7 \text{ mm (tabel 13.5-1 SNI 03-1729-2002)}$$

Diambil nilai $a = 7 \text{ mm}$

$$t_e = 0,707 \cdot a$$

$$t_e = 0,707 \cdot 7$$

$$t_e = 4,95 \text{ mm}$$

- Gaya akibat geser

$$R_{u v} = V_u$$

$$R_{u v} = 229123,8 \text{ N}$$

- Kuat rencana las ukuran 7 mm per mm panjang

$$\phi R_{n w} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{u w}$$

$$\phi R_{n w} = 0,75 \cdot 4,95 \cdot 0,6 \cdot 560$$

$$\phi R_{n w} = 1247,148 \text{ N/mm}$$

- Panjang total las yang dibutuhkan

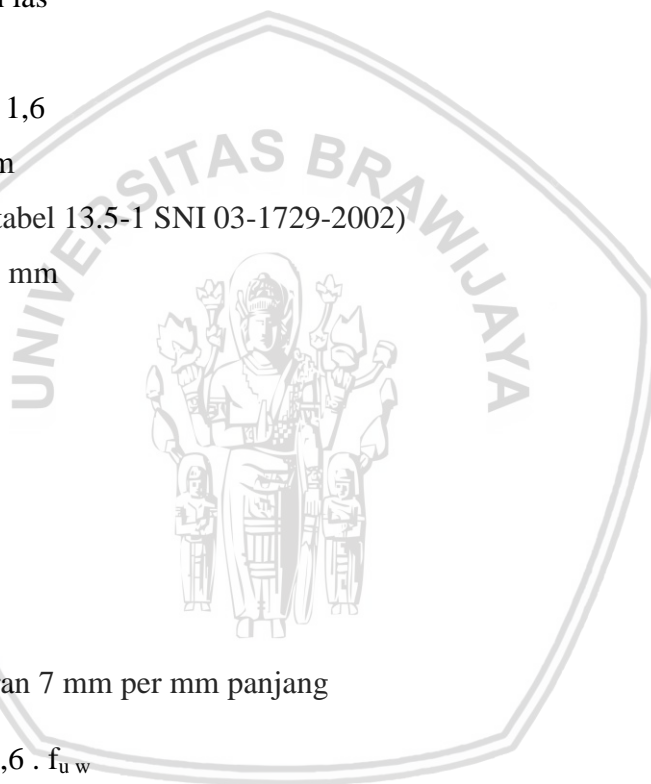
$$L_w = \frac{R_{u v}}{\phi R_{n w}}$$

$$L_w = \frac{229123,8}{1247,148}$$

$$L_w = 183,718 \text{ mm} \approx 185 \text{ mm}$$

- Syarat panjang minimum las sudut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.5)

$$L_{\text{min}} = 40 \text{ mm}$$



$$L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$L_{\min} = 4 \cdot 7$$

$$L_{\min} = 28 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 40 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

- Syarat jarak maksimum antara las sudut yang berdekatan (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.7)

$$L_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot t_w$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot 11,46$$

$$L_{\text{maks}} = 183,36$$

$$L_{\text{maks}} = 183,36 \text{ mm (diambil yang terkecil)}$$

- Kuat rencana las baja

$$\phi T_n = L_w \cdot \phi R_{n w}$$

$$\phi T_n = 185 \cdot 1247,148$$

$$\phi T_n = 230722,38 \text{ N}$$

- Las pada sayap

- Persyaratan ukuran las

$$a_{\text{maks}} = t_f - 1,6$$

$$a_{\text{maks}} = 19,76 - 1,6$$

$$a_{\text{maks}} = 18,16 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 10 \text{ mm (tabel 13.5-1 SNI 03-1729-2002)}$$

Diambil nilai $t = 10 \text{ mm}$

$$t_e = 0,707 \cdot a$$

$$t_e = 0,707 \cdot 10$$

$$t_e = 7,07 \text{ mm}$$

- Gaya akibat momen

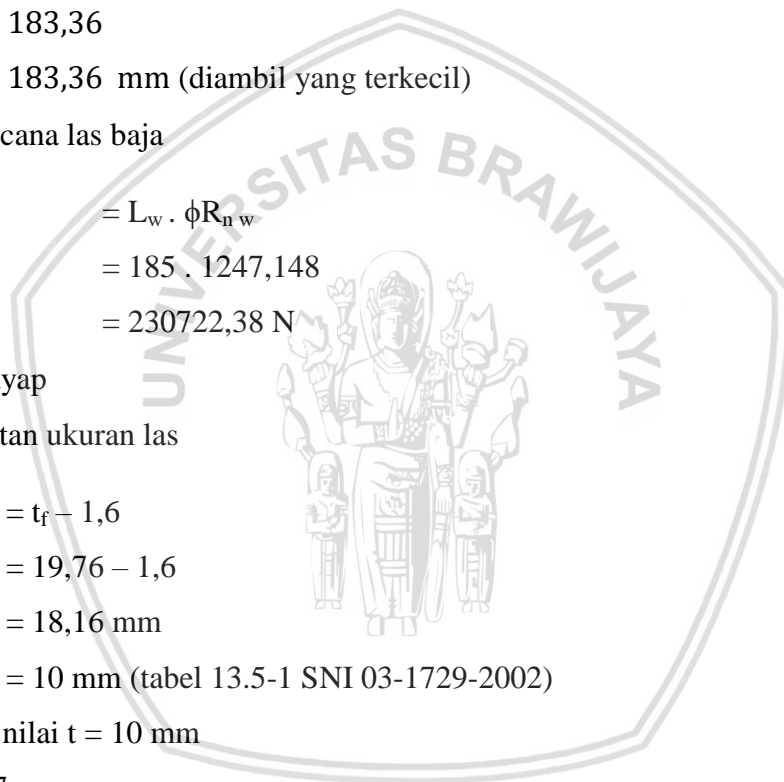
$$R_{u M} = M_u / d$$

$$R_{u M} = 368833100 / 360$$

$$R_{u M} = 1024536,389 \text{ N}$$

- Kuat rencana las ukuran 10 mm per mm panjang

$$\phi R_{n w} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{u w}$$



$$\phi R_{n w} = 0,75 \cdot 7,07 \cdot 0,6 \cdot 560$$

$$\phi R_{n w} = 1781,64 \text{ N/mm}$$

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$L_w = \frac{R_{u M}}{\phi R_{n w}}$$

$$L_w = \frac{1024536,389}{1781,64}$$

$$L_w = 575,052 \text{ mm} \approx 580 \text{ mm}$$

- Syarat panjang minimum las sudut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.5)

$$L_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 4 \cdot a$$

$$L_{\min} = 4 \cdot 10$$

$$L_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 40 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

- Syarat jarak maksimum antara las sudut yang berdekatan (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.7)

$$L_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot t_f$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot 19,76$$

$$L_{\text{maks}} = 316,16 \text{ mm}$$

$$L_{\text{maks}} = 300 \text{ mm (diambil yang terkecil)}$$

- Kuat rencana las baja

$$\phi T_n = L_w \cdot \phi R_{n w}$$

$$\phi T_n = 580 \cdot 1781,64$$

$$\phi T_n = 1033351,2 \text{ N}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan tebal dan panjang las sudut pada balok bentang lain seperti dalam tabel berikut:

Tabel 4.8.
Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut antara balok- kolom.

Balok	Profil	Badan		Sayap	
		tebal las (t)-mm	Panjang total las (Lw)- mm	tebal las (t)-mm	Panjang total las (Lw)- mm
B1	14' WF 14X12	7	185	10	580
B2	10' WF 10X8	7	105	10	280

4.9.2 Sambungan antar Kolom

Untuk menyambung antar kolom baja digunakan sambungan berupa baut. Contoh perhitungan dilakukan pada kolom profil WF 400x400x13x21mm.

Data-data baut:

Digunakan baut A325

$$\varnothing = 19 \text{ mm}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,643 \text{ mm}^2$$

$$f_u^b = 825 \text{ Mpa}$$

Data-data pada kolom

$$f_u = 500 \text{ Mpa}$$

$$M_{u \text{ maks}} = 50828,22 \text{ kgm} = 508282200 \text{ Nmm}$$

$$V_{u \text{ maks}} = 16203,95 \text{ kg} = 162039,5 \text{ N}$$

Tahanan nominal baut ($\phi R_{n w}$)

- Geser

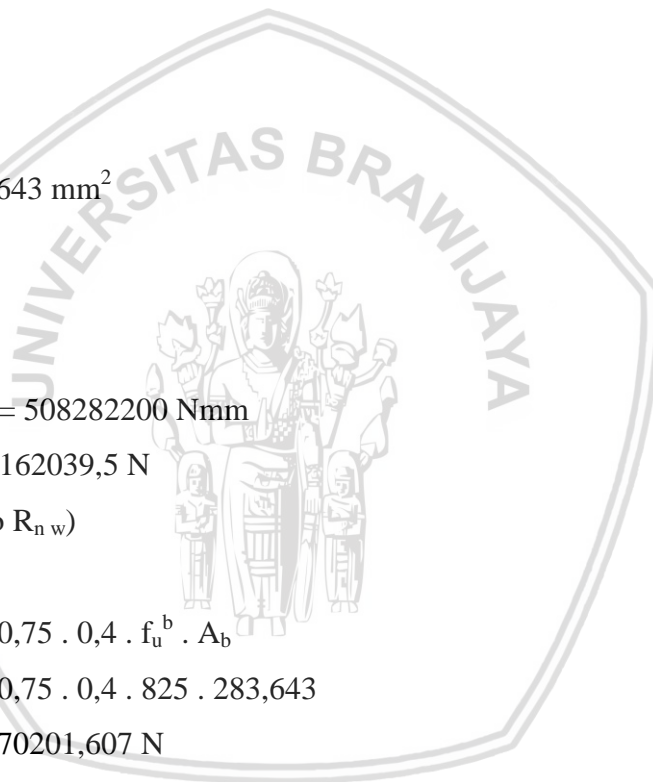
$$\begin{aligned} 1 \text{ bidang geser} &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 283,643 \\ &= 70201,607 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \text{ bidang geser} &= 2 \cdot 70201,607 \\ &= 140403,214 \text{ N} \end{aligned}$$

- Tumpu

$$\begin{aligned} \text{Badan profil} &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot f_{u p} \cdot \varnothing \cdot t_w \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 500 \cdot 19 \cdot 13 \\ &= 222300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sayap profil} &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot f_{u p} \cdot \varnothing \cdot t_f \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 500 \cdot 19 \cdot 21 \\ &= 359100 \text{ N} \end{aligned}$$



a. Baut pada badan

Tinggi pelat penyambung direncanakan 400 mm

Menghitung tebal pelat penyambung

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat penyambung}} &\geq I_{\text{badan}} \\ 2 \cdot 1/12 \cdot t_p \cdot h_p^3 &\geq 1/12 \cdot t_w \cdot h^3 \\ 2 \cdot 1/12 \cdot t_p \cdot 400^3 &\geq 1/12 \cdot 13 \cdot 314^3 \\ t_p &\geq 3,144 \text{ mm} \\ t_p &\approx 3,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tahanan geser nominal 2 bidang lebih kecil dari pada tahanan tumpu, sehingga tahanan nominal baut ditentukan oleh tahanan geser nominal 2 bidang.

$$n = \frac{R_{uV}}{\phi R_{nw}}$$

$$n = \frac{162039,5}{140403,214}$$

$$n = 1,154$$

$$n \approx 2 \text{ buah}$$

Tahanan geser untuk 2 baut:

$$\begin{aligned} \phi T_n &= n \cdot \phi R_n \\ &= 2 \cdot 140403,214 \\ &= 280806,429 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat jarak baut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

$$1,5 \emptyset = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$3 \emptyset = 3 \cdot 19 = 57 \text{ mm}$$

$$15 \cdot t_w = 15 \cdot 13 = 195 \text{ mm}$$

$$4 \cdot t_w + 100 = 4 \cdot 13 + 100 = 152 \text{ mm}$$

Jarak antar baut

$$3 \emptyset < S < 15 \cdot t_w \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$57 \text{ mm} < S < 200 \text{ mm} \quad (\text{diambil jarak } 60 \text{ mm})$$

Jarak baut dengan tepi pelat

$$1,5 \emptyset < S < 4 \cdot t_w + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$28,5 \text{ mm} < S < 200 \text{ mm} \quad (\text{diambil jarak } 30 \text{ mm})$$

b. Baut pada sayap

Tinggi pelat penyambung direncanakan 330 mm



Menghitung tebal pelat penyambung (t_p)

$$\begin{aligned} S &= \frac{M_u}{2bf} \\ &= \frac{508282200}{2.400} \\ &= 635352,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{S}{f_u} \\ &= \frac{635352,75}{500} \\ &= 1270,706 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_p &= \frac{A_n}{h_1} \\ &= \frac{1270,706}{330} \\ &= 3,85 \text{ mm} \\ &\approx 4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tahanan geser nominal 1 bidang lebih kecil daripada tahanan tumpu, sehingga tahanan nominal baut ditentukan oleh tahanan geser nominal 1 bidang.

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} n &= \frac{S}{\phi R_{nw}} \\ n &= \frac{635352,75}{140403,214} \\ n &= 4,525 \\ n &\approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

Tahanan geser untuk 6 baut:

$$\begin{aligned} \phi T_n &= n \cdot \phi R_n \\ &= 6 \cdot 140403,214 \\ &= 842419,286 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat jarak baut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

$$\begin{aligned} 1,5 \emptyset &= 1,5 \cdot 19 &= 28,5 \text{ mm} \\ 3 \emptyset &= 3 \cdot 19 &= 57 \text{ mm} \\ 15 \cdot t_f &= 15 \cdot 21,91 &= 315 \text{ mm} \\ 4 \cdot t_f + 100 &= 4 \cdot 21 + 100 &= 184 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak antar baut

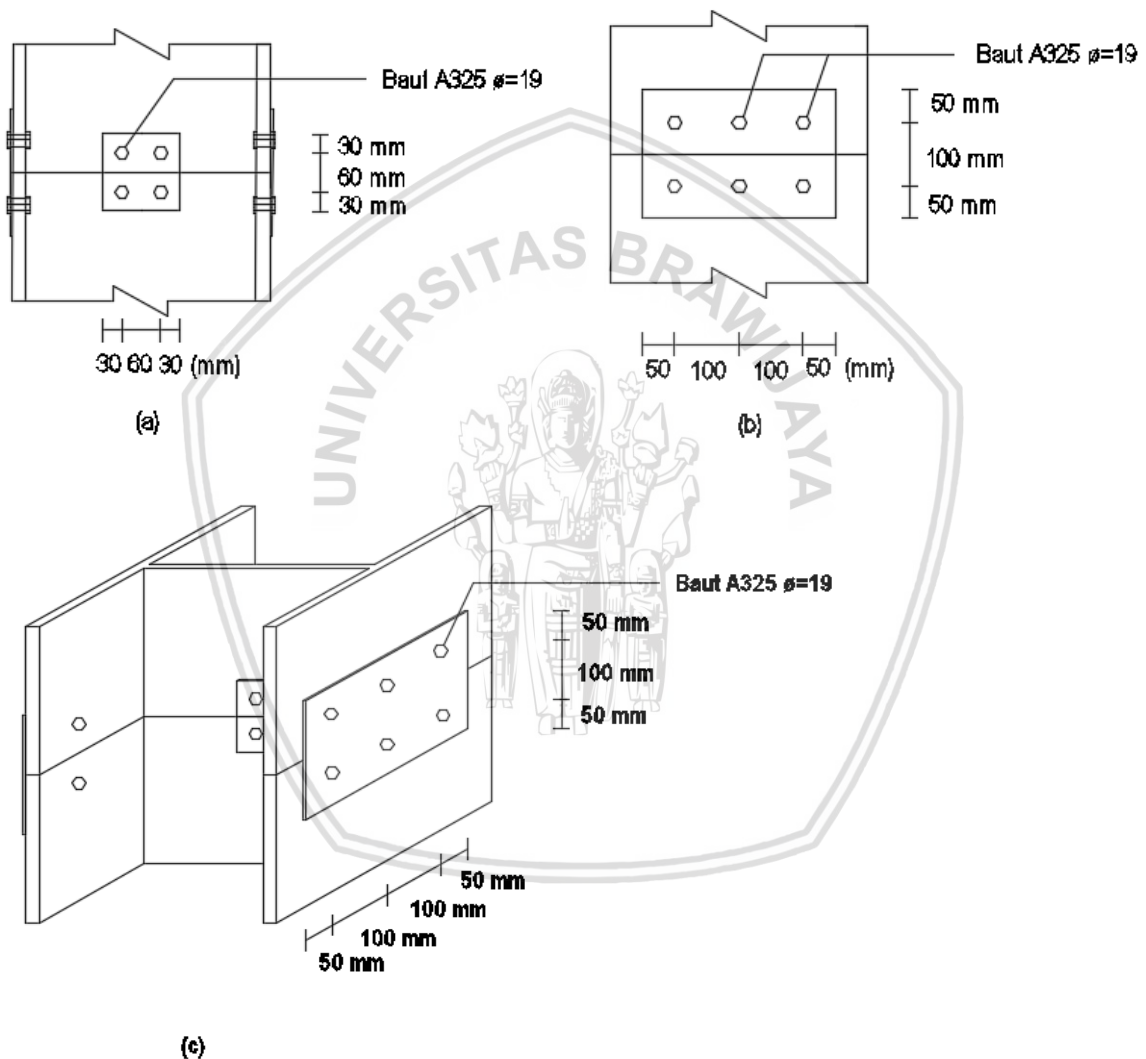
$$3 \varnothing < S < 15 \cdot t_w \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$57 \text{ mm} < S < 200 \text{ mm} \quad (\text{diambil jarak } 100 \text{ mm})$$

Jarak baut dengan tepi pelat

$$1,5 \varnothing < S < 4 \cdot t_w + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$18,5 \text{ mm} < S < 200 \text{ mm} \quad (\text{diambil jarak } 50 \text{ mm})$$



Gambar 4.38 Sambungan baut antar kolom, tampak web (a), tampak flens (b), tampak 3 dimensi (c)

4.10 Pembahasan

Pada perencanaan alternatif Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya ini menggunakan balok baja yang dikomposit dengan pelat beton

repository.ub.ac.id

dengan memakai *shear connector* dan menggunakan bahan baja untuk kolomnya. Balok dan kolom yang digunakan adalah balok baja dan kolom baja WF. Mutu baja yang digunakan pada balok dan kolom adalah BJ50 sedangkan mutu betonnya menggunakan mutu $f'c = 25$ MPa. Untuk penghubung geser atau *shear connector* menggunakan diameter *stud* 19,05 mm dengan tinggi *stud* 70 mm. Sedangkan untuk sambungan antara balok dan kolom digunakan las dengan electrode E80 yang bersumber pada jenis las SMAW(*Shield metal Arc Welding*)/las elektroda, sedangkan sambungan antar kolom digunakan baut dengan mutu A325.

Pembebanan yang diperhitungkan pada struktur ada beberapa macam yaitu beban gempa dan beban gravitasi yang ditahan oleh struktur itu sendiri. Beban yang gravitasi yang terjadi pada struktur ada dua kondisi dimana kondisi pertama yaitu pembebanan sebelum komposit dan pada kondisi kedua pembebanan setelah komposit. Selain itu beban gempa disini cukup berpengaruh karena gedung terdiri dari 8 lantai, sehingga beban gempa harus benar-benar diperhitungkan dengan baik.

Input yang dimasukkan pada SAP2000 adalah data-data dimensi profil balok dan kolom yang akan digunakan, dan juga data-data pembebanan mulai dari beban gravitasi dan beban gempa. Beban gempa dianalisis dengan menggunakan *design respons spectrum*. Sedangkan *output* yang dihasilkan adalah berupa gaya-gaya dalam dari struktur yang berupa momen, gaya lintang dan gaya aksial. Gaya-gaya dalam tersebut digunakan untuk mengontrol balok dan kolom yang telah diperkirakan di awal perencanaan serta untuk merencanakan balok-kolom dan sambungan antar kolom.

Berdasarkan filosofi "*Capacity Design*" yang digunakan dalam perencanaan, maka kolom diberi kekuatan yang cukup sehingga kolom tidak leleh atau runtuh terlebih dahulu sebelum balok ketika terjadi goyangan lateral. Dalam hal ini untuk merencanakan kekuatan lentur kolom dilakukan control terhadap persyaratan *strong column weak beam*, yaitu bahwa kapasitas yang tersedia dari penampang kolom harus lebih besar dari kapasitas penampang balok.

4.10.1 Pembahasan Balok

Pada perencanaan gedung ini, digunakan dua tipe balok yaitu balok induk (B1) dengan profil 14' WF 14x12 dan balok anak (B2) dengan profil 10' WF 10x8. Setelah

struktur dimodelkan pada SAP2000, didapatkan hasil dari analisis yang berupa gaya-gaya dalam, antara lain yaitu momen, gaya lintang dan gaya aksial. Setelah itu dikontrol terhadap kapasitas tahanan dengan mengecek kelangsingan penampang balok. Perencanaan balok terdiri dari dua macam yaitu balok sebelum komposit dan balok setelah komposit.

Pada perencanaan balok sebelum komposit, balok dikontrol terhadap kapasitas tahanan momen lentur nominal, kapasitas tahanan geser nominal dan lendutan. Pada hasil analisis kapasitas tahanan lentur nominal balok sebelum komposit bisa dilihat pada Tabel 4.2. Dari hasil yang diperoleh dapat diamati bahwa masing-masing balok mampu menahan lentur *ultimate* yang terjadi dikarenakan kapasitas momen nominal lebih besar dari momen lentur ultimate. Sedangkan untuk hasil analisis tahanan geser nominal bisa dilihat pada Tabel 4.3. Dari hasil yang diperoleh bahwa masing-masing balok mampu menahan geser *ultimate* yang terjadi pada balok. Hal ini dikarenakan nilai kapasitas tahanan geser nominal masih lebih besar dibandingkan geser lentur *ultimate*. Untuk Lendutan maksimum yang terjadi pada balok sebelum komposit yang didapat dari permodelan SAP2000 sebesar 14,24 mm dimana masih lebih kecil dari lendutan yang diijinkan yaitu sebesar 23,61 mm.

Selanjutnya perencanaan balok dengan kondisi setelah komposit. Perbedaan balok sebelum komposit dengan setelah komposit yaitu pada pembebanannya dan juga cara analisisnya. Pada pembebanan sebelum komposit beban hidup yang ditahan oleh struktur sebesar 100 kg/m^2 dan beban mati sebesar berat sendiri bangunan pada saat pembebanan setelah komposit beban hidup yang bekerja sebesar 250 kg/m^2 dan beban mati sebesar berat sendiri bangunan ditambah plafond, spesi, kramik dan berat instalasi yang jumlahnya sebesar 123 kg/m^2 . Dilakukan kontrol yang sama seperti balok sebelum komposit namun dengan cara analisis yang berbeda. Untuk menghitung kapasitas tahanan momen lentur pada balok sebelum komposit yaitu dengan $M_n = Z_x \cdot f_y$, berbeda dengan cara menghitung kapasitas tahanan lentur nominal balok setelah komposit yaitu dengan cara $M_n = C \cdot d_1$. Pada analisis kuat lentur balok setelah komposit terjadi dua kondisi yaitu kontrol kuat lentur positif dan kuat lentur negatif. Pada hasil analisis balok kuat lentur positif bisa dilihat pada tabel Tabel 4.4. Rekapitulasi kuat lentur positif dan kuat lentur negatif pada Tabel 4.5. Rekapitulasi kuat lentur negatif, dari hasil kedua analisis tersebut memberikan kesimpulan bahwa balok mampu menahan lentur positif *ultimate* maupun lentur negatif *ultimate*. Untuk analisis pada tahanan geser nominal balok setelah komposit bisa dilihat pada Tabel 4.6. Rekapitulasi kuat geser balok setelah komposit yang menunjukkan bahwa masing-masing balok mampu menahan geser *ultimate* yang terjadi pada balok. Lendutan

maksimum yang didapat dari hasil permodelan SAP2000 sebesar 0,432 mm lebih kecil dari lendutan yang diijinkan yaitu sebesar 8,33 mm.

4.10.2 Pembahasan Kolom

Pada perencanaan Kolom digunakan material baja dengan profil WF 400x400x13x21 mm. Kolom harus memiliki inersia yang lebih besar dari balok dan juga mutu baja yang digunakan untuk kolom adalah BJ 50. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan SAP2000, maka diperoleh gaya-gaya dalam. Pada perencanaan kolom ini, digunakan gaya lentur dan gaya normal. Selanjutnya dilakukan analisis pada kolom berdasarkan SNI 03-1729-2002.

Hasil *output* dari perhitungan SAP2000 pada gaya normal *ultimate* atau N_u adalah sebesar 23594,68 kg. Untuk menghitung kapasitas tahanan normal nominal adalah dengan rumus $N_n = A_s \cdot f_{cr}$, dan hasil analisis kapasitas tahanan normal nominal atau N_n sebesar 606841,42 kg yang menunjukkan bahwa kolom mampu menahan gaya normal *ultimate* yang terjadi.

Pada suatu komponen struktur terkadang efek gaya aksial maupun momen lentur tidak dapat diabaikan salah satunya, kombinasi dari gaya aksial dan momen lentur harus dipertimbangkan dalam proses desain komponen struktur tersebut. Komponen tersebut disebut sebagai elemen balok-kolom (*beam-column*). Oleh karena itu dilakukan analisis balok-kolom pada perencanaan alternatif ini karena efek gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya. Perencanaan struktur balok-kolom, diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 11.3. Untuk analisis balok-kolom sendiri terdiri dari analisis balok-kolom akibat portal bergoyang analisisnya dapat dilihat pada sub bab 4.7.2 dan analisis balok-kolom akibat portal bergoyang dapat dilihat pada sub bab 4.7.3.

4.10.3 Pembahasan Penghubung Geser

Penghubung geser berperan dalam memikul gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja sehingga tidak terjadi selip saat masa layan. Besarnya gaya horizontal yang dipikul oleh penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.2. Sedangkan persyaratan mengenai jarak antar penghubung geser diatur dalam SNI 03-1729-2002 pasal 12.6.6.

Penghubung geser yang direncanakan menggunakan penghubung geser tipe *stud* diameter *stud* $\frac{3}{4}$ " atau 19,05 mm dan tinggi *stud* 70 mm dengan mutu $f_u \text{ stud} = 400$ MPa.

Rekapitulasi hasil perencanaan jumlah dan jarak antar *stud* penghubung geser tiap balok dapat dilihat pada Tabel 4.7.

4.10.4 Pembahasan Sambungan

Sambungan pada perencanaan ini terdiri dari sambungan antara balok-kolom dan sambungan antar kolom. Metode penyambungan yang digunakan ada dua yaitu sambungan las dan sambungan baut.

Sambungan las digunakan untuk sambungan antara balok induk dan balok anak serta sambungan balok-kolom. Sambungan las yang digunakan adalah sambungan las elektroda dengan $f_{uw} = 560$ Mpa. Setelah dilakukan perhitungan untuk perencanaan sambungan las didapat ketebalan dan panjang kebutuhan las yang dibutuhkan dimana dapat dilihat pada Tabel.4.8. Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut antara balok dan kolom. Untuk sambungan baut, digunakan pada sambungan antar kolom dengan menggunakan baut A325 dengan $\varnothing = 19$ mm. Data yang digunakan dalam perencanaan sambungan antar kolom menggunakan baut adalah lentur *ultimate* dan geser *ultimate* dari kolom. Pada perencanaan sambungan antar kolom menggunakan baut didapat jumlah kebutuhan baut untuk *web* sejumlah 2 buah baut dan untuk *flens* sejumlah 6 buah baut. Perhitungan jarak antar baut sudah disesuaikan dengan persyaratan jarak antar baut menurut SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.

(Halaman dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada perencanaan Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya ini menggunakan jenis desain struktur komposit baja-beton, dimana pada balok menggunakan elemen baja yang dikomposit dengan pelat beton yang dilengkapi *shear connector*, sedangkan pada kolom menggunakan elemen baja saja. Perencanaan ini menggunakan 3 tipe profil WF, yaitu pada balok induk menggunakan profil 14' WF 14x12, balok anak menggunakan profil 10' WF 10x8 dan kolom menggunakan profil WF 400x400x13x21. Sedangkan pada sambungan terdiri dari sambungan balok-kolom dan sambungan antar kolom yang menggunakan sambungan las elektroda dengan $f_{u w} = 560$ Mpa dan sambungan baut tipe A325 dengan $\varnothing = 19$ mm. Perencanaan ini berdasar pada LRFD (*Load Resistance Factor Design*). Beban dianalisis dengan metode respon *spectrum* dengan bantuan program aplikasi analisis struktur. Struktur komposit memiliki beberapa keunggulan diantaranya kekakuan pelat lantai meningkat sehingga lendutan yang terjadi dapat berkurang jika dibandingkan dengan eksisting beton bertulang. Dimensi balok dan kolom yang didapat juga lebih kecil sehingga beban bangunan berkurang.

5.2 Saran

Pada perencanaan struktur komposit terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain mengenai pengaruh kontinuitas dan lendutan jangka panjang. Aksi komposit kurang berfungsi pada penampang yang memikul momen negatif dimana pada daerah momen lentur negatif hanya tulangan beton yang memikul gaya tarik. Maka diperlukan pembatasan dalam aksi komposit terutama pada lebar efektif dan rasio modulus elastisitas. Selain itu, untuk merencanakan struktur komposit yang dapat dipertanggung jawabkan, disarankan teliti dalam *input* data dalam program analisis dan memahami betul konsep dan teori dalam menganalisis struktur komposit. Permasalahan yang timbul biasanya berupa pemahaman peraturan yang berlaku dan penggunaan profil baja yang dipilih. Penggunaan profil baja disarankan menggunakan profil yang ada dipasaran.

(Halaman dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

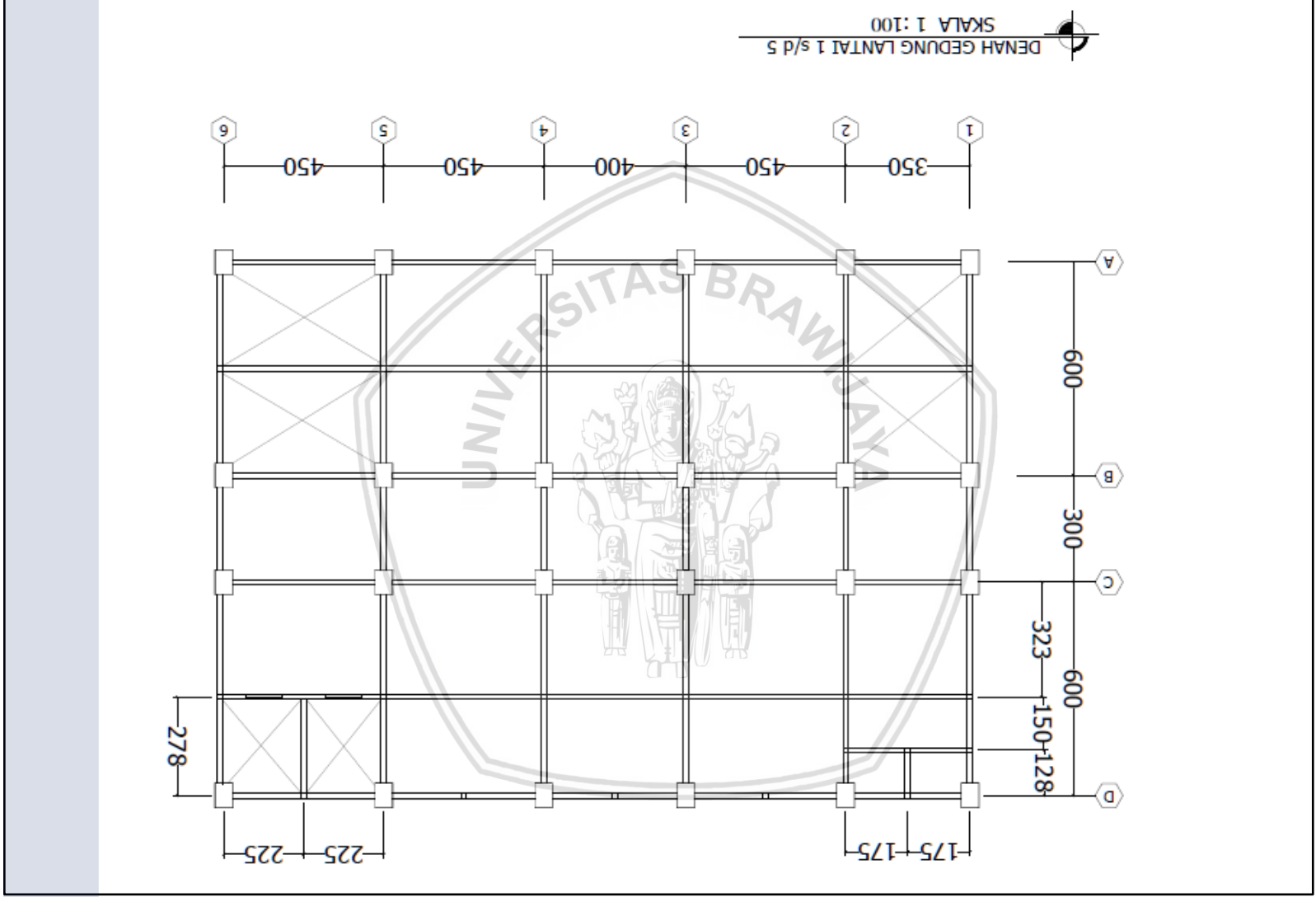
- Badan Standarisasi Nasional. (1983). *Peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1726-2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bngunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-2487-2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1729-2002*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B., & Supriatna, L. (2002). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 Dan RSNI 03-1726-201x*. Jakarta: Erlangga.
- Gunawan, Ir. Rudy dengan petunjuk Ir. Morisco, 1998. *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius. Yogyakarta
- Lahamukang, K.S., Pah, J.J.S. & Messah, Y.A. (2014). Kuat Geser Komposit Baja-Beton Dengan Variasi Bentuk Penghubung Geser Ditinjau Dari Uji Geser Murni. *Jurnal Teknik Sipil Vol.(3)*
- Nasution, A. (2000). *Analisa Struktur dengan Metoda Matrik*. Bandung: Penerbit ITB.
- Pujianto, A. (2011). *Struktur Komposit Dengan Metode LRFD*: MIT Press. <https://ekhalmussaad.files.wordpress.com/2011/03/7-komposit.doc>. (diakses 4 Februari 2018)
- Salmon, C. G., & Johnson, J. E. (1991). *Struktur Baja Desain Dan Perilaku jilid 2 Edisi Kedua*. Diterjemahkan oleh: Ir. Wira M. S. CE. Jakarta: Erlangga.
- Schueller, W. (1991). *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. Bandung: Refika Aditama.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Erlangga.
- Smith, J. C. (1996). *Structural steel design LRFD Approach Second Edition*. John Wiley & Son, Inc: United Stated of America.

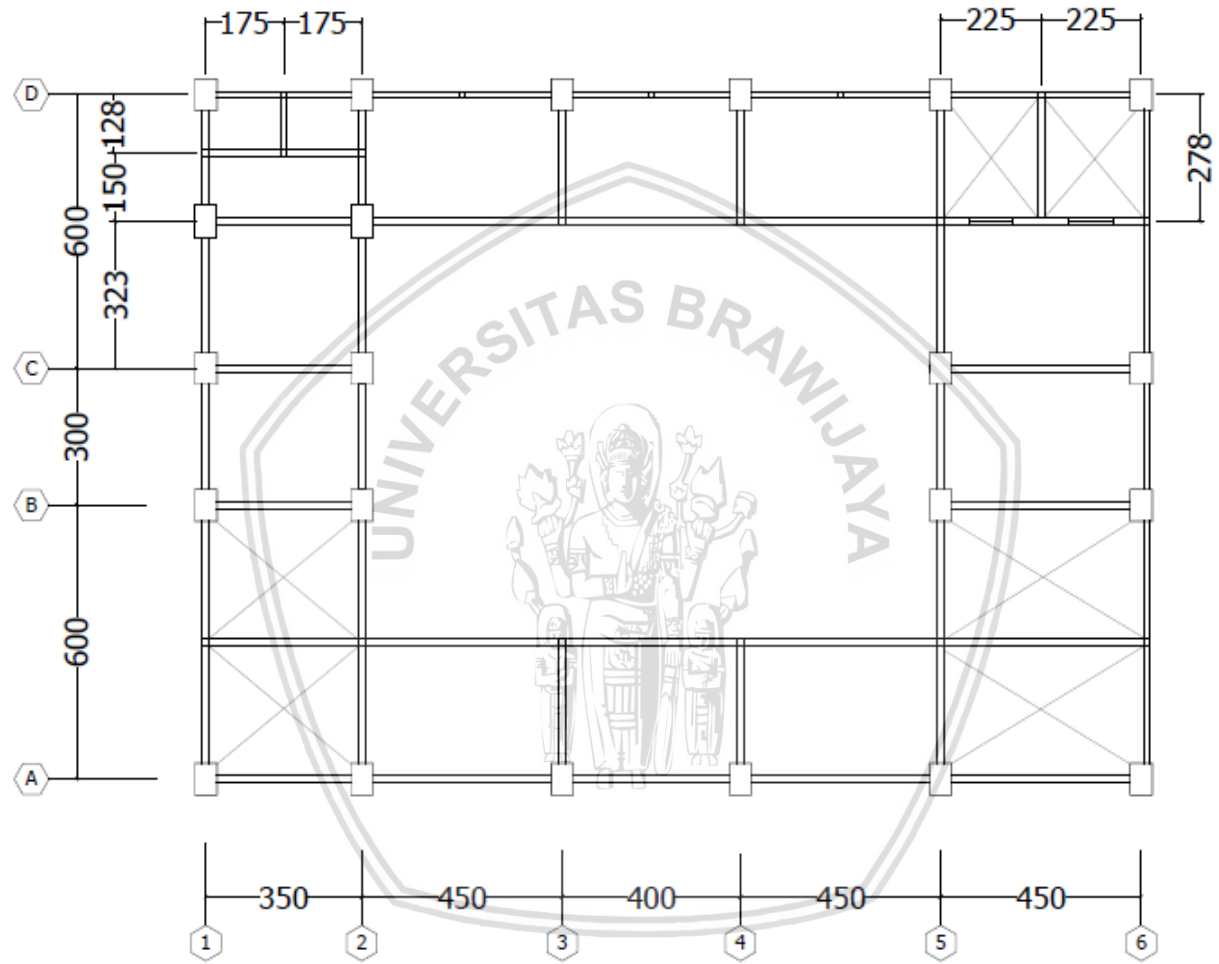
Tular, R. B. 1984. *Perencanaan Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.











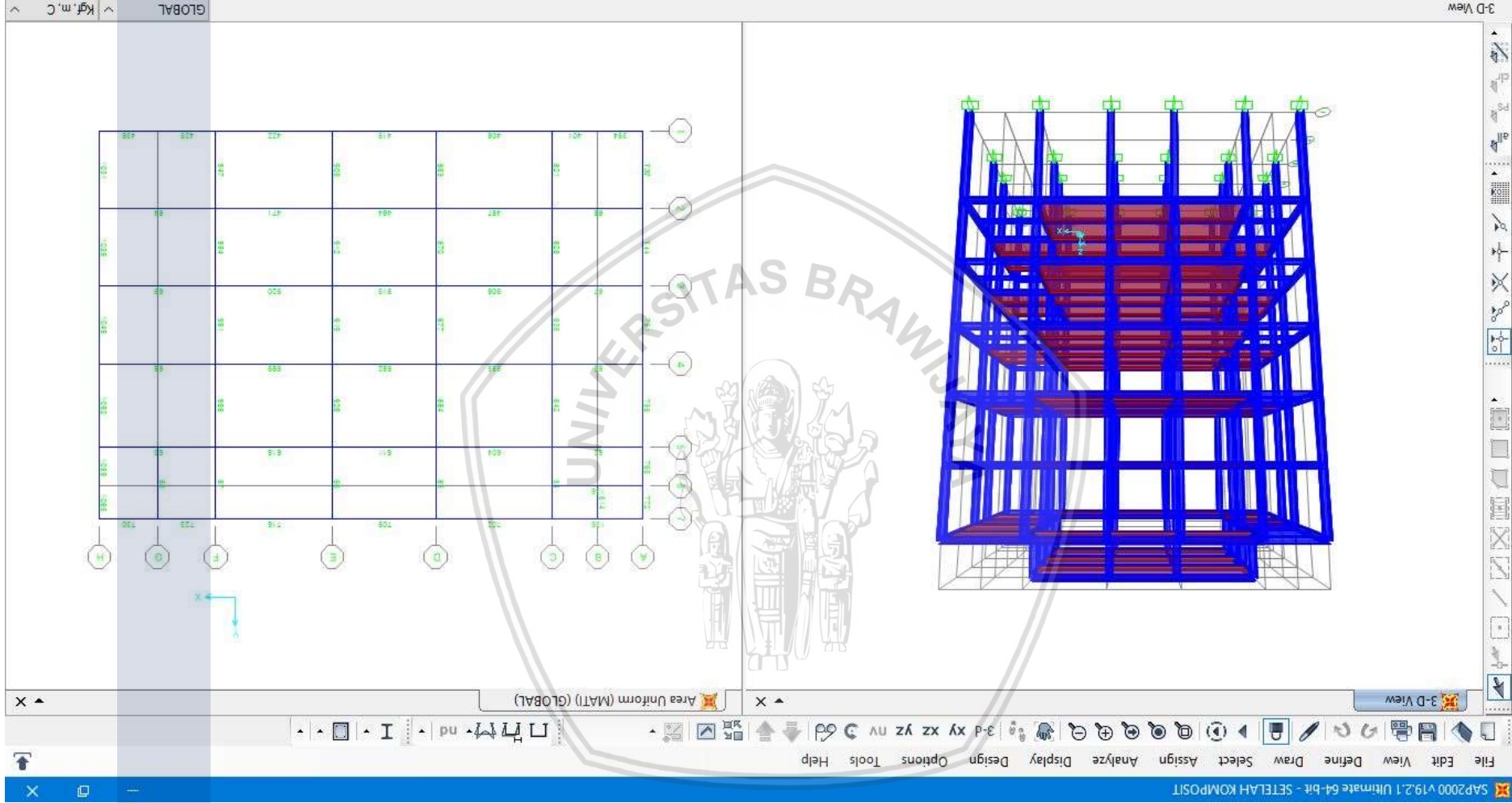
DENAH GEDUNG LANTAI 6
SKALA 1 :100



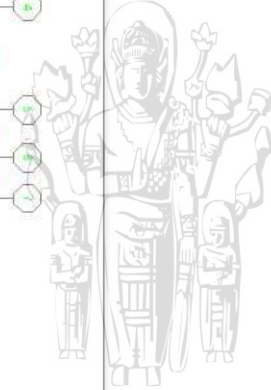
(Halaman dikosongkan)



LAMPIRAN 2 PEMODELAN SAP2000 v19



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



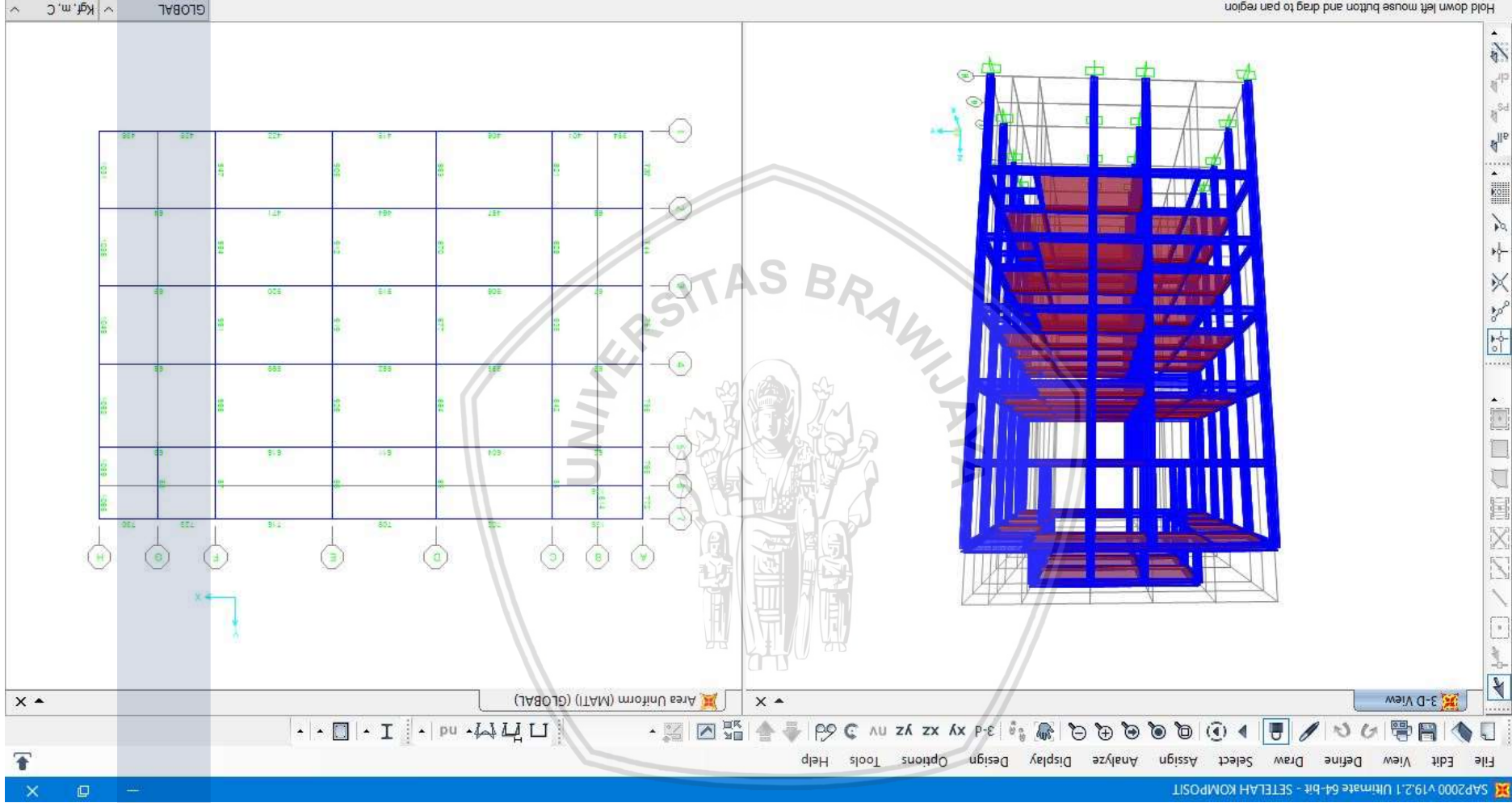
SAP2000 v19.2.1 Ultimate 64-bit - SETELAH KOMPOSIT

File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

3-D View Area Uniform (MAT) (GLOBAL)

Hold down left mouse button and drag to pan region

X:14,768 Y:20,804 Z:10 GLOBAL Kgf, m, C



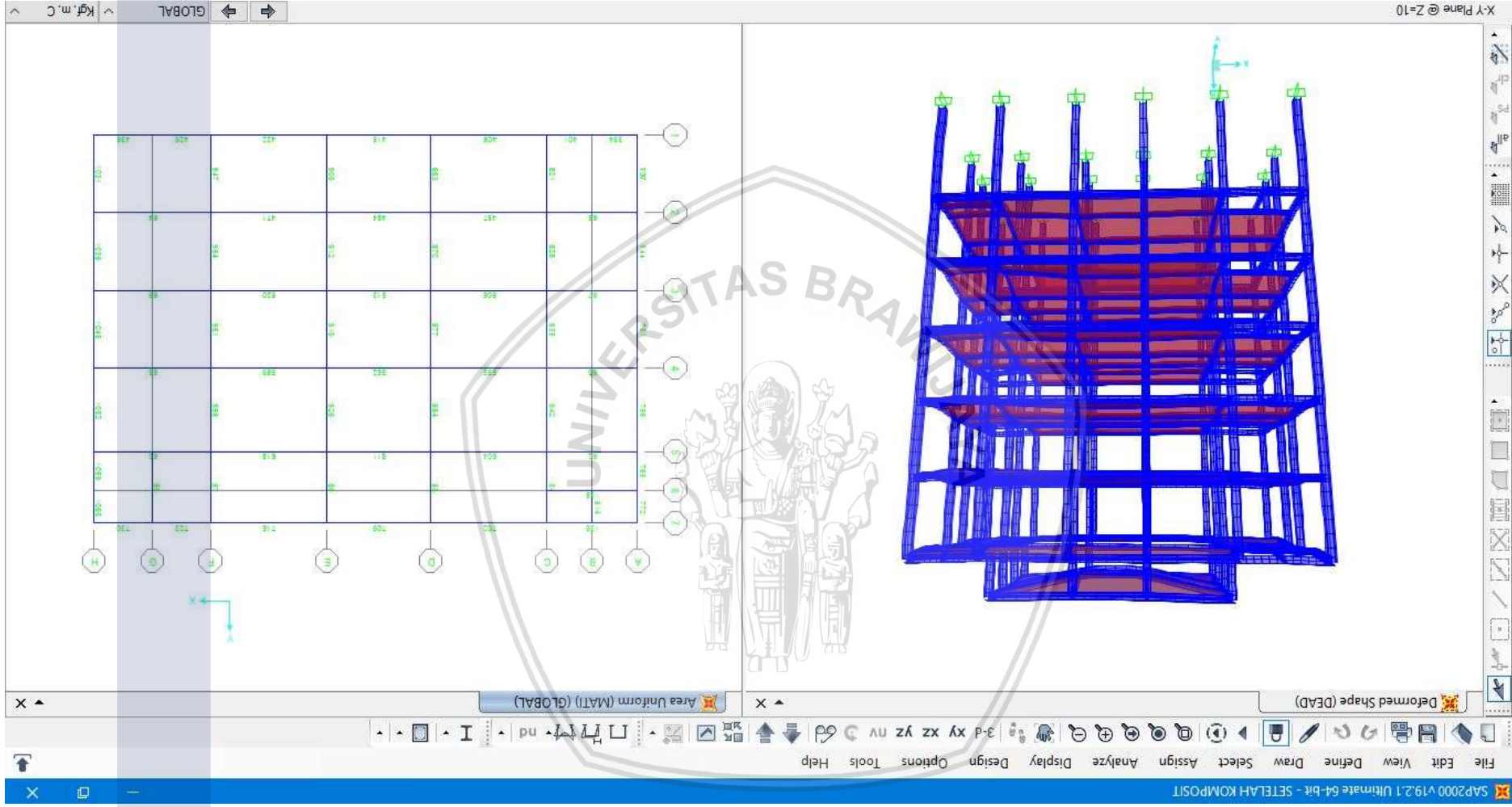
SAP2000 v19.2.1 Ultimate 64-bit - SETELAH KOMPOSIT

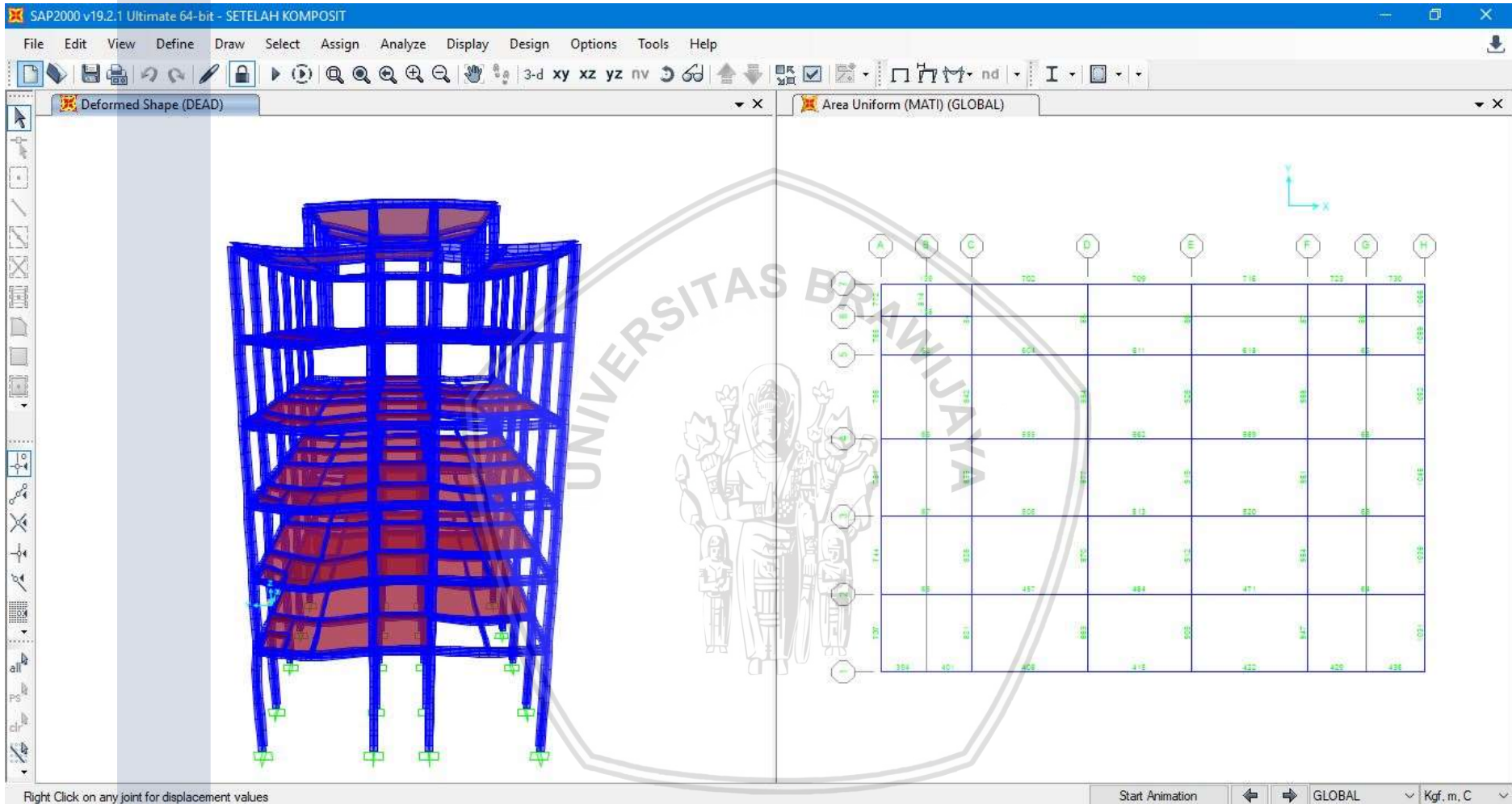
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help

3-D View Area Uniform (MAT) (GLOBAL)

Hold down left mouse button and drag to pan region

X:18,097 Y:22,169 Z:10, GLOBAL Kgf, m, C







(Halaman dikosongkan)



- Gaya-gaya dalam yang terjadi pada Balok 1 profil 14' WF 14x12

Momen (M) maksimum

Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
70	0,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	-2376,65	-82,36	-1	-102,02	-803,41	70-1	0,5
70	1	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	-1582,41	-82,36	-1	-60,84	186,35	70-1	1
70	1,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	-788,16	-82,36	-1	-19,66	778,99	70-1	1,5
70	2	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	6,08	-82,36	-1	21,52	974,51	70-1	2
70	2,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	800,32	-82,36	-1	62,7	772,92	70-1	2,5
70	3	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	1594,56	-82,36	-1	103,89	174,2	70-1	3
70	3,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		532,38	2388,8	-82,36	-1	145,07	-821,65	70-1	3,5
70	0	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	18258,59	280,43	-0,08033	506,63	36883,31	70-1	0
70	0,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	18854,27	280,43	-0,08033	366,6	27605,1	70-1	0,5
70	1	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	19449,95	280,43	-0,08033	226,8	18029,05	70-1	1
70	1,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	20045,64	280,43	-0,08033	88,4	8155,17	70-1	1,5
70	2	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	20641,32	280,43	-0,08033	86,14	3404,51	70-1	2
70	2,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	21237	280,43	-0,08033	273,98	13426,11	70-1	2,5
70	3	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	21832,68	280,43	-0,08033	464,16	23149,93	70-1	3
70	3,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3693,58	22428,36	280,43	-0,08033	654,63	32575,9	70-1	3,5
70	0	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-22723,89	-381,36	-1,11	-681,13	-39660,63	70-1	0
70	0,5	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-22128,21	-381,36	-1,11	-490,63	-28447,61	70-1	0,5
70	1	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-21532,53	-381,36	-1,11	-300,37	-17532,43	70-1	1
70	1,5	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-20936,85	-381,36	-1,11	-111,51	-6915,1	70-1	1,5
70	2	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-20341,17	-381,36	-1,11	-58,78	-2016,68	70-1	2
70	2,5	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-19745,49	-381,36	-1,11	-196,16	-12486,2	70-1	2,5
70	3	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-3028,04	-19149,8	-381,36	-1,11	-335,87	-23253,61	70-1	3

Gaya Lintang (D) maksimum

Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
70	2	1,2D + 1,6R + L	Combination		517,6	38,41	-79,85	-0,96	20,98	966,3	70-1	2
70	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		517,6	832,66	-79,85	-0,96	60,9	748,53	70-1	2,5
70	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		517,6	1626,9	-79,85	-0,96	100,83	133,64	70-1	3
70	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		517,6	2421,14	-79,85	-0,96	140,75	-878,37	70-1	3,5
70	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	17352,69	251,05	-0,45	455,15	36138,13	70-1	0
70	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	18146,93	251,05	-0,45	329,81	27263,23	70-1	0,5
70	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	18941,17	251,05	-0,45	204,71	17991,21	70-1	1
70	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	19735,41	251,05	-0,45	81	8322,08	70-1	1,5
70	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	20529,66	251,05	-0,45	93,43	3676,9	70-1	2
70	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	21323,9	251,05	-0,45	295,97	13704,68	70-1	2,5
70	3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	22118,14	251,05	-0,45	500,84	23335,41	70-1	3
70	3,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	3878,41	22912,38	251,05	-0,45	706,01	32569,02	70-1	3,5
70	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-23629,79	-410,75	-1,48	-732,61	-40405,81	70-1	0
70	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-22835,55	-410,75	-1,48	-527,42	-28789,48	70-1	0,5
70	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-22041,31	-410,75	-1,48	-322,46	-17570,27	70-1	1
70	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-21247,07	-410,75	-1,48	-118,9	-6748,19	70-1	1,5
70	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-20452,83	-410,75	-1,48	-51,48	-1744,3	70-1	2
70	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-19658,59	-410,75	-1,48	-174,17	-12207,62	70-1	2,5
70	3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-18864,34	-410,75	-1,48	-299,19	-23068,12	70-1	3
70	3,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2843,21	-18070,1	-410,75	-1,48	-424,5	-34325,75	70-1	3,5
70	0	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	570,49	-3109,11	43,63	-0,91	101,2	-2079,41	70-1	0
70	0,5	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	570,49	-2314,87	43,63	-0,91	79,41	-723,41	70-1	0,5

Gaya Normal (N) maksimum

Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
572	4,5	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		2609,53	-186,84	0,94	1,68	-4,43	891,11	572-1	4,5
572	0	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-829,97	1,12	1,53	0,63	-1419,02	572-1	0
572	0,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-755,73	1,12	1,53	0,06775	-1022,59	572-1	0,5
572	1	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-681,49	1,12	1,53	-0,49	-663,29	572-1	1
572	1,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-607,25	1,12	1,53	-1,06	-341,1	572-1	1,5
572	2	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-533,01	1,12	1,53	-1,62	-56,04	572-1	2
572	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-458,77	1,12	1,53	-2,18	191,9	572-1	2,5
572	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-384,52	1,12	1,53	-2,74	402,73	572-1	3
572	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-310,28	1,12	1,53	-3,3	576,43	572-1	3,5
572	4	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-236,04	1,12	1,53	-3,86	713,01	572-1	4
572	4,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2608,44	-161,8	1,12	1,53	-4,43	812,47	572-1	4,5
572	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4279,43	438,94	1,86	971,93	9244,68	572-1	0
572	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4353,67	438,94	1,86	752,8	7086,53	572-1	0,5
572	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4427,91	438,94	1,86	533,95	4891,38	572-1	1
572	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4502,15	438,94	1,86	315,95	2659,52	572-1	1,5
572	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4576,4	438,94	1,86	104,19	397,97	572-1	2
572	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4650,64	438,94	1,86	131,01	2304,13	572-1	2,5
572	3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4724,88	438,94	1,86	343,85	5068,55	572-1	3
572	3,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4799,12	438,94	1,86	560,92	7796,62	572-1	3,5
572	4	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4873,36	438,94	1,86	778,71	10487,75	572-1	4
572	4,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	7814,93	4947,6	438,94	1,86	996,74	13141,82	572-1	4,5
572	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-2598,05	-5939,38	-436,69	1,2	-970,67	-12082,73	572-1	0

- Gaya-gaya dalam yang terjadi pada Balok 2 profil 10' WF 10x8

Momen (M) maksimum

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
842	1,38429	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1093,24	-7539,95	-137,33	-5,19	-36,64	235,45	842-1	1,38429
842	1,84571	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1093,24	-6838,93	-137,33	-5,19	-104,03	3520,2	842-1	1,84571
842	2,30714	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1093,24	-6137,91	-137,33	-5,19	-180,92	6214,88	842-1	2,30714
842	2,76857	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1093,24	-5436,9	-137,33	-5,19	-259,24	8372,83	842-1	2,76857
842	3,23	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1093,24	-4735,88	-137,33	-5,19	-338,02	10189,66	842-1	3,23
842	0	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-7466,92	81,3	-1,46	138,48	-7125,95	842-1	0
842	0,46143	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-6765,9	81,3	-1,46	100,97	-3842,23	842-1	0,46143
842	0,92286	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-6064,88	81,3	-1,46	63,47	-881,99	842-1	0,92286
842	1,38429	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-5363,86	81,3	-1,46	26,03	1754,79	842-1	1,38429
842	1,84571	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-4662,85	81,3	-1,46	3,79	4068,11	842-1	1,84571
842	2,30714	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-3961,83	81,3	-1,46	25,05	6761,9	842-1	2,30714
842	2,76857	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-3260,81	81,3	-1,46	46,58	9900,09	842-1	2,76857
842	3,23	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-422,57	-2559,79	81,3	-1,46	68,13	12714,83	842-1	3,23
842	0	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-10656,68	-46,73	-1,6	-82,88	-13781,23	842-1	0
842	0,46143	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-9955,66	-46,73	-1,6	-61,32	-9025,68	842-1	0,46143
842	0,92286	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-9254,64	-46,73	-1,6	-39,78	-4593,59	842-1	0,92286
842	1,38429	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-8553,62	-46,73	-1,6	-18,29	-484,97	842-1	1,38429
842	1,84571	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-7852,6	-46,73	-1,6	-12	3300,17	842-1	1,84571
842	2,30714	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-7151,59	-46,73	-1,6	-49,21	6057,9	842-1	2,30714
842	2,76857	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-6450,57	-46,73	-1,6	-86,69	7724,28	842-1	2,76857
842	3,23	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-886,32	-5749,55	-46,73	-1,6	-124,2	9067,18	842-1	3,23
842	0	1,2D + L + 0,5R	Combination		-660,72	-9271,52	17,97	-1,53	28,93	-10741,12	842-1	0

Gaya Lintang (D) maksimum

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
772	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	-418,76	10288,27	617,13	3,52	222,94	3793,98	772-1	0
772	0,42333	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	-418,76	10931,41	617,13	3,52	36,91	30,17	772-1	0,42333
772	0,84667	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	-418,76	11574,55	617,13	3,52	291,88	-4005,25	772-1	0,84667
772	1,27	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	-418,76	12217,69	617,13	3,52	547,14	-8312,63	772-1	1,27
772	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1220,16	8565,59	-603,03	-17,63	-218,78	1708,51	772-1	0
772	0,42333	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1220,16	9208,73	-603,03	-17,63	-38,72	-2781,41	772-1	0,42333
772	0,84667	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1220,16	9851,87	-603,03	-17,63	-299,67	-7544,24	772-1	0,84667
772	1,27	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-1220,16	10495,02	-603,03	-17,63	-560,9	-12579,66	772-1	1,27
772	0	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-619,42	10942,39	138,38	-6,92	49,28	4610,8	772-1	0
772	0,42333	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-619,42	11585,53	138,38	-6,92	7,55	1125,48	772-1	0,42333
772	0,84667	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-619,42	12228,67	138,38	-6,92	60,11	-2632,1	772-1	0,84667
772	1,27	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	-619,42	12871,81	138,38	-6,92	112,71	-6661,95	772-1	1,27
772	0	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-1019,5	7911,47	-124,27	-7,19	-45,12	891,68	772-1	0
772	0,42333	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-1019,5	8554,61	-124,27	-7,19	-9,36	-3876,72	772-1	0,42333
772	0,84667	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-1019,5	9197,75	-124,27	-7,19	-67,89	-8917,39	772-1	0,84667
772	1,27	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-1019,5	9840,9	-124,27	-7,19	-126,47	-14230,33	772-1	1,27
772	0	1,2D + L + 0,5R	Combination		-838,16	9642,98	7,47	-7,18	2,23	2805,05	772-1	0
772	0,42333	1,2D + L + 0,5R	Combination		-838,16	10286,13	7,47	-7,18	-0,94	-1413,27	772-1	0,42333
772	0,84667	1,2D + L + 0,5R	Combination		-838,16	10929,27	7,47	-7,18	-4,1	-5903,87	772-1	0,84667
772	1,27	1,2D + L + 0,5R	Combination		-838,16	11572,41	7,47	-7,18	-7,26	-10666,72	772-1	1,27
772	0	0,9D + 1Ex	Combination	Max	-143,78	7121,33	613,8	5,74	221,88	2904,38	772-1	0
772	0,42333	0,9D + 1Ex	Combination	Max	-143,78	7603,68	613,8	5,74	37,26	515,28	772-1	0,42333

Gaya Normal (N) maksimum

TABLE: Element Forces - Frames												
Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
Text	m	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	Text	m
475	2	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	225,06	-18,02	0,65	11,07	998	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	714,68	-18,02	0,65	20,08	763,07	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	1204,29	-18,02	0,65	29,09	283,32	475-1	3
475	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	1693,91	-18,02	0,65	38,1	-441,23	475-1	3,5
475	4	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	2183,53	-18,02	0,65	47,12	-1410,59	475-1	4
475	4,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2956,73	2673,14	-18,02	0,65	56,13	-2624,76	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	-735,29	344,02	0,75	818,75	1927,69	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	-245,67	344,02	0,75	646,76	2172,93	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	243,94	344,02	0,75	474,78	2173,37	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	733,56	344,02	0,75	302,84	1929,01	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	1223,18	344,02	0,75	131,11	1439,87	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	1712,79	344,02	0,75	82,41	821,01	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	2202,41	344,02	0,75	271,78	839,73	475-1	3
475	3,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	2692,03	344,02	0,75	461,71	614,2	475-1	3,5
475	4	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	3181,64	344,02	0,75	651,71	143,89	475-1	4
475	4,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	5760,3	3671,26	344,02	0,75	841,72	-571,23	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-2731,52	-380,07	0,55	-868,71	-2948,37	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-2241,9	-380,07	0,55	-678,7	-1705,02	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-1752,29	-380,07	0,55	-488,7	-706,48	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-1262,67	-380,07	0,55	-298,73	47,25	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-773,05	-380,07	0,55	-108,98	556,13	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	153,15	-283,44	-380,07	0,55	-42,26	705,12	475-1	2,5

Lendutan Maksimum

Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-0,04761	-0,0136	-0,0025	-0,00089	-0,00325	-0,00101
3	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	0,000477	0,022527	-0,001	0,000952	0,000138	0,000136
3	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-8,2E-05	-0,02469	-0,00142	-0,00145	0,000101	-8,4E-05
3	1,2D + L + 0,5R	Combination		0,000205	-0,00112	-0,00122	-0,00025	0,000123	0,000027
3	0,9D + 1Ex	Combination	Max	0,047924	0,011832	0,00041	0,000452	0,00345	0,001053
3	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-0,04769	-0,0132	-0,00217	-0,00083	-0,0033	-0,00102
3	0,9D + 1Ey	Combination	Max	0,000398	0,022924	-0,00067	0,001012	0,000095	0,000128
3	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-0,00016	-0,0243	-0,00109	-0,00139	0,000058	-9,2E-05
4	1,4 D	Combination		0,000284	-0,00128	-0,00176	-0,00036	0,000136	0,000014
4	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		0,000352	-0,00141	-0,00159	-0,00032	0,000152	0,000012
4	1,2D + 1,6R + L	Combination		0,000311	-0,00129	-0,00156	-0,00032	0,000139	0,000012
4	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	0,064118	0,014859	-3E-06	0,000228	0,003072	0,001371
4	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Min	-0,0635	-0,01745	-0,00311	-0,00086	-0,00279	-0,00135
4	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Max	0,000677	0,02899	-0,0013	0,000709	0,000155	0,000148
4	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	-5,4E-05	-0,03158	-0,00181	-0,00134	0,000123	-0,00012
4	1,2D + L + 0,5R	Combination		0,000325	-0,00133	-0,00157	-0,00032	0,000143	0,000012
4	0,9D + 1Ex	Combination	Max	0,063989	0,015327	0,000423	0,000312	0,003021	0,001368
4	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-0,06362	-0,01698	-0,00269	-0,00078	-0,00285	-0,00135
4	0,9D + 1Ey	Combination	Max	0,000548	0,029458	-0,00088	0,000793	0,000103	0,000144
4	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-0,00018	-0,03111	-0,00139	-0,00126	0,000071	-0,00013
5	1,4 D	Combination		0,000398	-0,0015	-0,00205	-0,00036	0,000147	0,000058
5	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		0,000502	-0,00161	-0,00185	-0,00031	0,000168	0,000058