

**PERENCANAAN ALTERNATIF STRUKTUR NONKOMPOSIT
GEDUNG LABORATORIUM KEBENCANAAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**DICKY WIRASATYA WARDHANA
NIM. 145060101111004**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**



LEMBAR PENGESAHAN
PERENCANAAN ALTERNATIF STRUKTUR NONKOMPOSIT
GEDUNG LABORATORIUM KEBENCANAAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DICKY WIRASATYA WARDHANA
NIM. 145060101111004

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

Dr. Eng. Lilya Susanti, ST, MT
NIK. 201102 850221 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 Nonkomposit Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Nama Mahasiswa : Dicky Wirasatya Wardhana

NIM : 145060101111004

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

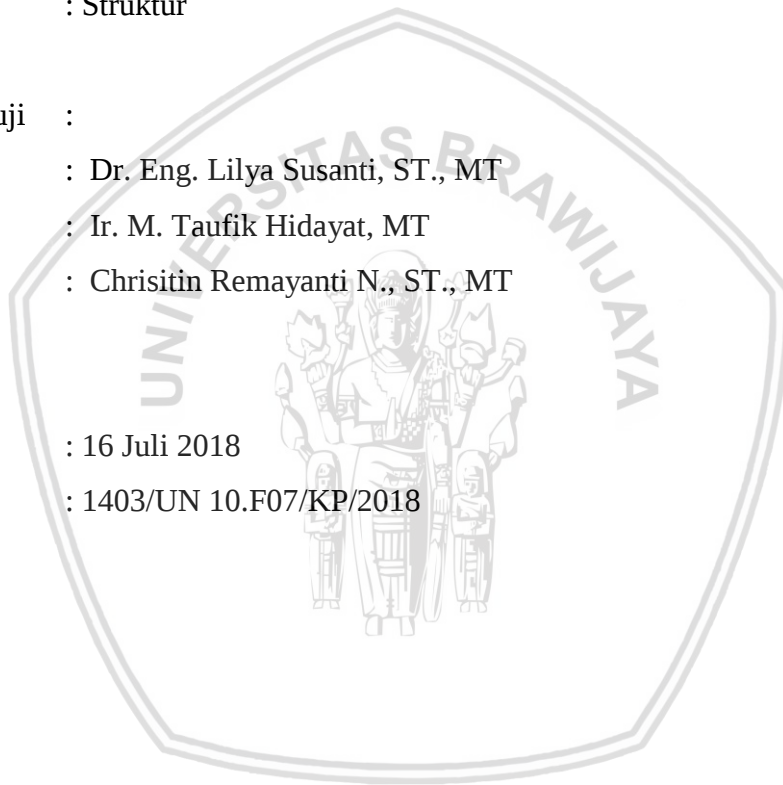
Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT

Dosen Penguji 2 : Ir. M. Taufik Hidayat, MT

Dosen Penguji 3 : Chrisitin Remayanti N., ST., MT

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, 18 Juli 2018

Mahasiswa,

Dicky Wirasatya Wardhana

Nim. 145060101111004





SERTIFIKAT PLAGIASI





RIWAYAT HIDUP

Dicky Wirasatya Wardhana, lahir di Malang, 25 April 1996, anak kedua dari Bapak Karnoto dan Ibu Nunuk. Mulai memasuki bangku sekolah di SD Dharma Wanita sejak tahun 2001 dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 13 Malang dan lulus pada tahun 2010. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMA Swasta Brawijaya Smart School Malang dan lulus pada tahun 2014. Kemudian mengenyam bangku perkuliahan hingga lulus S1 (Strata 1) pada tahun 2018 dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Selama kuliah aktif dalam kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Juni 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 Teknik Sipil”

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. Bapak, Ibu, dan segenap keluarga besar yang telah memberi dukungan moral dan materil demi menyelesaikan tugas akhir ini,
2. Dr.Eng. Alwafi Pujiharjo, ST.,MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
3. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,
4. Ir. M. Taufik Hidayat, MT. dan Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir,
5. Christin Remayanti N., ST., MT. selaku dosen penguji tugas akhir,
6. Staff Recording yang telah membantu dalam administrasi dari awal hingga akhir,
7. Rekan tim penelitian M.Faizal I., Besar Wira D., Fahrizal Dwi C., yang telah bekerja sama dan berjuang selama beberapa semester,
8. Rekan – rekan Teknik Sipil Angkatan 2014 atas bantuan, dukungan dan kebersamaan selama ini.

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, 16 Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	.iii
DAFTAR TABEL	.vii
DAFTAR GAMBAR.....	.ix
DAFTAR LAMPIRAN	.xi
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY.....	.xvii

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.....	2
1.6 Manfaat	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tahan Gempa	5
2.1.1 Umum	5
2.1.2 Perencanaan bangunan tahan gempa	5
2.2 Struktur Baja.....	6
2.2.1 Kelebihan	6
2.2.2 Kekurangan	7
2.3 Kriteria Perencanaan	7
2.3.1 Kombinasi beban berfaktor.....	7
2.3.2 Analisis beban gempa SNI 1726-2012	8
2.3.2.1 Wilayah gempa.....	8
2.3.2.2 Respon spektrum percepatan gempa maksimum	9
2.3.2.3 Parameter percepatan spectrum desain.....	11
2.3.2.4 Parameter periode fundamental pendekatan.....	11
2.3.2.5 Spectrum respons desain	12
2.3.2.6 Geser dasar seismik	13

2.3.2.7	Distribusi gaya gempa	13
2.3.2.8	Kategori Gedung	14
2.3.2.9	Konfigurasi struktur gedung.....	17
2.3.3	Sistem struktur	17
2.4	Balok	18
2.4.1	Tegangan Lentur dan Momen Plastis	19
2.4.2	Stabilitas.....	20
2.4.3	Klasifikasi Bentuk Profil.....	20
2.4.4	Kuat Geser	21
2.4.5	Lendutan	22
2.5	Balok - Kolom	23
2.6	Konsep Perencanaan Baja	25
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN		
3.1	Pengumpulan Data	27
3.2	Data Perencanaan	27
3.2.1	Data umum gedung.....	27
3.2.2	Data teknis gedung.....	28
3.3	Prosedur Perencanaan.....	28
3.3.1	Analisis pembebanan	28
3.3.2	Analisis statika	29
3.3.3	Desain penampang	29
3.3.4	Gambar struktur	30
3.3.5	Diagram alur perencanaan	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perencanaan Dimensi Struktur.....	35
4.1.1	Penentuan tebal pelat	35
4.1.2	Penentuan dimensi balok	35
4.1.3	Penentuan dimensi kolom.....	36
4.2	Perencanaan pembebanan.....	36
4.3	Analisis Beban Gempa	38
4.4	Pemodelan pada SAP2000 v18	42
4.5	Perencanaan Balok	43
4.5.1	Kontrol Profil Secara Perbagian	43
4.5.1.1	Balok Induk	43

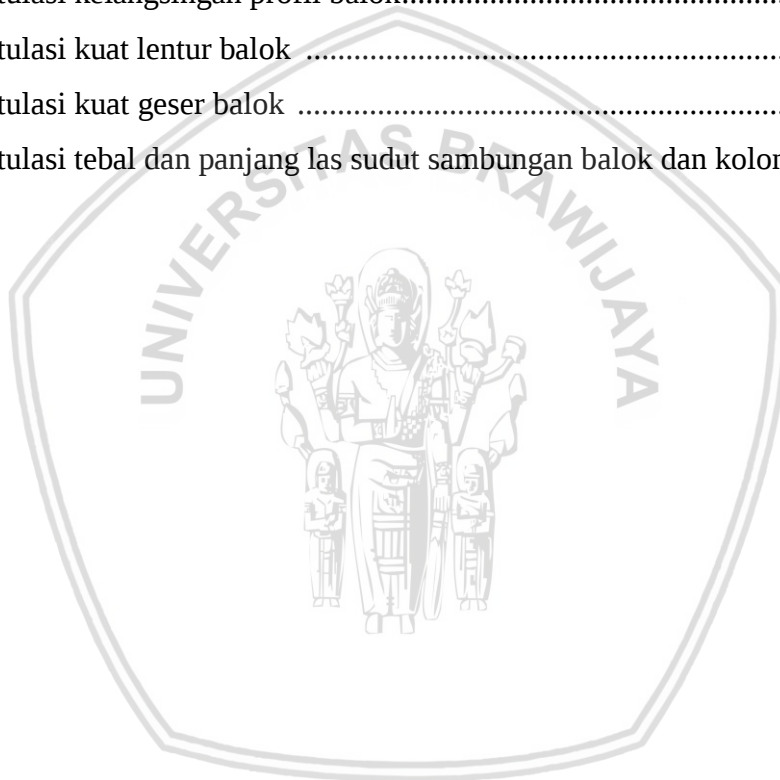
4.5.1.2	Balok Anak.....	44
4.5.2	Kontrol Profil Secara Perbagian	45
4.5.2.1	Balok Induk	45
4.5.2.2	Balok Anak.....	46
4.5.3	Lendutan	48
4.6	Perencanaan Kolom	49
4.6.1	Kontrol penampang.....	50
4.6.2	Akibat portal tak bergoyang.....	51
4.6.3	Akibat portal bergoyang	58
4.7	Perencanaan Sambungan.....	65
4.7.1	Sambungan antar balok - kolom	65
4.7.2	Sambungan antar kolom	69
4.8	Pembahasan.....	74
4.8.1	Pembahasan balok.....	74
4.8.2	Pembahasan kolom.....	75
4.8.3	Pembahasan sambungan.....	76
BAB V Penutup		
5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....		79
LAMPIRAN.....		81

(Halaman dikosongkan)



DAFTAR TABEL

NO	Judul	Halaman
	Tabel 2.1 Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012 Pasal 5.3).....	10
	Tabel 2.2 Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2012 Pasal 6.2).....	11
	Tabel 2.3 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	14
	Tabel 2.4 Faktor keutamaan gempa	17
	Tabel 2.5 Batas lendutan maksimum (SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1).....	22
	Tabel 4.1 Rekapitulasi kelangsingan profil balok.....	44
	Tabel 4.2 Rekapitulasi kuat lentur balok	48
	Tabel 4.3 Rekapitulasi kuat geser balok	48
	Tabel 4.4 Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut sambungan balok dan kolom	69



(Halaman dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

NO	Judul	Halaman
Gambar 2.1	C_{RS} , koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik.....	8
Gambar 2.2	C_{RS} , koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 1 detik.....	9
Gambar 2.3	Spektrum respons desain.....	12
Gambar 2.4	Profil Baja <i>Wide Flange Shapes</i>	18
Gambar 2.5	Pembebanan Pada Balok.....	19
Gambar 2.6	Tegangan Lentur	19
Gambar 2.7	Momen Plastis.....	20
Gambar 2.8	Spesifikasi Profil <i>Wide Flange Shapes</i>	20
Gambar 2.9	Mekanisme Terjadinya Lendutan.....	23
Gambar 2.10	Faktor Pembesaran Momen	23
Gambar 4.1	Denah Balok Gedung Laboratorium Kebencanaan.	35
	Teknik Sipil Universitas Brawijaya	
Gambar 4.2	Denah Kolom Gedung Laboratorium Kebencanaan.....	36
	Teknik Sipil Universitas Brawijaya	
Gambar 4.3	Peta lokasi gedung Lab.Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya	39
Gambar 4.4	Respon spectral percepatan di permukaan	39
Gambar 4.5	Respons spectrum desain	41
Gambar 4.6	Letak terjadinya lendutan maksimum pada profil WF 350.350.12.19.....	49
Gambar 4.7	Letak terjadinya N_u maximum pada profil WF 350.350.12.19.....	50
Gambar 4.8	Struktur portal yang ditinjau	51
Gambar 4.9	Nomogram faktor panjang tekuk, k (SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2)	52
Gambar 4.10	Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x	55
Gambar 4.11	Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y	57
Gambar 4.12	Nomogram faktor panjang tekuk, k (SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2)	58
Gambar 4.13	Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x	62
Gambar 4.14	Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y	64
Gambar 4.15	Sambungan las balok pada kolom	69
Gambar 4.16	Sambungan baut antar kolom, tampak web (a),.....	73
	tampak flens (b), tampak 3 dimensi (c)	

(Halaman dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

NO	Judul	Halaman
	Lampiran 1 Denah Gedung.....	81
	Lampiran 2 Pemodelan SAP2000 v18.....	85
	Lampiran 3 Perhitungan SAP2000 v18	93



(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	S

	atau mm ²	
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

Dicky wirasatya Wardhana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Perencanaan Struktur Nonkomposit Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, Dosen Pembimbing: Ir. M. Taufik Hidayat, MT., . Dr. Eng Lilya Susanti, ST ,MT .

Pembangunan di Indonesia berkembang sangat pesat di segala aspek seiring dengan kemajuan jaman, contohnya adalah Kota Malang dengan segala potensinya menjadikan daerah ini sebagai daya Tarik setiap orang untuk memenuhi kebutuhan. Dari aspek pendidikan, Universitas Brawijaya Malang merupakan salah satu PTN yang memiliki jumlah mahasiswa dalam kapasitas besar. Dengan adanya hal tersebut diperlukan bangunan yang memadai akan tetapi ketersediaan lahan semakin sempit. Oleh karena itu bangunan tinggi yang mampu menahan gaya gempa merupakan salah satu solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut. Sehingga tujuan penulisan skripsi ini untuk menjelaskan bagaimana perencanaan struktur nonkomposit yang mampu menahan gaya gempa.

Perencanaan pada skripsi ini menggunakan bahan nonkomposit pada bagian baloknya. Balok dan kolom yang digunakan adalah berupa baja dengan profil WF. Konsep perencanaan menggunakan metode LRFD. LRFD adalah 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 ($\sum \gamma_i Q_i$). faktor resistensi diperlukan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya kelebihan beban.

Pada perencanaan ini dilakukan beberapa kali percobaan dimensi balok dan kolom, hingga mendapatkan profil baja WF 350.350.12.19 untuk balok induk, WF 250.250.9.14 untuk balok anak, WF 400.400.13.21 untuk kolom yang mampu menahan gaya-gaya dalam yang terjadi dan memenuhi persyaratan yang ada di peraturan. Agar terjadi aksi komposit antara baja dengan beton, maka digunakan penghubung geser. Sambungan untuk antara balok-kolom digunakan las, dan sambungan antar kolom digunakan baut. Keuntungan dari pemakaian struktur nonkomposit ini adalah struktur menjadi lebih kaku serta panjang bentang layan untuk balok semakin besar.

Kata kunci : bangunan tinggi, gaya gempa, LRFD

(Halaman dikosongkan)



SUMMARY

Dicky Wirasatya Wardhana, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, June 2017, Alternative Design of Noncomposite Structure on Disaster Laboratory of Civil Engineering Department Brawijaya University Supervised by Ir. M. Taufik Hidayat, MT., . Dr. Eng Lilya Susanti, ST ,MT .

Development in Indonesia is growing very rapidly in all aspects, along with the advancement of the times, such as Malang city. Malang city with all its potential makes this area as the attraction of everyone to meet needs. From the aspect of education, unfortunately Brawijaya University is one of the PTN which has the number of students in large capacity. In the presence of it required adequate building, but the availability of more land is getting narrower. Therefore high buildings that can withstand earthquake forces is one solution to solve the problem. The purpose of writing this thesis to explain how the planning of composite structures that can withstand earthquake forces.

The Design on this paper using a noncomposite material on the beam. Beams and columns using a steel with WF profile. The concept of planning uses the LRFD method. LRFD is a steel structure planning method based on 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 ($\Sigma y_i.Q_i$). The resistance factor is needed to anticipate the possibility of overloading.

In this design several experiments carried out the dimensions of beams and columns, to obtain WF steel profile 350.350.12.19 used to primary beam, WF steel profile 250.250.9.14 used to secondary beam, and WF steel profile 400.400.13.21 used to column that is able to resist the inner forces that occur and meet the requirements in the regulations. In order for a noncomposite action between steel and concrete, a sliding connector is used. The joint for the beam-column is used weld, and the connection between the columns is used bolts. The advantage of using this noncomposite structure is that the structure becomes more rigid and the length of the span for the larger beam.

Keywords: high-rise buildings, earthquake force, LRFD

(Halaman dikosongkan)





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan di Indonesia berkembang sangat pesat di segala aspek, seiring dengan kemajuan jaman, contohnya adalah Kota Malang. Malang dengan segala potensinya menjadikan daerah ini sebagai daya tarik setiap orang untuk memenuhi kebutuhan. Dari aspek pendidikan, Universitas Brawijaya Malang merupakan salah satu PTN yang memiliki jumlah mahasiswa dalam kapasitas besar. Dengan adanya hal tersebut diperlukan bangunan yang memadai, akan tetapi ketersediaan lahan semakin sempit.

Dalam teknik sipil, gedung bertingkat merupakan suatu solusi untuk menangani permasalahan tersebut. Namun, melihat kondisi Kota Malang yang dikelilingi pegunungan aktif memungkinkan terjadinya gempa vulkanik, sehingga bangunan itu harus meninjau salah satu faktor yang dapat mempengaruhi pembebanan yaitu beban gempa. Oleh sebab itu diperlukan desain bangunan tahan gempa.

Pembangunan Gedung Lab. Kebencanaan yang terdapat di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya adalah satu dari sekian banyak gedung bertingkat. Tujuan didirikan Gedung Lab Kebencanaan adalah untuk sarana prasarana mahasiswa dalam memenuhi kebutuhan proses perkuliahan. Dibangun setinggi 7 lantai menggunakan struktur beton bertulang. Digunakan beton bertulang karena pengerjaan yang mudah dan tidak memerlukan keahlian khusus, tetapi memiliki kekurangan pada keefektifan bangunan akibat beban mati yang besar. Sehingga beban gempa yang dipikul semakin besar pula. Kelenakan lain yang terdapat pada beton bertulang adalah faktor suhu, waktu, kerja, atau produksi beton siap (ready mix). Bahan bangunan baja dapat digunakan untuk perencanaan ulang pada gedung Lab Kebencanaan sebab belum banyak digunakan pada gedung - gedung tinggi lainnya.

Profil baja efektif untuk bentang panjang sehingga dapat mengurangi penggunaan kolom. Akan tetapi di sisi lain kekurangan dari struktur baja ialah perawatan, serta biaya yang lebih mahal dibandingkan struktur beton. Dalam analisis ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan siswa terhadap analisis struktur nonkomposit.

1.2. Identifikasi Masalah

Masalah yang akan terjadi pada analisis ini adalah beban vertikal dan beban gempa yang diterima oleh profil baja nonkomposit terhadap struktur balok bertulang pada bangunan Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang

1.3. Rumusan Masalah

Bagaimana perencanaan struktur rangka baja yang digunakan sebagai alternatif desain pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang?

1.4. Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan analisis, ada beberapa batasan yang digunakan yakni :

1. Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil sebagai objek alternatif perencanaan ulang ?
2. Perhitungan balok pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil menggunakan struktur nonkomposit ?
3. Beban horizontal yang ditinjau adalah beban gempa.
4. Sambungan yang digunakan adalah sambungan baut.
5. Seluruh kaki portal diasumsikan terjepit pada pondasi.
6. Pembebanan diasumsikan sentris terhadap objek sehingga tidak diperlukan perhitungan momen torsi.
7. Menggunakan SAP2000 untuk perhitungan.

1.5. Maksud dan Tujuan

Untuk memaparkan perencanaan struktur balok WF nonkomposit dan kolom baja pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

1.6. Manfaat

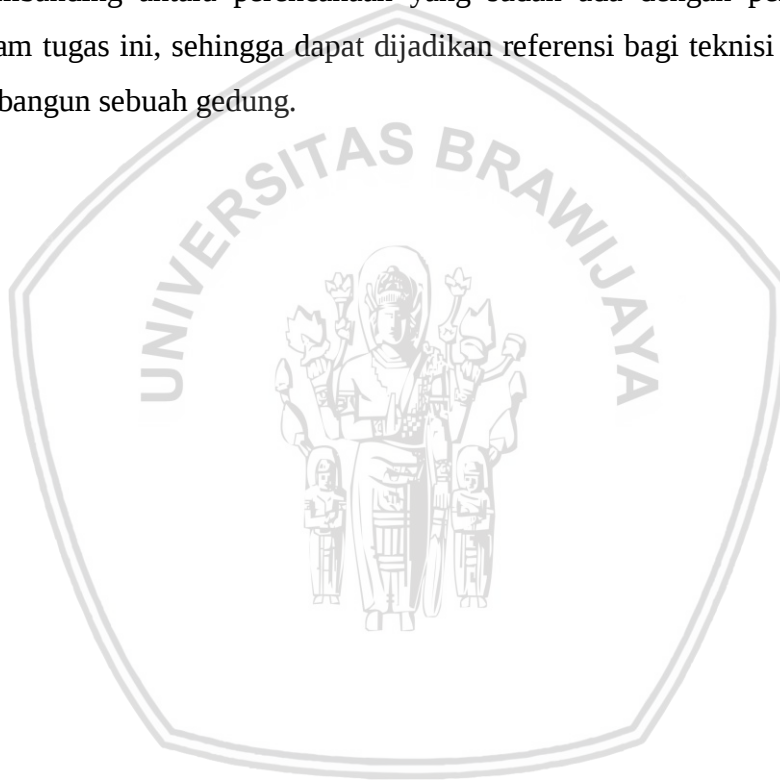
Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam skripsi ini yaitu:

1. Bagi akademisi

- Diharapkan dapat meningkatkan pemahaman terhadap perencanaan struktur nonkomposit baja-beton tahan gempa pada struktur gedung.
- Untuk menerapkan pengetahuan teknik yang telah diperoleh sebagai bekal dalam dunia kerja.

2. Bagi teknisi maupun praktisi

Sebagai pembanding antara perencanaan yang sudah ada dengan perencanaan yang dibahas dalam tugas ini, sehingga dapat dijadikan referensi bagi teknisi maupun praktisi dalam membangun sebuah gedung.



(Halaman dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bangunan Tahan Gempa

2.1.1. Tinjauan Umum

Suatu gedung dikatakan tinggi jika pada analisis struktur dan desainnya dipengaruhi oleh beban lateral yang akan menyebabkan goyangan pada bangunan. Goyangan adalah besarnya perpindahan lateral pada bagian atas bangunan terhadap dasarnya. Pada desain bangunan tinggi, sistem struktural harus mempertimbangkan persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Persyaratan kekuatan adalah faktor dominan dalam desain (Taranath, 1998).

Dibidang lain seperti perencanaan arsitektur, banyak bangunan dirancang dengan bentang struktur yang relatif besar untuk efisiensi ruang bagi pemakainya. Yang dimaksud efisiensi ruang bertujuan untuk mendapatkan ruang bebas dari bangunan (Omer W. Blodgett, 1996). Bahan bangunan baja memiliki peran penting dalam konstruksi. Dibanding beton, ketersediaan bahan yang luas dan dapat dikerjakan lebih cepat menjadi keuntungan baja. Selain itu baja juga memiliki berat material yang lebih ringan dari beton. Baja juga memiliki sifat keliatan (ductility), yaitu kemampuan deformasi yang baik dalam tegangan sebelum patah dan daya tahan (durability) khususnya terhadap cuaca.

2.1.2. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Standar dan peraturan perencanaan bangunan diperlukan dalam perencanaan gedung tahan gempa untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa akibat gempa bumi yang sering terjadi. Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah :

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap bekerja sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.

2. Pada saat terjadi gempa medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen nonstruktural, tetapi tidak pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh sampai terjadi keruntuhan bangunan sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Tiga sistem struktur penahan gempa, ketiga sistem yang disebutkan dibawah ini merupakan sistem struktur utama yang dipakai untuk meningkatkan daya tahan terhadap gaya gempa (terutama daya tahan horisontal) dari gedung bertingkat banyak (Muto, 1987).

1. Portal terbuka (*open frames*).
2. Portal dinding (*walled frames*).
3. Dinding geser (*shear walls*) dan portal dengan penyokong diagonal (*diagonally braced frames*).

Tujuan dari struktur gedung yang direncanakan tahan gempa adalah:

1. Sedikit mungkin terjadi korban jiwa manusia yang diakibatkan runtuhnya gedung tersebut
2. Gedung mengalami sedikit kerusakan akibat gempa kecil dan sedang sehingga bisa diatasi.
3. Membatasi ketidaknyamanan bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang.
4. Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi gedung.

2.2.Struktur Baja

2.2.1. Kelebihan

Sebagai bahan bangunan, baja memiliki beberapa keuntungan:

1. Kekuatan baja terhadap tarik lebih besar dari tekan, sehingga dimensi baja relatif kecil. Hal tersebut menyebabkan berat baja menjadi ringan meskipun berat jenisnya yang cukup tinggi dan menjadikan kebutuhan struktur pondasi lebih hemat (Omer W. Blodgett,1996).
2. Baja merupakan salah satu produk pabrik yang diproses menggunakan mesin, tanpa banyak tenaga kerja. Oleh karena itu, selama prosesnya dapat diawasi dengan mudah serta kualitas dapat dipertanggung jawabkan (Omer W. Blodgett,1996).
3. Struktur baja dapat dibongkar dan dapat dipasang sesuai kebutuhan, sehingga struktur baja dapat digunakan dalam berbagai bentuk (Omer W. Blodgett,1996).

2.2.2. Kekurangan

Baja juga memiliki beberapa kekurangan:

1. Dalam hal pemeliharaan, struktur baja memerlukan biaya yang tidak sedikit. (Omer W. Blodgett, 1996)
2. Suhu mempengaruhi kekuatan baja, sebagai contoh saat terjadi kebakaran kekuatan baja mengalami reduksi yang cukup besar kemudian menyebabkan bangunan runtuh meskipun tegangan yang terjadi belum mencapai tegangan izin. (Omer W. Blodgett, 1996)
3. Kekuatan baja cukup tinggi menyebabkan batang – batang struktur langsing, sehingga bahaya tekuk (*buckling*) mudah terjadi. (Omer W. Blodgett, 1996)

2.3. Kriteria Perencanaan

2.3.1. Kombinasi Pembebanan

Sebelum dilakukan perhitungan beban kombinasi, beban mati dan beban hidup pada pelat akan ditransfer pada balok sebagai beban segitiga dan trapesium. Beban tersebut harus diekuivalen menjadi beban merata. Perhitungan beban ekuivalen merata sebagai berikut : (Andri 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)

Dari beban-beban tersebut kemudian dilakukan perhitungan beban kombinasi berdasar SNI- 03 – 1729 - 2002 pasal 6.2.2

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r atau R)
3. 1,2 D + 1,6 (L_r atau R) + (L atau 0,5W)
4. 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r 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

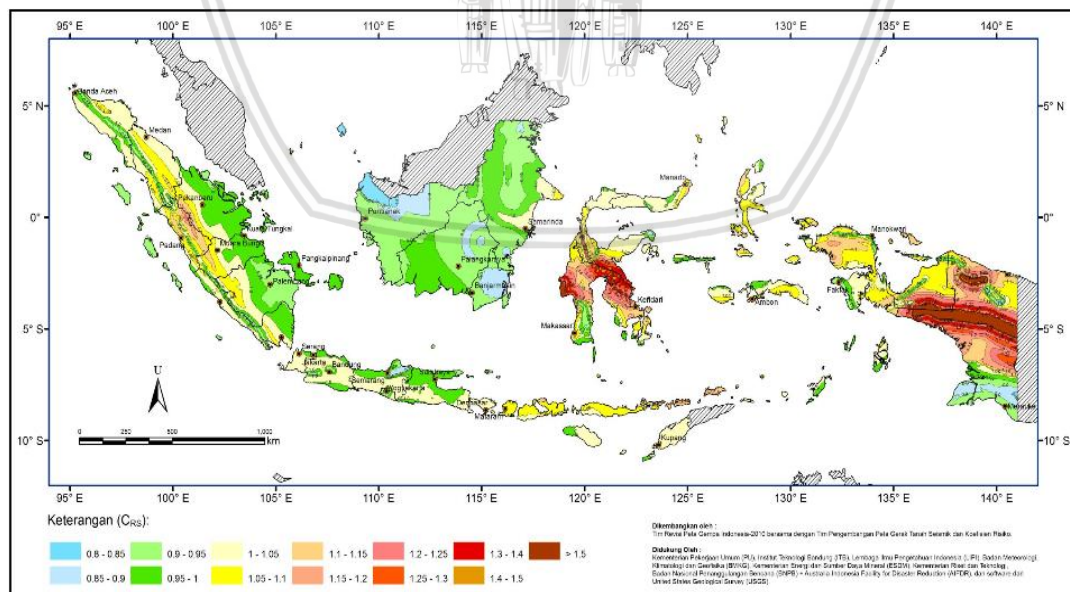
R : beban hidup
W : beban angin
E : beban gempa

2.3.2. Analisis beban gempa SNI 1726-2012

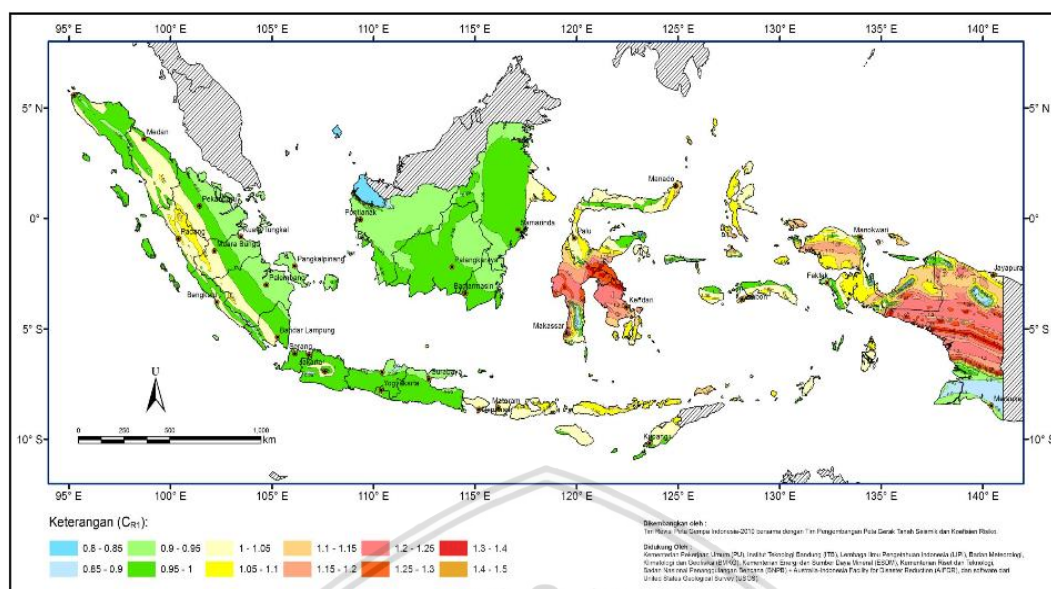
2.3.2.1. Wilayah Gempa

Parameter percepatan gempa ditentukan berdasarkan 2 hal yaitu, parameter percepatan terpetakan dan kelas situs. Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 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 1762-2012 Pasal 6.1.1)

Sedangkan kelas situs mengatur klasifikasi berdasarkan sifat-sifat 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 sehingga tidak bisa ditentukan kelas situsnya, maka kelas situs SE dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs SF. (SNI-1762-2012 Pasal 6.1.2)



Gambar 2.1 C_{RS} , koefisien risiko terpetakan, periode respons spektrum 0,2 detik



Gambar 2.2 C_{R1} , koefisien resiko terpetakan, periode respons spektrum 1 detik

2.3.2.2. 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:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \dots\dots\dots(2.2.a)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \dots\dots\dots(2.2.b)$$

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 2.1.

Klasifikasi Situs (SNI 1726-2012 Pasal 5.3)

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (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 niralis $\bar{s}_u < 25$ 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

Tabel 2.2.

Koefisien Situs, F_a (SNI 1726-2012 Pasal 6.2)

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

2.3.2.3. 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:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} \dots\dots\dots(2.3.a)$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} \dots\dots\dots(2.3.b)$$

(SNI 1726-2012 Pasal 6.3)

2.3.2.4. Parameter Periode Fundamental Pendekatan

Sebagai alternatif, diijinkan untuk menentukan periode 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:

$$T_a = 0,1N \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

N = Jumlah tingkat

(SNI 1726-2012 Pasal 7.8.2.1)

2.3.2.5. 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:

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

(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}

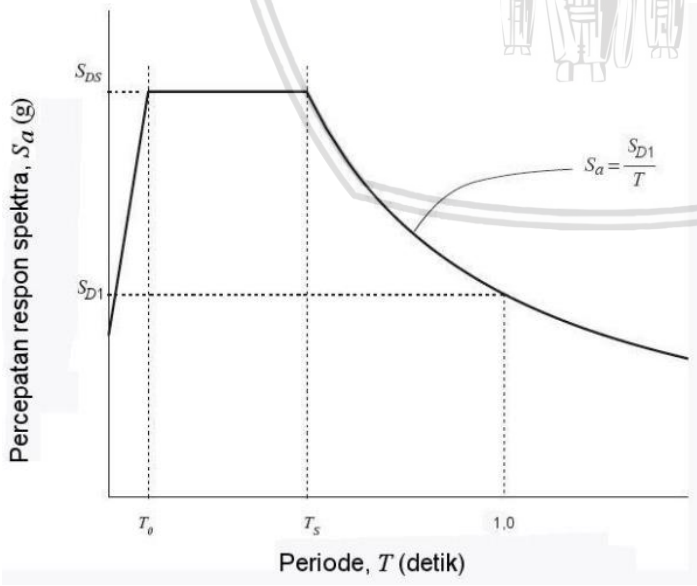
c) Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

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

Keterangan:

S_{DS} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode pendek
 S_{D1} = parameter respons spectral percepatan desain pada periode 1 detik
 T = periode getar fundamental struktur
 T_0 = $0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.5.c)$

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



Gambar 2.3. Spektrum respons desain
(SNI 1726-2012 Pasal 6.4)

2.3.2.6. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan berikut: (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1)

$$V = C_s \cdot W_{tot} \dots\dots\dots(2.6.a)$$

Keterangan:

C_s = koeisian respon seismik

W_{tot} = berat seismik efektif gedung

Perhitungan koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut: (SNI 1726-2012 Pasal 7.8.1.1)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.6.b)$$

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:

$$C_{s \text{ (maks)}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2.6.c)$$

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

$$C_{s \text{ (min)}} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2.6.d)$$

2.3.2.7. 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:

$$F_i = C_{vx} V = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^a w_i h_i^k} V \dots\dots\dots$$

(2.7.a)

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

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots(2.7.b)$$

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

2.3.2.8. Kategori Gedung

Pada SNI 1726-2012 Pasal 4.1.2, berdasarkan fungsinya gedung akan di klasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.3.

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	

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II
- Perumahan	
- Rumah toko dan rumah kantor	
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen/ rumah susun	
- 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 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.	
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:	
- Bangunan-bangunan monumental	
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan	
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat	
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat	
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat	
perlindungan darurat lainnya	
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	

IV

- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat	
- 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 2.4.

Faktor keutamaan gempa

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

2.3.2.9. Konfigurasi Struktur Gedung

Struktur Gedung dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu beraturan dan tidak beraturan. Pada SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2 memuat persyaratan yang kemudian dapat menentukan suatu gedung beraturan atau tidak.

Analisis gedung beraturan dapat dilakukan berdasarkan analisis statik ekuivalen. Sedangkan gedung tidak beraturan dilakukan analisis berdasarkan respon dinamis yang mempertimbangkan pengaruh gempa sebagai pembebanan dinamik.

2.3.3. Sistem Struktur

Pada dasarnya setiap struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi. Fungsi utama dari sistem struktur adalah untuk memikul beban yang bekerja pada bangunan secara efektif dan aman, serta menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Pada dasarnya sistem struktur memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur, sistem ini terbagi menjadi

3, 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)

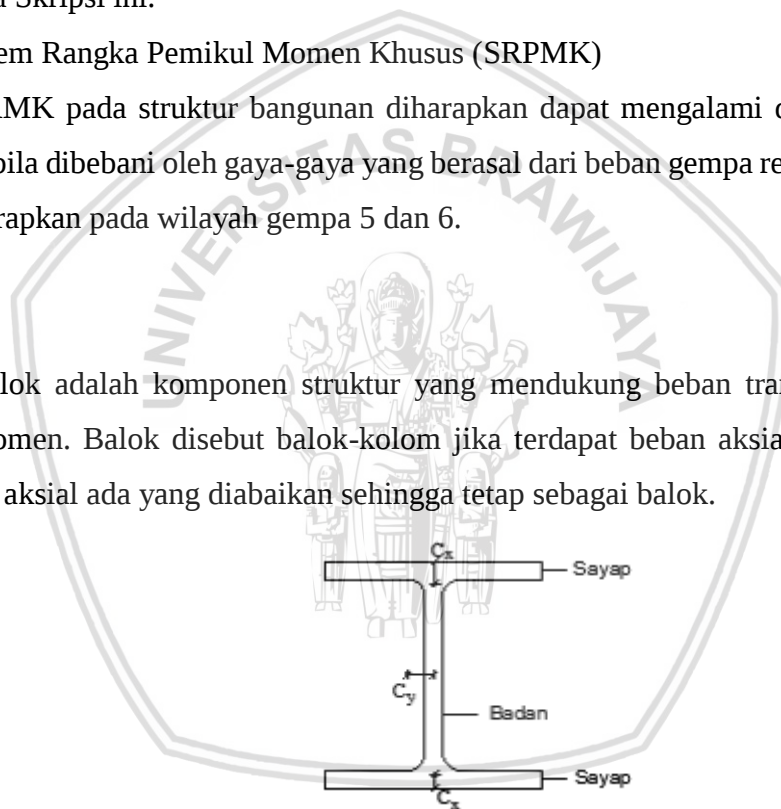
Sistem Struktur bangunan ini diharapkan dapat menahan resiko kegempaan sedang yaitu, wilayah gempa 3 dan 4. Dan sistem SRPMM ini akan digunakan pada Skripsi ini.

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. Balok

Balok adalah komponen struktur yang mendukung beban transversal, beban lentur atau momen. Balok disebut balok-kolom jika terdapat beban aksial. Pada kondisi tertentu beban aksial ada yang diabaikan sehingga tetap sebagai balok.



Gambar 2.4 Profil Baja Wide Flange Shapes

Hubungan antara pengaruh beban luar dan kekuatan:

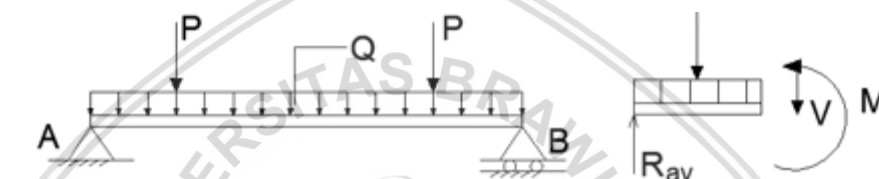
$$M_u \leq \phi M_n \text{ dimana, } M_{ux} \leq \phi M_{nx} \text{ dan } M_{uy} \leq \phi M_{ny} \dots\dots\dots (2.8)$$

Batasan Momen

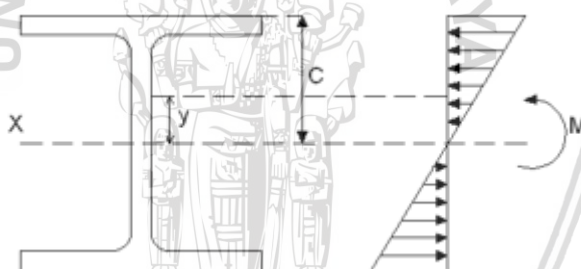
1. Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan f_y . S dan S adalah modulus penampang elastis yang ditentukan menurut Butir 8.2.1(d) (SNI 03-1729-2002).

2. Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang plastis yang ditentukan dalam 8.2.1(d) (SNI 03-1729-2002).
3. Momen batas tekuk M , diambil sama dengan $S(f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa.
4. Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

2.4.1. Tegangan Lentur dan Momen Plastis



Gambar 2.5. Pembebanan Pada Balok



Gambar 2.6. Tegangan Lentur

Dari mekanika bahan tegangan pada titik yang ditinjau dapat dihitung dengan rumus:

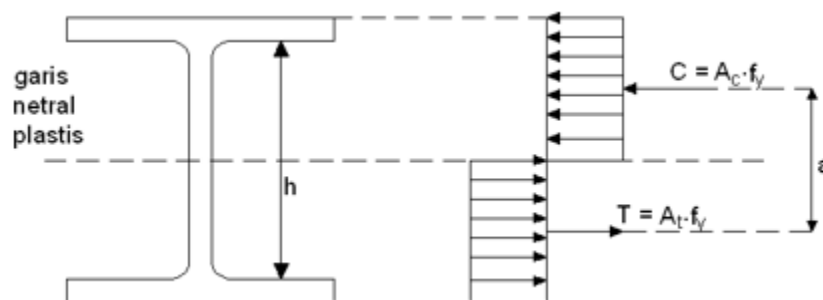
$$f_b = \frac{M \cdot y}{I_x} \dots\dots\dots(2.9.a)$$

Tegangan akan maksimum jika y_{maks} , maka

$$f_{maks} = \frac{M \cdot c}{I_x} = \frac{M}{S_x} \dots\dots\dots(2.9.b)$$

Dari persamaan (2.2.a) dan (2.2.b) di atas valid selama beban kecil (batas linier elastis) pada struktur baja $f_{max} \leq f_y$, sehingga $M_y = f_y \cdot S_x$

Analisis struktur yang didasarkan pada pertimbangan mekanisme runtuh disebut analisis plastis.



Gambar 2.7. Momen Plastis

$$M_p = f_y \cdot A_c \cdot a$$

$$M_p = f_y \cdot Z \dots\dots\dots(2.9.c)$$

2.4.2. Stabilitas

Jika balok dapat dihitung pada keadaan stabil pada kondisi plastis penuh, maka kekuatan momen nominal dapat diambil sebagai kapasitas momen plastis.

$$M_n = M_p \text{ atau } M_n < M_p$$

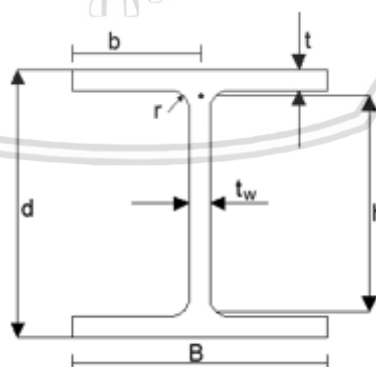
Beberapa evaluasi stabilitas

1. *Lateral Torsional Buckling (LTB)*
2. *Flange Local Buckling (FLB)*
3. *Web Local Buckling (WLB)*

2.4.3. Klasifikasi Bentuk Profil

Klasifikasi bentuk tampang (kelangsingan penampang)

1. Kompak ($\lambda \leq \lambda_p$)



Gambar 2.8. Spesifikasi Profil Wide Flange Shapes

Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$M_n = M_p \dots\dots\dots(2.10.a)$$

2. Non Kompak ($\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$)

Sayap

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} < \lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$$

Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} < \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \leq \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(2.10.b)$$

3. Slender / langsing ($\lambda > \lambda_r$)

Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} > \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$$

Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} > \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{f_y}}$$

$$M_n = M_r \left(\lambda_r / \lambda \right)^2 \dots\dots\dots(2.10.c)$$

2.4.4. Kuat Geser

Kuat geser pada badan pelat badan yang memiliki gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi $V_u \leq \phi V_n$ (butir 8.8-1 SNI 03-1729-2002).

1. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel (h/t_w)

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \frac{\sqrt{K_n E}}{f_y}$$

$$K_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \dots\dots\dots(2.11.a)$$

$$1. V_n = 0,6 f_y A_w \dots\dots\dots(2.11.b)$$

$$2. V_n = 0,36 f_y A_e \text{ (untuk penampang pipa) } \dots\dots\dots(2.11.c)$$

$$2. 1,10 \frac{\sqrt{K_n E}}{f_y} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \frac{\sqrt{K_n E}}{f_y}$$

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \right] \frac{t_w}{h} \dots\dots\dots(2.11.d)$$

Atau

$$V_n = \frac{1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}}}{h/t_w} \dots\dots\dots(2.11.e)$$

$$3. \frac{h}{t_w} \geq 1,37 \frac{\sqrt{K_n E}}{f_y}$$

$$V_n = \frac{0,9 A_w K_n E}{(h/t_w)^2} \dots\dots\dots(2.11.f)$$

Atau

$$V_n = 0,6 f_y A_w \left[C_v + \frac{(1-C_v)}{1,15 \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \dots\dots\dots(2.11.g)$$

$$C_v = \frac{K_n E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2} \dots\dots\dots(2.11.h)$$

2.4.5. Lendutan

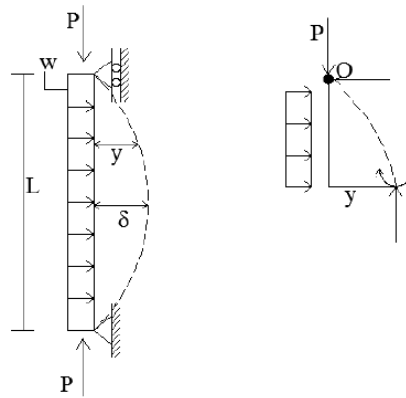
Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen- elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam Tabel 2.2. Tabel 2.5.

Batas lendutan maksimum (SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/300	h/200

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{WL^4}{EI} \leq \delta_{maks} \dots\dots\dots(2.12.a)$$

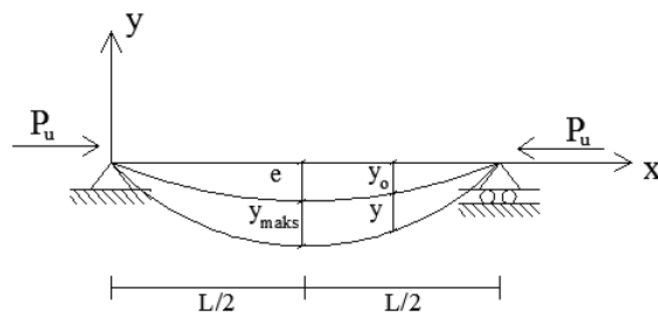
2.5. Balok-Kolom



Gambar 2.9 Mekanisme Terjadinya Lendutan

Penjelasan gambar

1. O titik tertentu
2. Di titik O terjadi momen akibat w dan tambahan momen $(P \cdot y)$
3. Momen sekunder $(P \cdot y)$ terbesar pada lendutan terbesar (δ)
4. Total momen = $(w \cdot L^2 / 8) + (P \cdot \delta)$
5. Total lendutan tidak dapat diperoleh langsung karena merupakan masalah Non Linier. Jika lendutan tidak diketahui maka momen sekunder tidak dapat dihitung.
6. Metode analisis struktur yang umum melendut secara geometris berdasarkan metode orde-1, maka untuk lendutan karena orde-2 didapat dengan cara numerika (program komputer).
7. Kebanyakan peraturan perancangan sekarang mengizinkan penggunaan analisis orde-2 dengan metode pembesaran momen yang dihitung dengan maksimum bending momen hasil dari lentur yang didapat dari analisis orde-1 dikalikan dengan faktor pembesaran.



Gambar 2.10. Faktor Pembesaran Momen

1. Lendutan awal sembarang titik didekati dengan

$$y_0 = e \cdot \sin \frac{\pi x}{L} \dots\dots\dots(2.13.a)$$

2. Hubungan kelengkungan momen

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$$

Dari gambar

$$M = P_u (y_0 + y)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-P_u(e \cdot \sin \frac{\pi x}{L} + y)}{EI}$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{P_u}{EI} y = \frac{P_u \cdot e}{EI} \sin \frac{\pi x}{L} \dots\dots\dots(2.13.b)$$

Pada $x = 0$, $y = 0$ dan $x = L$, $y = 0$ lendutan = 0

Sehingga

$$y = B \sin \frac{\pi x}{L} \dots\dots\dots(2.13.c)$$

Dengan B merupakan konstanta.

Substitusi persamaan (2.13.b) ke persamaan (2.13.c)

$$-\frac{\pi^2}{L^2} B \cdot \sin \frac{\pi x}{L} + \frac{P_u}{EI} B \cdot \sin \frac{\pi x}{L} = -\frac{P_u}{EI} \sin \frac{\pi x}{L}$$

Penyelesaian untuk B

$$B = \frac{-P_u \cdot e / EI}{\frac{P_u}{EI} - \frac{\pi^2}{L^2}} = \frac{-e}{1 - \frac{\pi^2 EI}{P_u L^2}} = \frac{e}{\frac{P_e}{P_u} - 1}$$

Dimana, $P_e = \pi^2 EI / L^2$

Jadi,

$$y = \frac{e}{\frac{P_e}{P_u} - 1} \sin \frac{\pi x}{L}$$

$$M_u = P_u + (y_0 + y)$$

$$M_u = P_u \left[e \cdot \sin \frac{\pi x}{L} + \frac{e}{\frac{P_e}{P_u} - 1} \sin \frac{\pi x}{L} \right]$$

Momen maksimum terjadi di $x = L/2$

$$\begin{aligned} M_{\text{maks}} &= P_u \left[e + \frac{e}{\frac{P_e}{P_u} - 1} \right] \\ &= P_u \cdot e \left[1 + \frac{1}{\frac{P_e}{P_u} - 1} \right] \\ &= M_o \left[\frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_e}} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Faktor pembesaran momen} = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_e}} \dots\dots\dots(2.13.d)$$

2.6. Konsep Perencanaan Baja

Perencanaan yang dipakai adalah pendekatan umum berdasarkan faktor daya tahan dan beban, atau disebut dengan *Load Resistance Design Factor* (LRFD). Pada metode ini diperhitungkan mengenai kekuatan nominal M_n penampang struktur yang dikalikan oleh faktor pengurangan kapasitas (*under-capacity*) ϕ , yaitu bilangan yang lebih kecil dari 1,0 untuk memperhitungkan ketidak-pastian dalam besarnya daya tahan (*resistance uncertainties*). Selain itu diperhitungkan juga faktor gaya dalam ultimit M_u dengan kelebihan beban (*overload*) γ (bilangan yang lebih besar dari 1,0) untuk menghitung ketidak-pastian dalam analisa struktur dalam menahan beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), angin (*wind*), dan gempa (*earthquake*).

Struktur dan batang struktural harus selalu direncanakan memikul beban yang lebih besar daripada yang diperkirakan dalam pemakaian normal. Kapasitas cadangan ini disediakan terutama untuk memperhitungkan kemungkinan beban yang berlebihan. Selain itu, kapasitas cadangan juga ditujukan untuk memperhitungkan kemungkinan pengurangan kekuatan penampang struktur. Penyimpangan pada dimensi penampang walaupun masih dalam batas toleransi bisa mengurangi kekuatan. Terkadang penampang baja mempunyai kekuatan leleh sedikit di bawah harga minimum yang ditetapkan, sehingga juga mengurangi kekuatan.

(Halaman dikosongkan)



BAB III

METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Pengumpulan Data

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

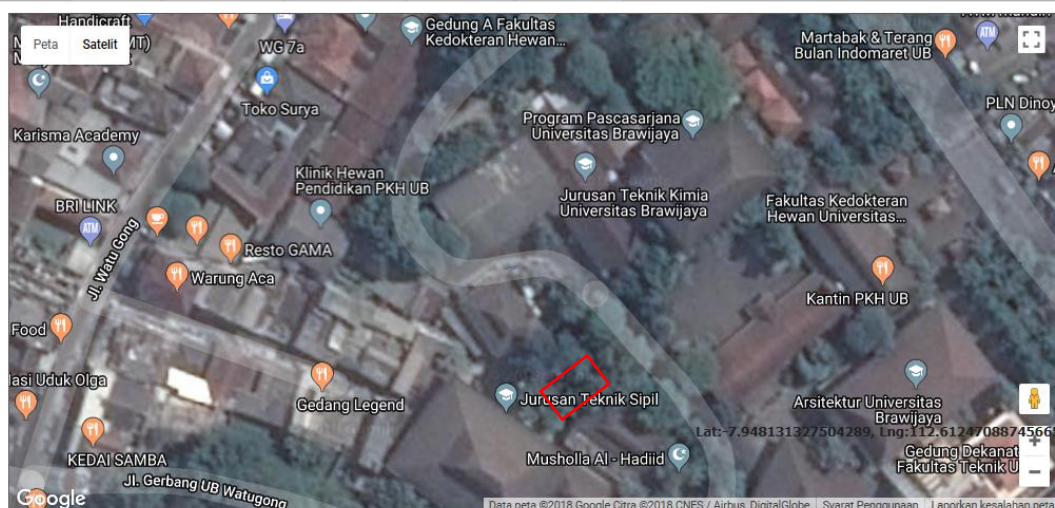
3.2 Data Perencanaan

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

Data-data lain mengenai gedung adalah sebagai berikut:

Gedung	: Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Lokasi	: Jl. MT. Haryono 167, Kota Malang, 65145, Jawa Timur
Fungsi	
Lantai 1	: Laboratorium dan Hall
Lantai Mezanin	: Ruang Perkuliahan dan Ruang Karyawan
Lantai 2 – 5	: Ruang Pelatihan/kerja Mahasiswa, Laboratorium
Lantai 6	: Ruang Pertemuan
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 Tulangan	: 290 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

repository.ub.ac.id

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

8. $1,4 D$
9. $1,2 D + 1,6 L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
10. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
11. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
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 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 bertujuan untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur (momen, gaya aksial, dan gaya geser).

3.3.3 Desain penampang

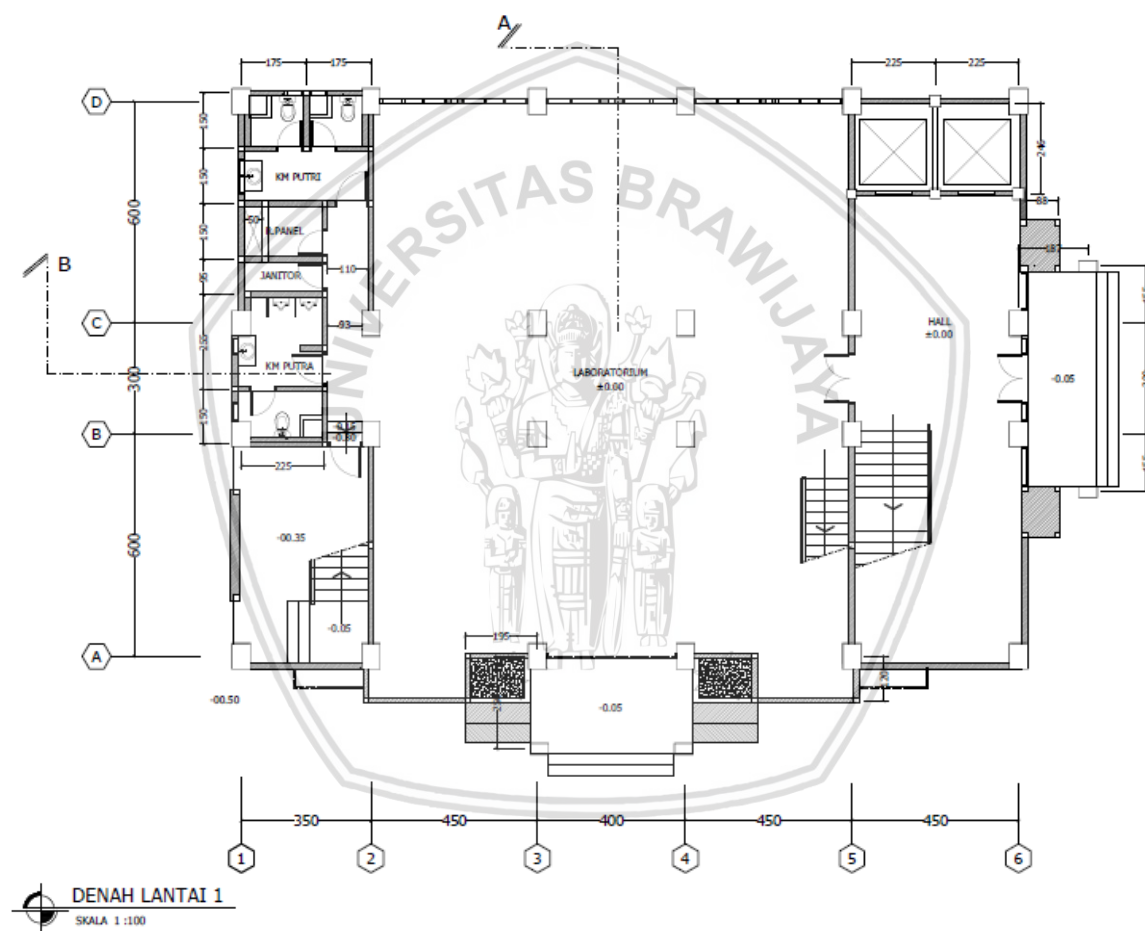
Prinsip dasar yang digunakan untuk mendesain penampang pada Gedung Laboratorium Kebencanaan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya adalah dengan menggunakan konsep LRFD (*Load Resistance and factor Design*).

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

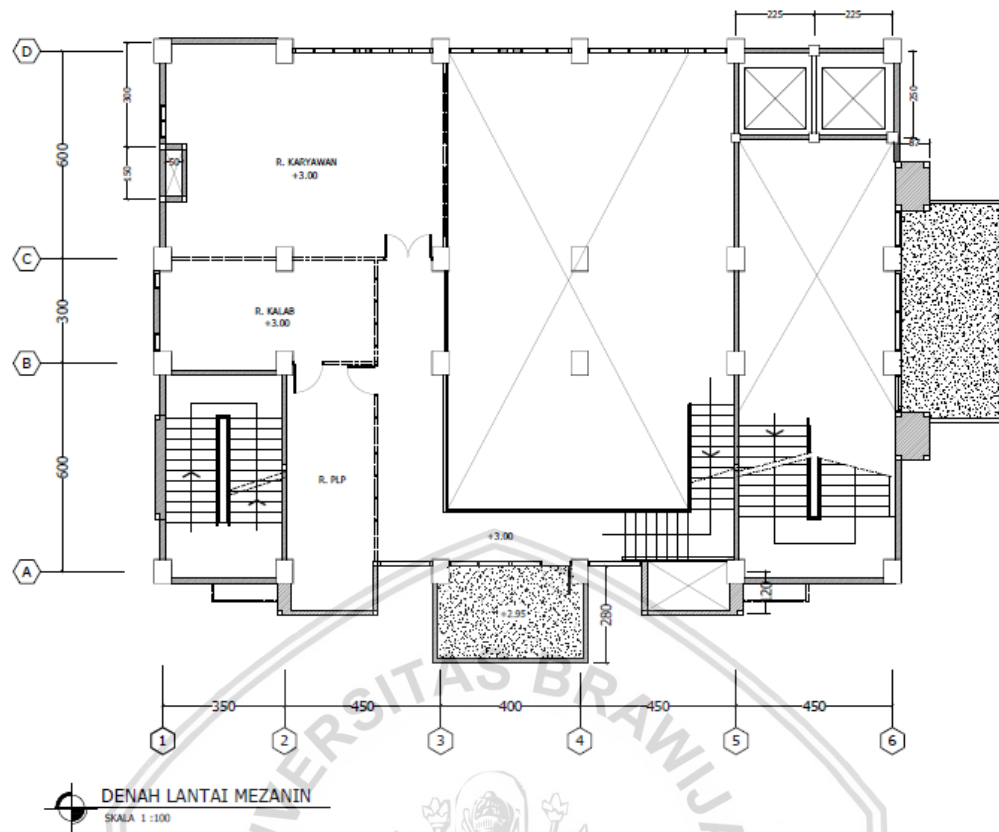
Setelah perencanaan awal dimensi dilakukan kontrol dengan dua kategori yaitu kontrol kondisi dan kontrol penampang. Pada kontrol kondisi dibagi menjadi kontrol sebelum komposit dan sesudah komposit. Pada kondisi sebelum komposit, pembebanan meliputi berat sendiri pelat, spesi, keramik, plafond, instalasi,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

3.3.4 Gambar struktur

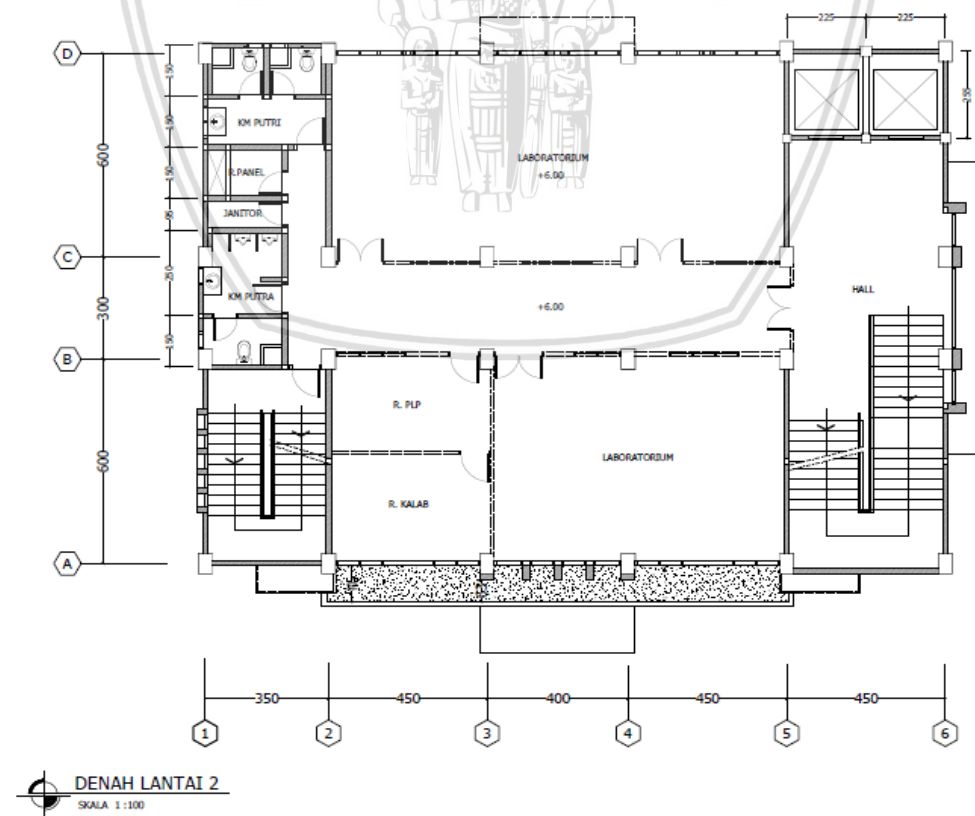
Penggambaran gambar teknik dalam perencanaan dan perhitungan menggunakan program AutoCAD 2016.



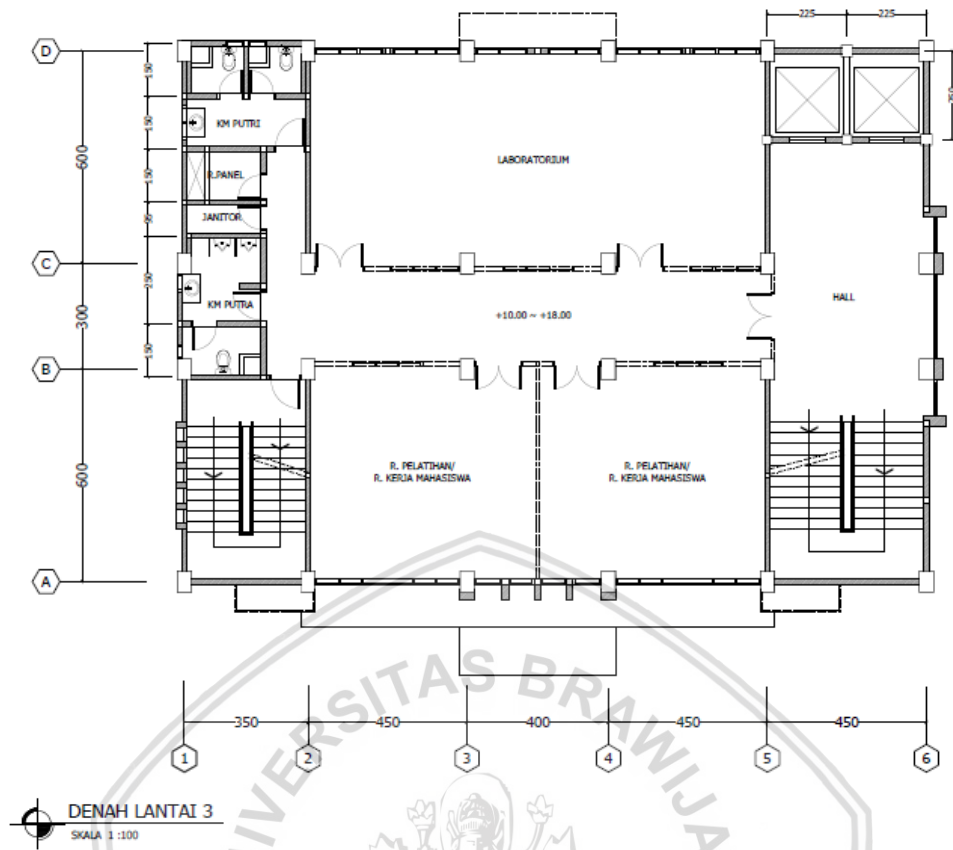
Gambar 3.2 denah lantai 1



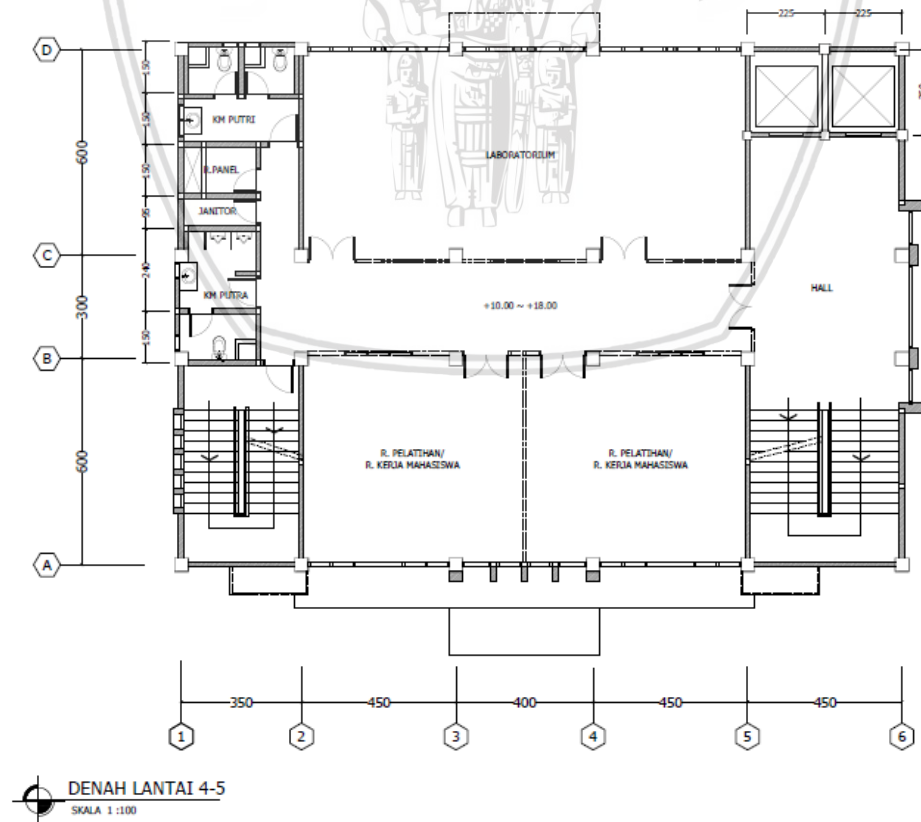
Gambar 3.2 denah lantai 1 Mezanin



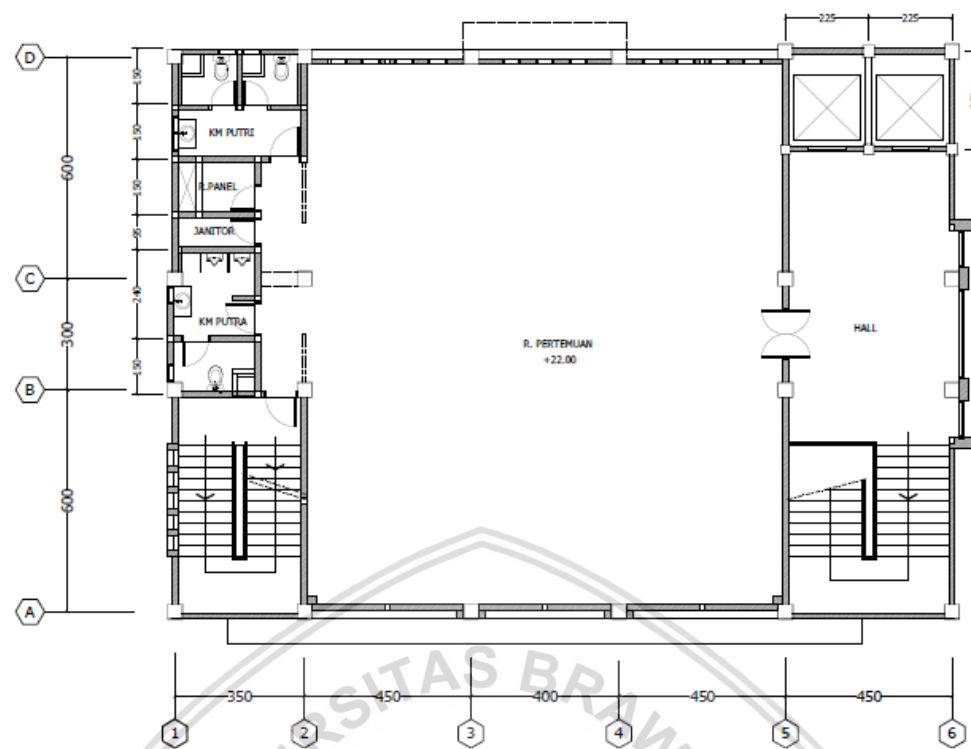
Gambar 3.3 denah lantai 2



Gambar 3.4 denah lantai 3

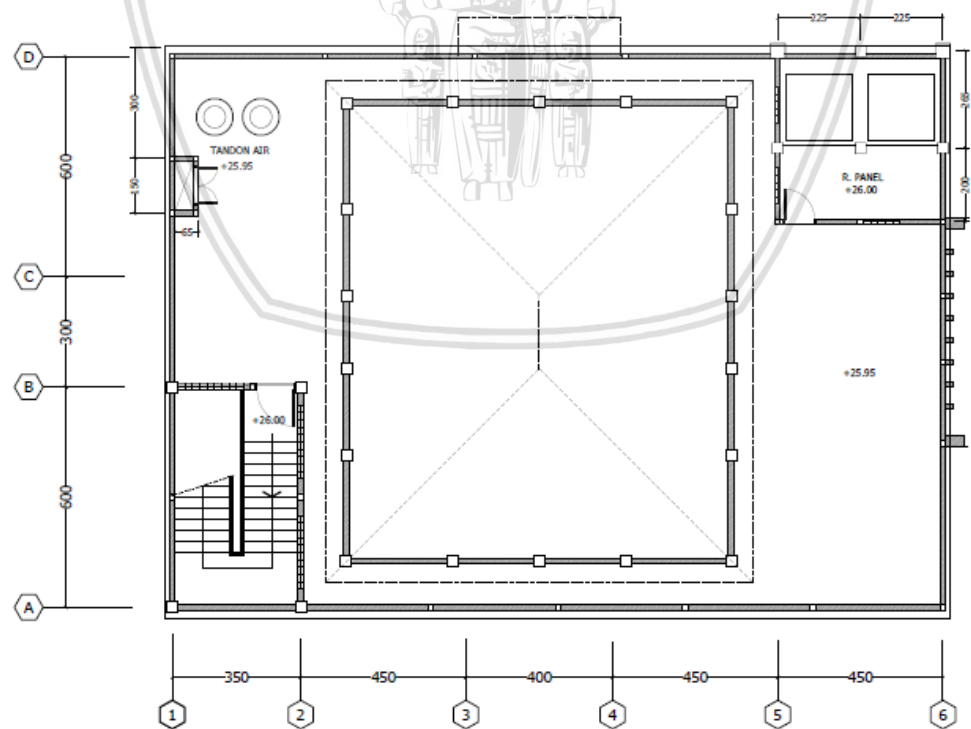


Gambar 3.5 denah lantai 4-5



DENAH LANTAI 6
SKALA 1 : 100

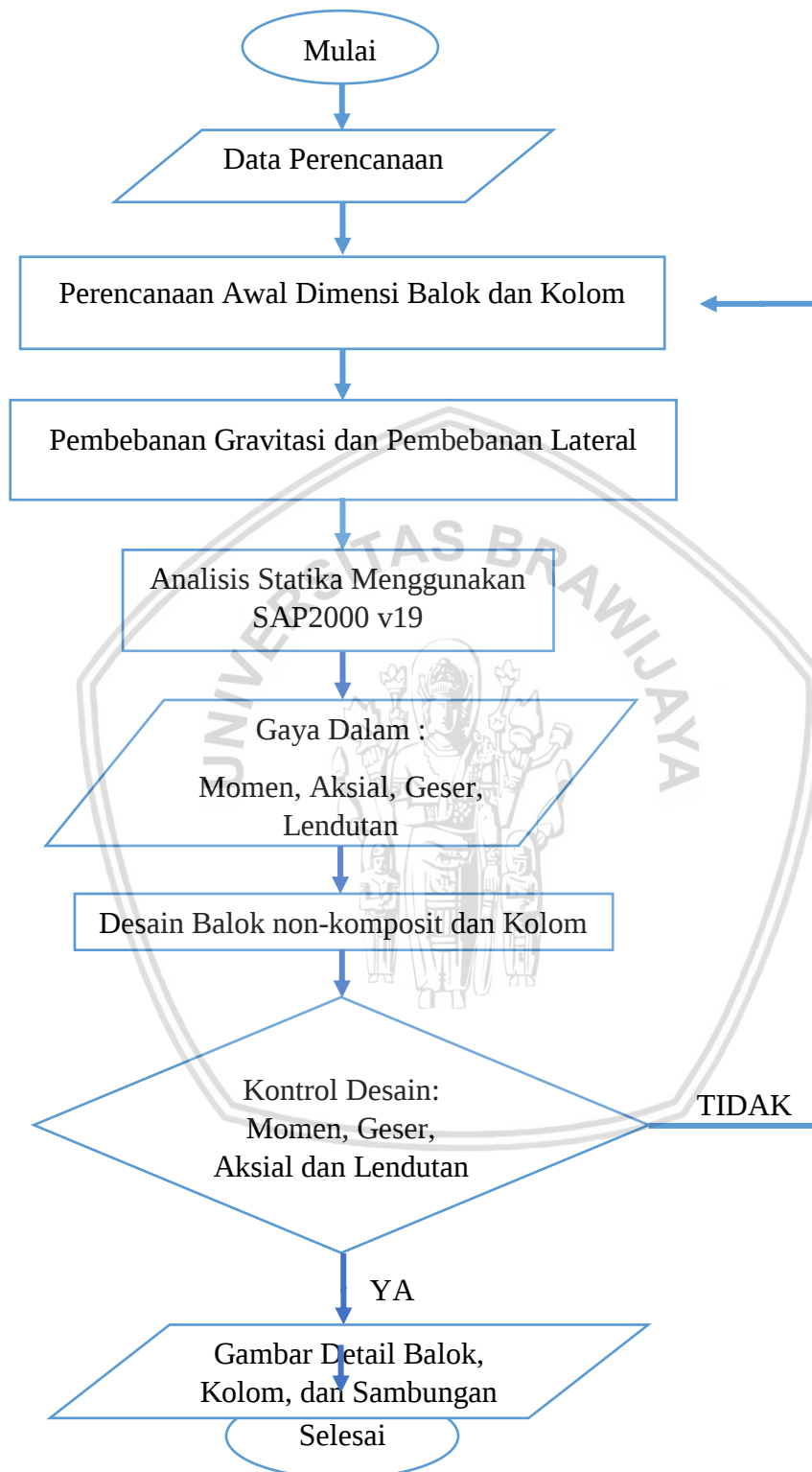
Gambar 3.6 denah lantai 6



DENAH LANTAI ATAP
SKALA 1 : 100

Gambar 3.7 denah lantai atap

3.3.5 Diagram alur perencanaan



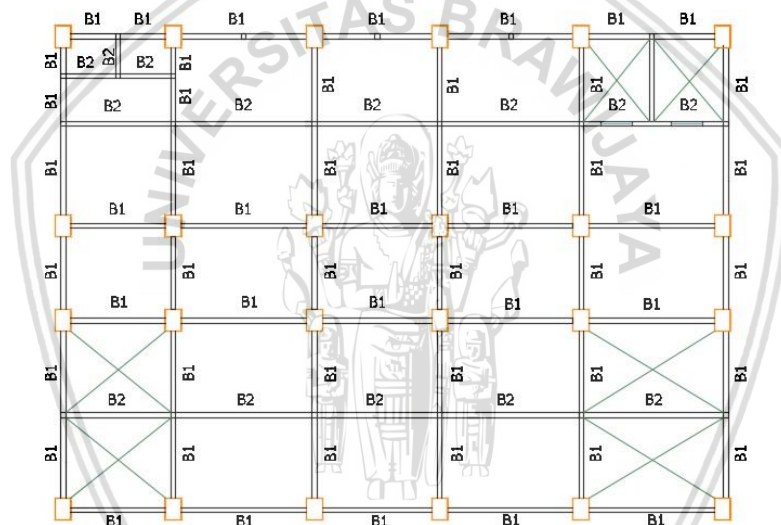
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

4.1.1 Penentuan Tebal Pelat

Sistem lantai yang digunakan adalah sistem diafragma (kaku), jadi diasumsikan lantai yang sangat kaku tak terhingga sehingga distribusi beban yang diterima tiap kolom sebanding dengan kekakuan dan jarak terhadap pusat massa. Tebal pelat yang digunakan pada perencanaan gedung ini adalah 12 cm sesuai dengan keadaan existing gedung tersebut.



Gambar 4.1 Denah Balok Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

4.1.2 Perencanaan Dimensi Balok

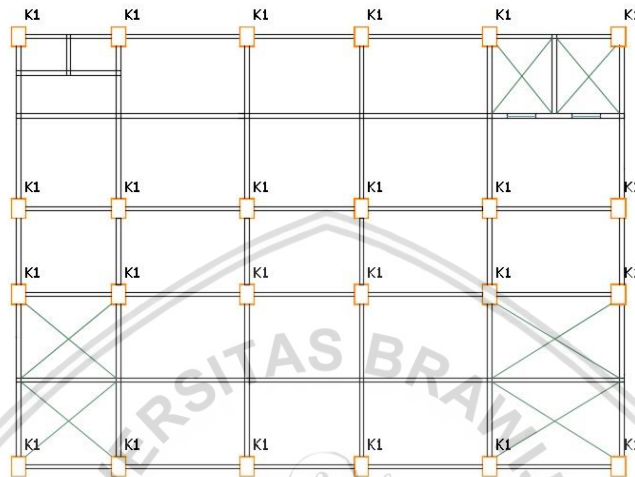
Ada beberapa macam dimensi balok yang direncanakan, yang didasarkan pada arah bentang dan besar gaya dalam yang diterima pada balok tersebut. Mutu baja yang digunakan untuk balok adalah BJ 41. Berdasarkan Tabel Profil Konstruksi Baja Dimensi balok yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Balok Induk (B1) dengan dimensi WF 350.350.12.19
2. Balok Anak (B2) dengan dimensi WF 250.250.9.14

4.1.3 Perencanaan Dimensi Kolom

Pada perencanaan ini dimensi kolom harus memiliki inersia yang lebih besar dari balok dan juga mutu baja yang digunakan untuk kolom adalah BJ 50. Dimensi kolom direncanakan sebagai berikut.

1. Kolom (K1) yang digunakan dengan dimensi WF 400.400.13.21



Gambar 4.2 Denah Kolom Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

4.2 Perencanaan Pembebanan

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

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

Berdasarkan beban-beban tersebut di atas, maka beton bertulang Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan. Berikut ini kombinasi pembebanan menurut sni 03-1729-2002.

15. $1,4 D$
16. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
17. $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
18. $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$

$$19. 1,2 D + 1,0 E + L$$

$$20. 0,9 D + 1,0 W$$

$$21. 0,9 D + 1,0 E$$

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

- **Beban Mati**

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

Berat sendiri baja	= 7850 kg/m^3
Berat isi.beton	= 2400 kg/m^3
Berat spesi per cm tebal	= 21 kg/m^3
Berat keramik	= 24 kg/m^3
Berat pasangan bata ringan $\frac{1}{2}$ batu 15 cm	= 300 kg/m^3

- **Beban Hidup**

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

Lantai sekolah, hotel, kantor	= 250 kg/m^3
Ruang alat-alat mesin dan gedung	= 400 kg/m^3
Tangga dan bordes gang	= 300 kg/m^3

- **Perhitungan Pembebanan**

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
Beban nonkomposit	

1. Beban mati pelat lantai dan pelat atap

berat sendiri = 1 selfweight pelat

berat spesi = $3 \cdot 21$ = 63 kg/m^2

berat keramik = $1 \cdot 24$ = 24 kg/m^2

plafond = 11 = 11 kg/m^2

berat instalasi = 25 kg/m^2

total berat = 123 kg/m^2

2. Beban hidup pelat lantai (beban guna)

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 250 kg/m^2

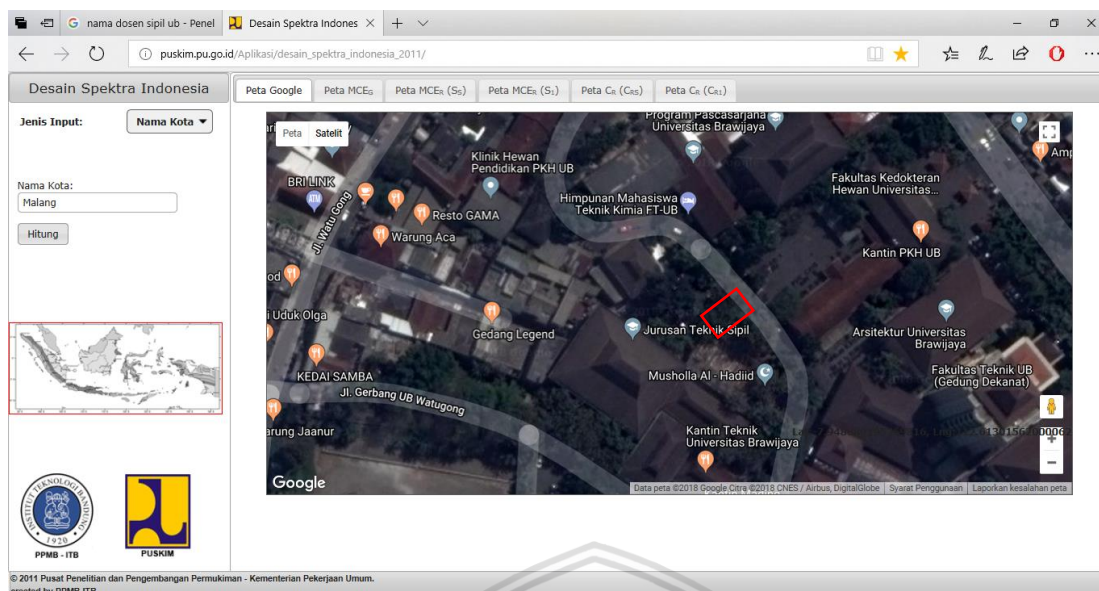
3. Beban hidup pelat atap

Diambil beban hidup dari komponen beban hidup yang ada dalam gedung ini yaitu 100 kg/m^2

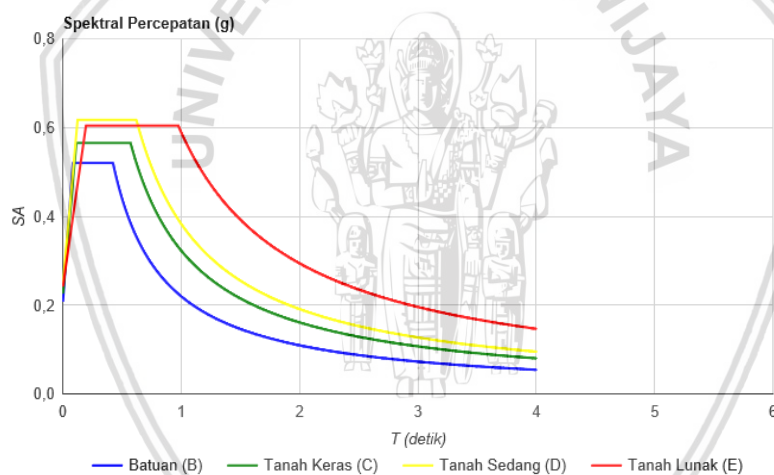
4.3 Analisis Beban Gempa

Pada perhitungan beban gempa pada gedung Gedung Laboratorium Kebencanaan Teknik Sipil, perhitungan spektrum repons desain Menggunakan program yang telah disediakan PU:http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/.

Untuk mendapatkan data respons spektrum memasukan data koordinat lokasi ataupun nama kota yang ditinjau, seperti berikut:



Gambar 4.3 Peta lokasi Gedung Lab. Kebencanaan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.



Gambar 4.4 Respon spectral percepatan di permukaan

Data yang di peroleh berdasarkan program yang telah disediakan PU:

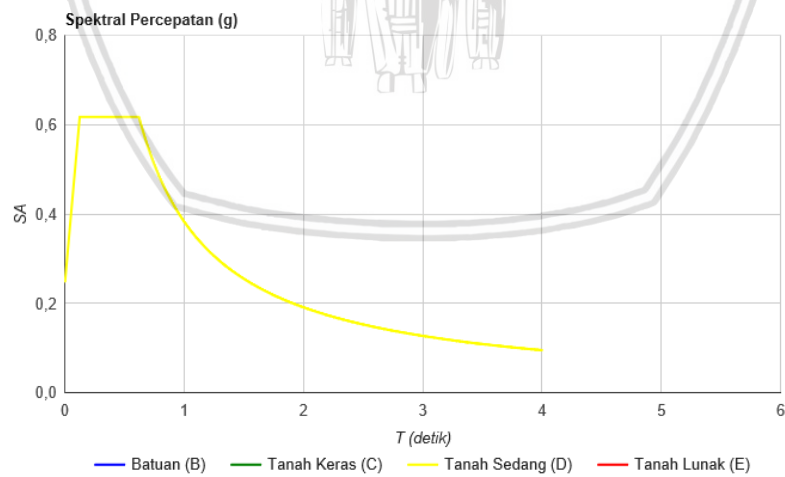
PGA (g)	0.399
S _s (g)	0.781
S ₁ (g)	0.330
C _{RS}	1.003
C _{R1}	0.921
F _{PGA}	1.101
F _A	1.188
F _V	1.740

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:

Tanah	SA (g)
T_0	0.247
TS	0.618
TS+0	0.618
TS+0.1	0.532
TS+0.2	0.467
TS+0.3	0.416
TS+0.4	0.376
TS+0.5	0.342
TS+0.6	0.314
TS+0.7	0.290
TS+0.8	0.270
TS+0.9	0.252
TS+1	0.236
TS+1.1	0.223
TS+1.2	0.210
TS+1.3	0.199
TS+1.4	0.190
TS+1.5	0.181
TS+1.6	0.172
TS+1.7	0.165
TS+1.8	0.158

TS+1.9	0.152
TS+2	0.146
TS+2.1	0.141
TS+2.2	0.136
TS+2.3	0.131
TS+2.4	0.127
TS+2.5	0.123
TS+2.6	0.119
TS+2.7	0.115
TS+2.8	0.112
TS+2.9	0.109
TS+3	0.106
TS+3.1	0.103
TS+3.2	0.100
TS+3.3	0.098
4	0.096



Gambar 4.5 Respons spektrum desain

4.4 Pemodelan pada SAP2000 v19

Ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat pemodelan struktur pada aplikasi SAP2000 v19. Berikut adalah beberapa tahapan dan input yang dimasukkan pada aplikasi SAP2000 v19:

a. *Grid System*

Grid system adalah untuk memuat informasi tentang letak koordinat titik-titik pada struktur dalam sumbu x, y dan z.

b. *Define → Materials*

Memuat informasi tentang data material atau mutu bahan yang akan digunakan dalam pemodelan struktur.

c. *Define → Section Properties*

Memuat informasi tentang 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.

d. *Function → Respons Spektrum*

Memuat tentang data respons spektrum yang akan bekerja sebagai beban gempa pada pemodelan struktur.

e. *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

f. *Define → Load Combination*

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

g. *Analyze → Run Analyze*

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

4.5 Perencanaan Balok

4.5.1 Kontrol Profil Secara Perbagian

4.5.1.1 Balok Induk

- Data-data profil WF 350.350.12.19 :

b_f	=	350 mm	f_y	=	290 Mpa
d	=	350 mm	f_u	=	500 Mpa
h	=	272 mm	E_s	=	200000 Mpa
t_f	=	19 mm	f_c	=	30 Mpa
t_w	=	12 mm	A_s	=	17390 mm ²
r	=	20 mm	Z_x	=	$b_f \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w^2 (d - 2 t_f)^2$
I_x	=	403000000 mm ⁴		=	2775966 mm ³
I_y	=	136000000 mm ⁴	S_x	=	2300000 mm ³

- Cek kelangsingan penampang profil WF 350.350.12.19

Tekuk lokal sayap:

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,98$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{350}{2 \cdot 19} = 9,45$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka sayap kompak})$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,65$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{272}{12} = 25,18$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka badan kompak})$$

4.5.1.2 Balok Anak

- Data-data profil WF 250.250 9.14 :

b_f	=	250 mm	f_y	=	290 Mpa
d	=	250 mm	f_u	=	500 Mpa
h	=	190 mm	E_s	=	200000 Mpa
t_f	=	14 mm	f'_c	=	30 Mpa
t_w	=	9 mm	A_s	=	9218 mm ²
r	=	15,2 mm	Z_x	=	$b \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} t_w 2 (d - 2 t_f)^2$
I_x	=	108000000 mm ⁴		=	1047778 mm ³
I_y	=	36500000 mm ⁴	S_x	=	867000 mm ³

- Cek kelangsingan penampang profil Wf 250.250,9.14

Tekuk lokal sayap

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{290}} = 9,98$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{250}{2 \cdot 14} = 6,29$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka sayap kompak})$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{290}} = 98,65$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{190}{9} = 13,96$$

$$\lambda < \lambda_p \quad (\text{Maka badan kompak})$$

Tabel 4.1.

Rekapitulasi kelangsingan profil balok.

Balok	Profil	Penampang
B1	WF 350.350.12.19	Kompak
B2	WF 250.250.9.14	Kompak

4.5.2 Kontrol Profil Secara Keseluruhan

4.5.2.1 Balok Induk

a. Kuat lentur

- Balok WF 350.350.12.19

$$M_{u \max} = 37762,09 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 2775966 \cdot 290 \\ &= 805030232,8 \text{ Nmm} \\ &= 805,0302328 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &\leq \Phi_b \cdot M_n \\ 37762,09 &\leq 0,85 \cdot 805,0302328 \end{aligned}$$

$$37762,09 \text{ kgm} \leq 68427,57 \text{ kgm} \quad \text{OK}$$

b. Kuat geser

- Balok WF 350.350.12.19

$$V_{u \max} = 22918,46 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{b_f - t_w}{2} + t_w \\ &= \frac{350 - 12}{2} + 12 \\ &= 181 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} k_n &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{181}{272}\right)^2} \\ &= 16,291 \end{aligned}$$

Asumsi:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

$$\frac{272}{12} \leq 1,10 \sqrt{\frac{16,291 \cdot 200000}{290}}$$

$$22,6667 \leq 116,597$$

Jadi asumsi benar, sehingga:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w) \\ &= 0,6 \cdot 290 \cdot ((350 - 38) \cdot 12) \\ &= 568563,84 \text{ N} \\ &= 56856,384 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \Phi_b \cdot V_n \\ 22925,27 &\leq 0,9 \cdot 56856,384 \\ 22925,27 \text{ kg} &\leq 51170,746 \text{ kg} \end{aligned}$$

OK

4.5.2.2 Balok Anak

a. Kuat lentur

- Balok WF 250.250.9.14

$$M_{u \text{ max}} = 4210,16 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \cdot f_y \\ &= 1047778 \cdot 290 \\ &= 303855620 \text{ Nmm} \\ &= 303,855620 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &\leq \Phi_b \cdot M_n \\ 4210,16 &\leq 0,85 \cdot 303,855620 \end{aligned}$$

$$4210,16 \text{ kgm} \leq 25827,73 \text{ kgm}$$

OK

b. Kuat geser

- Balok WF 250.250.9.14

$$V_{u \text{ maks}} = 4857,17 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{b_f - t_w}{2} + t_w \\ &= \frac{250 - 9}{2} + 9 \\ &= 129,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} k_n &= 5 + \frac{5}{\left(\frac{129,5}{191,6}\right)^2} \\ &= 15,945 \end{aligned}$$

Asumsikan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E_s}{f_y}}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \frac{191,6}{9} &\leq 1,10 \sqrt{\frac{15,945 \cdot 200000}{290}} \\ 21,2889 &\leq 115,351 \end{aligned}$$

Jadi asumsi benar, sehingga:

$$\begin{aligned} V_n &= 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \\ &= 0,6 \cdot f_y \cdot ((d - 2t_f)t_w) \\ &= 0,6 \cdot 290 \cdot ((250 - 2 \cdot 14) \cdot 9) \\ &= 303416,28 \text{ N} \\ &= 30341,628 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &\leq \Phi_b \cdot V_n \\ 4857,17 &\leq 0,9 \cdot 30341,628 \\ 4857,17 \text{ kg} &\leq 27307,465 \text{ kg} \end{aligned}$$

OK

Tabel 4.2.

Rekapitulasi kuat lentur balok.

Balok	Profil	M_u (kgm)	$\Phi_b M_n$ (kgm)	Kontrol
B1	WF 350.350.12.19	37762,09	68427,57	Ok
B2	WF 250.250.9.14	4210,16	25827,73	Ok

Tabel 4.3.

Rekapitulasi kuat geser balok.

Balok	Profil	V_u (kg)	$\Phi_b V_n$ (kg)	Kontrol
B1	WF 350.350.12.19	22918,46	51170,746	Ok
B2	WF 250.250.9.14	4857,17	27307,465	Ok

4.5.3 Lendutan

Menurut Tabel 6.4-1 SNI 03-1729-2002, batas lendutan untuk balok pemikul dinding atau finishing yang getas adalah $L/360$, dengan L adalah bentang balok.

$$\begin{aligned}\text{Panjang bentang (L)} &= 8,5 \text{ m} \\ &= 8500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Lendutan maksimum } (\Delta_{\text{maks}}) = 17,179 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Lendutan ijin } (\Delta_{\text{ijin}}) &= \frac{L}{360} \\ &= \frac{8500}{360} \\ &= 23,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{maks}} \leq \Delta_{\text{ijin}}$$

$$17,179 \text{ mm} \leq 23,6 \text{ mm}$$

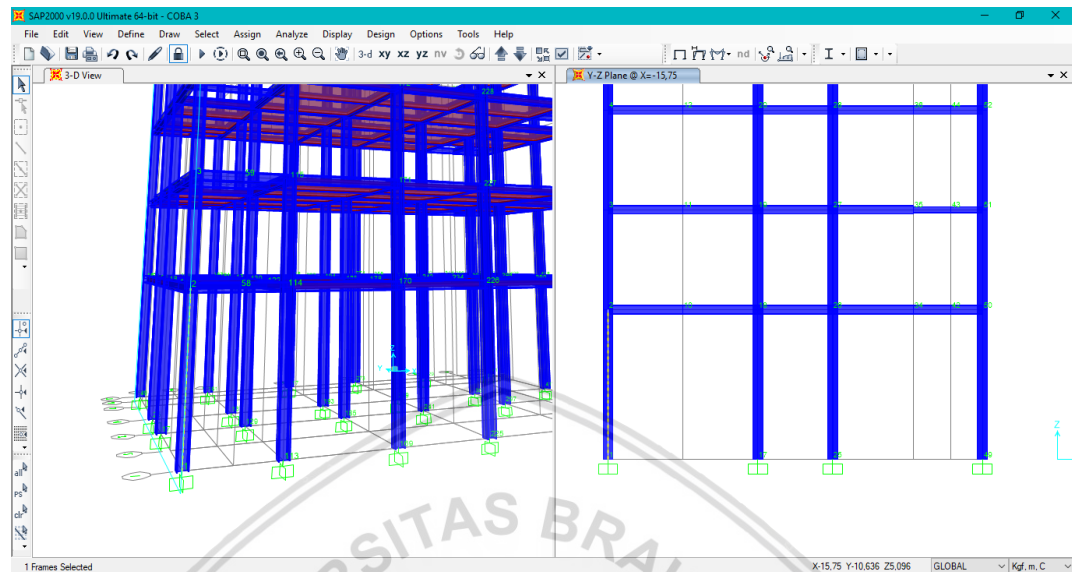
OK

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

4.6.1 Kontrol Penampang

Kuat rencana pada profil WF 400.400.13.21

$$N_{u \max} = 52193,05 \text{ kg}$$



Gambar 4.7 Letak terjadinya N_u maximum pada profil WF 400.400.13.21

Periksa kelangsingan penampang

- Flens

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{400/2}{21} = 9,524$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{290}} = 14,68$$

$$\frac{b/2}{t_f} < \lambda_r \quad (\text{Sayap Kompak})$$

- Web

$$\frac{h}{t_w} = \frac{314}{13} = 24,15$$

$$\lambda_r = \frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{290}} = 39,05$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_r \quad (\text{Badan kompak})$$

Faktor panjang efektif

$$G_A = 1 \text{ (jepit)}$$

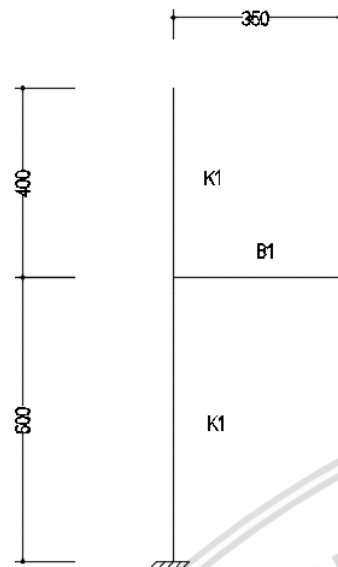
Momen inersia kolom WF 400.400.12.19 (K1)

$$I_x = 666000000 \text{ mm}^4$$

Momen inersia balok WF 350.350.9.14 (B1)

$$I_x = 403000000 \text{ mm}^4$$

Faktor panjang efektif k



Gambar 4.8 Struktur portal yang ditinjau

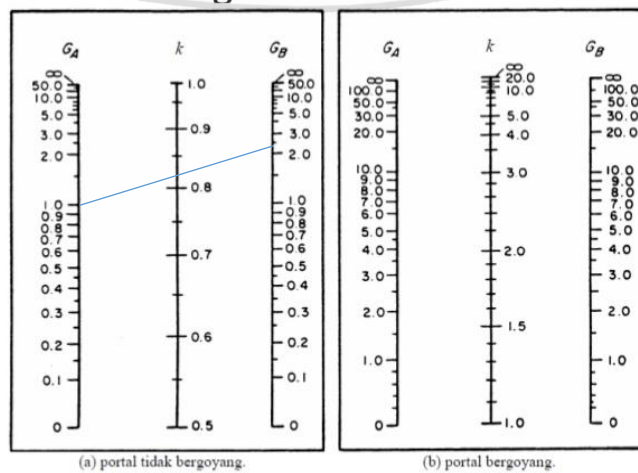
$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{balok}}}$$

$$G_B = \frac{111000 + 166500}{115142,8571}$$

$$G_B = 2,41$$

4.6.2 Akibat Portal Tak Bergoyang

Nomogram



Gambar 4.9 Nomogram faktor panjang tekuk, k (SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2)

$k_c = 0,83$ (dari nomogram diagram)

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = \frac{0,83 \cdot 6000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}}$$

$$\lambda_c = 0,3459$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,3459 < 1,2$, maka:

$$\bullet \omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 0,3459)} = 1,0451$$

$$\bullet f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

$$f_{cr} = \frac{290}{1,0451}$$

$$f_{cr} = 277,476 \text{ Mpa}$$

• Kuat rencana nominal

$$N_n = A_s \cdot f_{cr}$$

$$N_n = 21870 \cdot 277,476$$

$$N_n = 6068414,209 \text{ N}$$

$$N_n = 606841,4209 \text{ kg}$$

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

$$52193,05 \leq 0,85 \cdot 606841,4209$$

$$52193,05 \text{ kg} \leq 515815,2077 \text{ kg}$$

OK

• Persamaan kuat tekan lentur

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{52193,05}{515815,2077} = 0,101 < 0,2$$

$$\text{Maka menggunakan persamaan } \frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Cek kelangsingan penampang profil

$$\bullet \lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{314}{13}$$

$$\lambda = 24,153$$

$$\bullet \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_c N_y} \right)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{290}} \left(1 - \frac{143530,9}{515815,2} \right)$$

$$\lambda_p = 71,2018$$

$$\lambda(24,513) < \lambda_p(71,2018) \text{ (Maka penampang kompak)}$$

Kontrol tekuk lateral :

$$\bullet L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{290}} \cdot 101,204$$

$$L_p = 4677,656 \text{ mm}$$

$$\bullet f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 290 - 70$$

$$f_L = 220$$

$$\bullet X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{3330000} \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 2731775,333 \cdot 21870}{2}}$$

$$X_1 = 20614,712 \text{ MPa}$$

$$\bullet X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot 8043896000000}{224000000} \left(\frac{3330000}{80000 \cdot 2731775,333} \right)$$

$$X_2 = 2,188707304 \text{ mm}^4 / N^2$$



- $L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2(f_L)^2}$

$$L_r = 101,204 \frac{20614,712}{220} \sqrt{1 + 2,1887(220)^2}$$

$$L_r = 171348,2 \text{ mm}$$

$$L_p < L < L_r$$

$$4677,656 < 6000 < 171348,2 \text{ mm} \dots (\text{Bentang Menengah})$$

Sehingga $M_n = C_b \left(M_r + (M_p - M_r) \left(\frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right) \right) \leq M_p$

$$C_b = 1, \text{ beban dianggap simetris}$$

➤ Untuk M_{nx}

$$M_r = S_x(f_y - f_r)$$

$$= 3330000 (290 - 70)$$

$$= 732600000 \text{ N mm}$$

$$= 732600 \text{ kgm}$$

$$M_{px} = Z_x \cdot f_y$$

$$= 3600133.290$$

$$= 1044038570 \text{ N mm}$$

$$= 1044038,57 \text{ kgm}$$

$$M_{nx} = C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p$$

$$= 1,0 \left[732600 + (1044038,57 - 732600) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right] \leq 1044038,57$$

$$= 1036336,5 \leq 1044038,57$$

$$\emptyset M_{nx} = 0,9 \times M_{nx}$$

$$= 0,9 \times 1036336,5$$

$$= 932702,88 \text{ kgm}$$

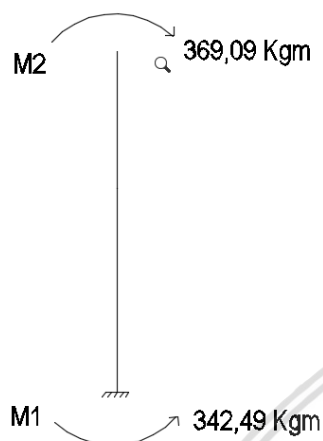


- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{ux} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 342,49 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 369,09 \text{ kgm}$$



Gambar 4.10 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x.

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{0,83 \cdot 6000}{174,507}$$

$$= 28,537$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{342,49}{369,09} \right)$$

$$= 0,2288$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x} \right)^2}$$

$$= \frac{\pi \cdot 200000 \cdot 21870}{(28,537)^2}$$

$$= 16864566,7 \text{ N}$$

$$= 1686456,67 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}\delta_b &= \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}} \\ &= \frac{0,2288}{1 - \frac{52193,05}{1686456,67}} \\ &= 0,2361 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ux} &= \delta_b \cdot M_u \text{ maks} \\ &= 1 \cdot 369,09 \\ &= 369,09 \text{ kgm}\end{aligned}$$

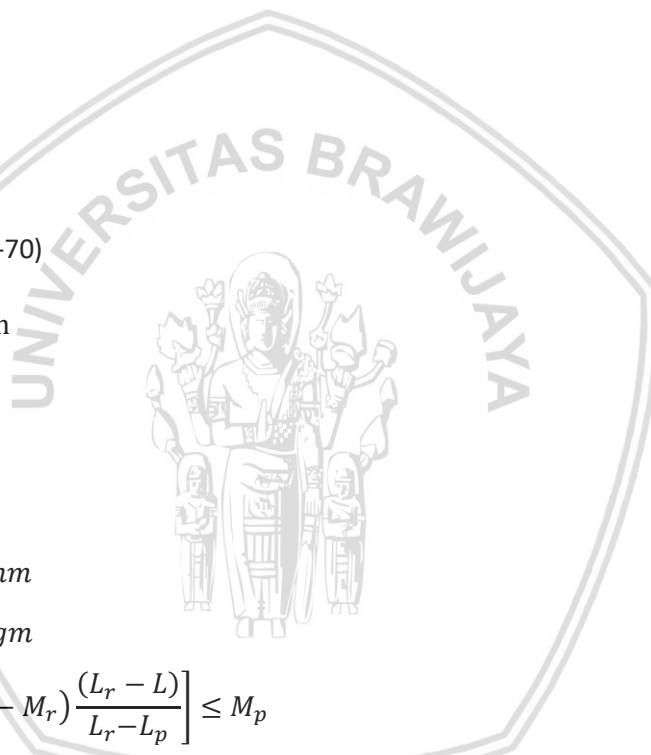
➤ Untuk Mny

$$\begin{aligned}M_r &= S_y(f_y - f_r) \\ &= 246400000 (290 - 70) \\ &= 246400000 \text{ N mm} \\ &= 24640 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{py} &= Z_y \cdot f_y \\ &= 1695125,5 \cdot 290 \\ &= 491586395 \text{ N mm} \\ &= 491586,395 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ny} &= C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \\ &= 1,0 \left[24640 + (491586,395 - 24640) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right] \leq 491586,395 \\ &= 487881,7 \leq 491586,395\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_{ny} &= 0,9 \times M_{ny} \\ &= 0,9 \times 487881,7 \\ &= 439093,53 \text{ kgm}\end{aligned}$$



- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{uy} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 126,42 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 503,9 \text{ kgm}$$



Gambar 4.11 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y.

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{0,83 \cdot 6000}{101,204}$$

$$= 49,207$$

$$C_m = 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$= 0,6 - 0,4 \cdot \left(\frac{126,42}{503,9} \right)$$

$$= 0,499647$$

$$N_{el} = \frac{\pi \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x} \right)^2}$$

$$= \frac{\pi \cdot 200000 \cdot 21870}{(49,207)^2}$$

$$= 5672167 \text{ N}$$

$$= 567216,7 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{0,499647}{1 - \frac{52193,05}{567216,7}}$$

$$= 0,550281 \leq 1 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_u \text{ maks}$$

$$= 1 \cdot 503,9$$

$$= 503,9 \text{ kgm}$$

- Kontrol kuat tekan lentur

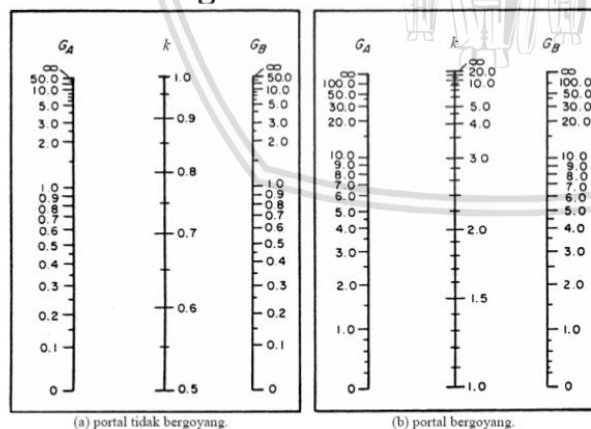
$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{52193,05}{2 \cdot 515815,2077} + \left(\frac{369,09}{0,9 \cdot 1036336,5} + \frac{503,9}{0,9 \cdot 487881,7} \right) \leq 1,0$$

$$0,052136 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

4.6.3 Akibat Portal Bergoyang

Nomogram



Gambar 4.12 Nomogram faktor panjang tekuk, k (SNI 03-1729-2002 Gb.7.6-2)

$$k_c = 1,5 \quad (\text{dari nomogram diagram})$$

$$\lambda_c = \frac{k_c \cdot L}{r_x \cdot \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$$

$$\lambda_c = \frac{1,5 \cdot 6000}{175 \cdot \pi} \sqrt{\frac{290}{200000}}$$

$$\lambda_c = 0,625121$$

Karena $0,25 < \lambda_c = 0,625121 < 1,2$, maka:

$$\bullet \omega = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot \lambda_c)} = \frac{1,43}{1,6 - (0,67 \cdot 0,625121)} = 1,2106$$

$$\bullet f_{cr} = \frac{f_y}{\omega}$$

$$f_{cr} = \frac{290}{1,2106}$$

$$f_{cr} = 239,537 \text{ Mpa}$$

• Kuat rencana nominal

$$N_n = A_s \cdot f_{cr}$$

$$N_n = 21870 \cdot 239,537$$

$$N_n = 5238691,446 \text{ N}$$

$$N_n = 523869,1446 \text{ kg}$$

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

$$52193,05 \leq 0,85 \cdot 523869,1446$$

$$52193,05 \text{ kg} \leq 445288,77 \text{ kg}$$

OK

• Persamaan kuat tekan lentur

$$\frac{N_u}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{52193,05}{445288,77} = 0,1172 < 0,2$$

$$\text{Maka menggunakan persamaan } \frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

Cek kelangsingan penampang profil

$$\bullet \lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda = \frac{314}{13}$$

$$\lambda = 24,153$$



$$\bullet \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_c N_y} \right)$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{290}} \left(1 - \frac{143530,9}{445288,77} \right)$$

$$\lambda_p = 66,853$$

$$\lambda(24,513) < \lambda_p(66,853) \text{ (Maka penampang kompak)}$$

Kontrol tekuk lateral :

$$\bullet L_p = \frac{790}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y$$

$$L_p = \frac{790}{\sqrt{290}} \cdot 101,204$$

$$L_p = 4677,656 \text{ mm}$$

$$\bullet f_L = f_y - f_r$$

$$f_L = 290 - 70$$

$$f_L = 220$$

$$\bullet X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E_s \cdot G \cdot J \cdot A}{2}}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{3330000} \sqrt{\frac{200000 \cdot 80000 \cdot 2731775,333 \cdot 21870}{2}}$$

$$X_1 = 20614,712 \text{ MPa}$$

$$\bullet X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J} \right)$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot 8043896000000}{224000000} \left(\frac{3330000}{80000 \cdot 2731775,333} \right)$$

$$X_2 = 2,188707304 \text{ mm}^4 / N^2$$

$$\bullet L_r = r_y \frac{X_1}{f_L} \sqrt{1 + X_2 (f_L)^2}$$

$$L_r = 101,204 \frac{20614,712}{220} \sqrt{1 + 2,1887(220)^2}$$

$$L_r = 171348,2 \text{ mm}$$

$$L_p < L < L_r$$

$$4677,656 < 6000 < 171348,2 \text{ mm} \dots \text{ (Bentang Menengah)}$$



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}

$$\begin{aligned} M_r &= S_x(f_y - f_r) \\ &= 3330000 (290 - 70) \\ &= 732600000 \text{ N mm} \\ &= 732600 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{px} &= Z_x \cdot f_y \\ &= 3600133.290 \\ &= 1044038570 \text{ N mm} \\ &= 1044038,57 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nx} &= C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \\ &= 1,0 \left[732600 + (1044038,57 - 732600) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right] \\ &\leq 1044038,57 \\ &= 1036336,5 \leq 104403,857 \end{aligned}$$

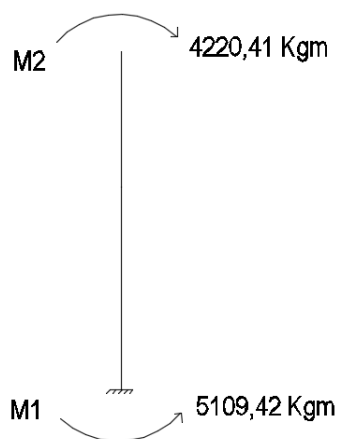
$$\begin{aligned} \phi M_{nx} &= 0,9 \times M_{nx} \\ &= 0,9 \times 1036336,5 \\ &= 932702,88 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{ux} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 5109,42 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 4220,41 \text{ kgm}$$



Gambar 4.13 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah x.

$$\frac{k_c \cdot L}{r_x} = \frac{1,5 \cdot 6000}{174,507}$$

$$= 51,5738$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot Es \cdot Ag}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(51,5738)^2}$$

$$= 16213564,4 \text{ N}$$

$$= 1621356,44 \text{ kg}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{52193,05}{1621356,44}}$$

$$= 1,03326 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,03326)}$$

$$M_{ux} = \delta_b \cdot M_u \text{ maks tak bergoyang} + \delta_s \cdot M_u \text{ maks bergoyang}$$

$$= 1 \cdot 369,09 + 1,03326 \cdot 5109,42$$

$$= 10388,78 \text{ kgm}$$



➤ Untuk M_{ny}

$$\begin{aligned} M_r &= S_y(f_y - f_r) \\ &= 246400000 (290 - 70) \\ &= 246400000 \text{ N mm} \\ &= 24640 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_{py} = Z_y \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} &= 1695125,5 \cdot 290 \\ &= 491586395 \text{ N mm} \\ &= 491586,395 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ny} &= C_b \left[M_r + (M_p - M_r) \frac{(L_r - L)}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \\ &= 1,0 \left[24640 + (491586,395 - 24640) \frac{(171348,2 - 6000)}{(171348,2 - 4677,656)} \right] \leq 491586,395 \\ &= 487881,7 \leq 491586,395 \end{aligned}$$

$$\phi M_{ny} = 0,9 \times M_{ny}$$

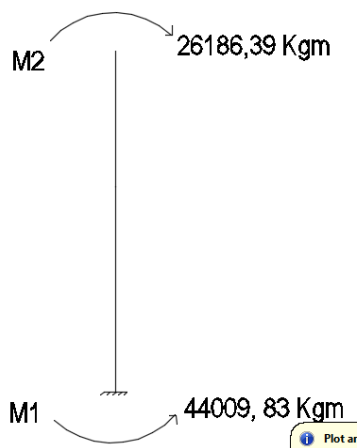
$$\begin{aligned} &= 0,9 \times 487881,7 \\ &= 439093,53 \text{ kgm} \end{aligned}$$

- Menentukan perbesaran momen δ_b M_{uy} :

Hubungan Balok – Kolom

$$M_1 = 44009,83 \text{ kgm}$$

$$M_2 = 26186,39 \text{ kgm}$$



Gambar 4.14 Momen ujung akibat portal tak bergoyang pada arah y.

$$\frac{k_c \cdot L}{r_y} = \frac{1,5 \cdot 6000}{101,204}$$

$$= 88,92$$

$$N_{el} = \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot A_g}{\left(\frac{k_c \cdot L}{r_x}\right)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \cdot 200000 \cdot 21870}{(88,92)^2}$$

$$= 5453211 \text{ N}$$

$$= 545321,1 \text{ kg}$$

$$\delta_b = \frac{1}{1 - \frac{N_u}{N_{el}}}$$

$$= \frac{1}{1 - \frac{52193,05}{545321,1}}$$

$$= 1,105841 \geq 1 \text{ (maka diambil 1,105841)}$$

$$M_{uy} = \delta_b \cdot M_u \text{ maks tak bergoyang} + \delta_s \cdot M_u \text{ maks bergoyang}$$

$$= 1 \cdot 369,09 + 1,105841 \cdot 44009,83$$

$$= 49171,76 \text{ kgm}$$

- Kontrol kuat tekan lentur

$$\frac{N_u}{2\phi \cdot N_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{52193,05}{2 \cdot 445288,77} + \left(\frac{10388,78}{0,9 \cdot 1036336,5} + \frac{49171,76}{0,9 \cdot 487881,7} \right) \leq 1,0$$

$$0,181729 \leq 1,0 \quad \text{OK}$$

4.7 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.

4.7.1 Sambungan Antar Balok - Kolom

Untuk menyambungkan balok baja ke kolom baja digunakan sambungan berupa las.

Contoh perhitungan dilakukan pada balok profil WF 350.350.12.19

Data-data las:

Digunakan electrode las E80

$$f_u w = 560 \text{ Mpa}$$

Data-data pada balok

$$M_{u \text{ maks}} = 39160,95 \text{ kgm} = 391609500 \text{ Nmm}$$

$$V_{u \text{ maks}} = 22925,27 \text{ kg} = 229252,7 \text{ N}$$

➤ Las pada badan

Persyaratan ukuran las

$$t_{\text{maks}} = t_w - 1,6$$

$$= 12 - 1,6$$

$$= 10,4 \text{ mm}$$

$$t_{\text{min}} = 5 \text{ mm (tabel 13.5-1 SNI 03-1729-2002)}$$

Diambil nilai $t_w = 10 \text{ mm}$

$$t_e = 0,707 \cdot t$$

$$t_e = 0,707 \cdot 10$$

$$t_e = 7,07 \text{ mm}$$

- Gaya akibat geser

$$R_{uV} = V_u$$

$$R_{uV} = 229252,7 \text{ N}$$

- Kuat rencana las ukuran 10 mm per mm panjang

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw}$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot 7,07 \cdot 0,6 \cdot 560$$

$$\phi R_{nw} = 1781,64 \text{ N/mm}$$

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$L_w = \frac{R_{uV}}{\phi R_{nw}}$$

$$L_w = \frac{229252,7}{1781,64}$$

$$L_w = 128,675 \text{ mm}$$

$$L_w \approx 130 \text{ mm}$$

- Syarat panjang minimum las sudut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.5)

$$L_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 4 \cdot t$$

$$L_{\min} = 4 \cdot 10$$

$$L_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 40 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

- Syarat jarak maksimum antara las sudut yang berdekatan (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.7)

$$L_{\max} = 300 \text{ mm}$$

$$L_{\max} = 16 \cdot t_w$$

$$L_{\max} = 16 \cdot 12$$



$$L_{maks} = 192$$

$$L_{maks} = 192 \text{ mm (diambil 200)}$$

- Kuat rencana las baja

$$\phi T_n = L_w \cdot \phi R_{nw}$$

$$\phi T_n = 200 \cdot 1781,64$$

$$\phi T_n = 356328 \text{ N}$$

- Las pada sayap

Persyaratan ukuran las

$$t_{maks} = t_f - 1,6$$

$$= 19 - 1,6$$

$$= 17,4 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 6 \text{ mm (tabel 13.5-1 SNI 03-1729-2002)}$$

diambil nilai $t = 15 \text{ mm}$

$$t_e = 0,707 \cdot t$$

$$t_e = 0,707 \cdot 15$$

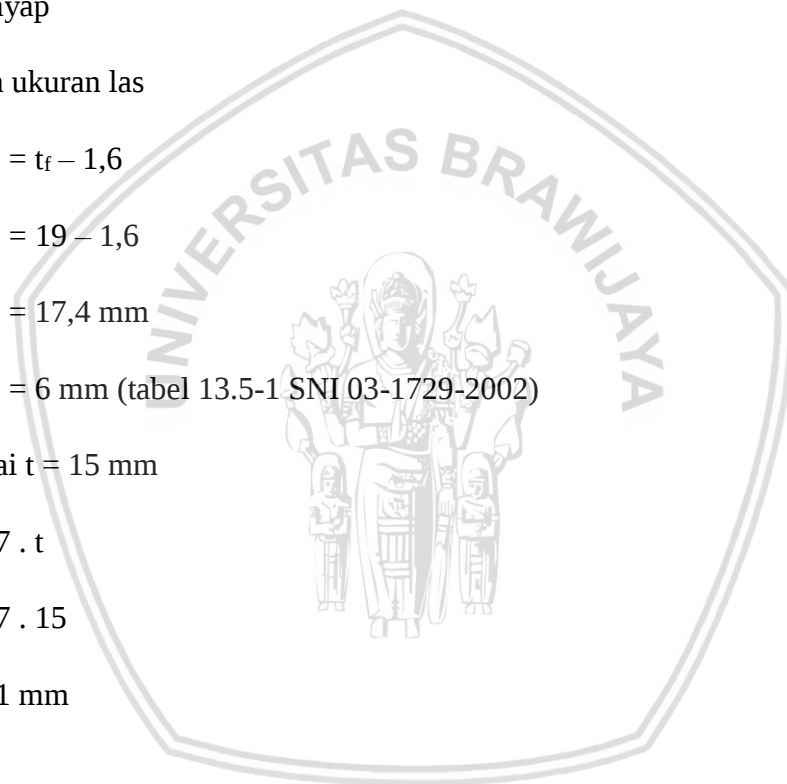
$$t_e = 10,61 \text{ mm}$$

- Gaya akibat momen

$$R_{uM} = M_u / d$$

$$R_{uM} = 391609500 / 350$$

$$R_{uM} = 1118884,286 \text{ N}$$



- Kuat rencana las ukuran mm per mm panjang

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 \cdot f_{uw}$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot 10,61 \cdot 0,6 \cdot 560$$

$$\phi R_{nw} = 2672,46 \text{ N/mm}$$

- Panjang total las yang dibutuhkan

$$L_w = \frac{R_u M}{\phi R_{nw}}$$

$$L_w = \frac{1118884,286}{2672,46}$$

$$L_w = 418,672 \text{ mm}$$

$$L_w \approx 420 \text{ mm}$$

- Syarat panjang minimum las sudut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.5)

$$L_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 4 \cdot t$$

$$L_{\min} = 4 \cdot 15$$

$$L_{\min} = 60 \text{ mm}$$

$$L_{\min} = 60 \text{ mm (diambil yang terbesar)}$$

- Syarat jarak maksimum antara las sudut yang berdekatan (SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.7)

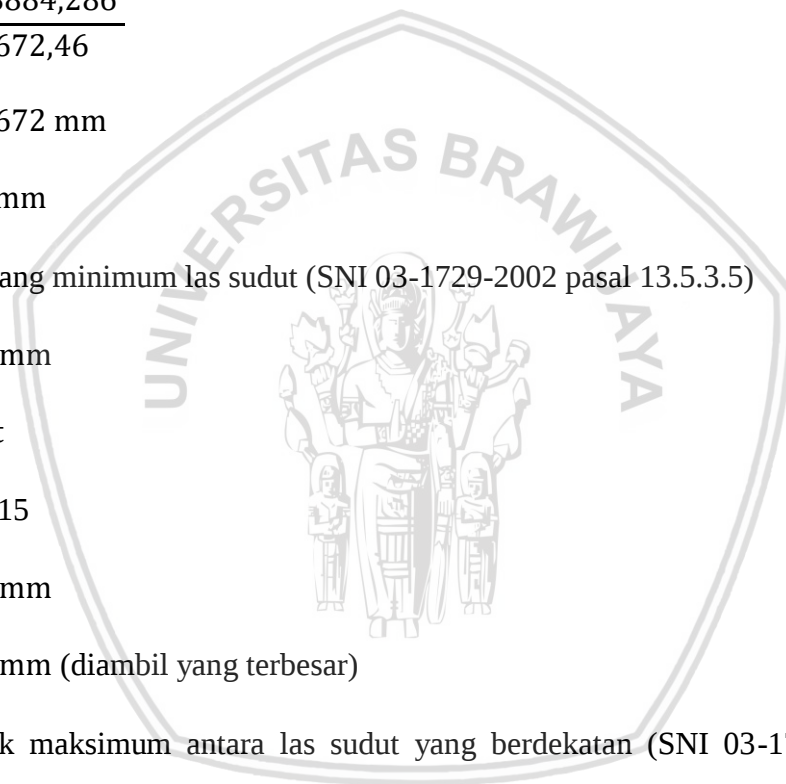
$$L_{\text{maks}} = 300 \text{ mm}$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot t_f$$

$$L_{\text{maks}} = 16 \cdot 19$$

$$L_{\text{maks}} = 304 \text{ mm}$$

$$L_{\text{maks}} = 300 \text{ mm (diambil yang terkecil)}$$



- Kuat rencana las baja

$$\phi T_n = L_w \cdot \phi R_{nw}$$

$$\phi T_n = 300 \cdot 2672,46$$

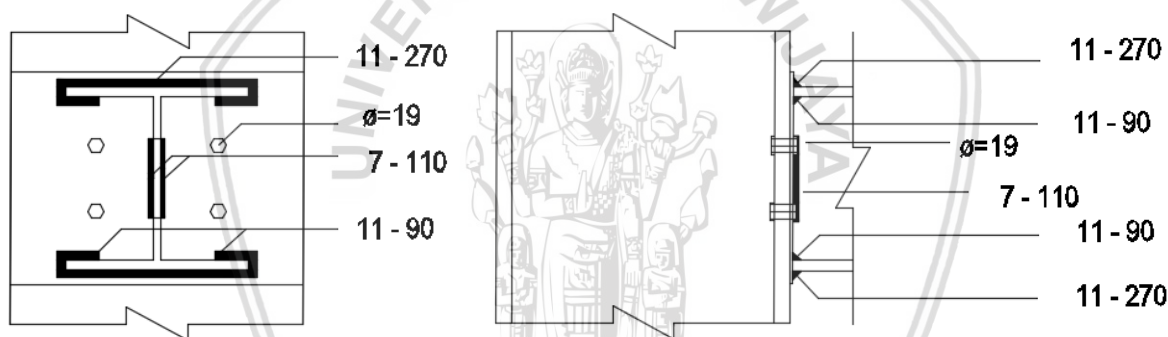
$$\phi T_n = 801738 \text{ N}$$

Dengan cara yang sama, didapatkan tebal dan panjang las sudut pada balok bentang lain seperti dalam tabel berikut:

Tabel 4.4.

Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut sambungan balok dan kolom.

balok	profil	badan		sayap	
		a (mm)	Lw (mm)	a (mm)	Lw (mm)
B1	WF 350.350.12.19	10	130	15	420
B2	WF 250.250.9.14	7	110	11	270



Gambar 4.15 Sambungan las balok pada kolom

4.7.2 Sambungan antar kolom

Untuk menyambung antar kolom baja digunakan sambungan berupa baut. Contoh perhitungan dilakukan pada kolom profil WF 400.40.13.21.

Data-data baut:

Digunakan baut A325

$$\emptyset = 19 \text{ mm}$$

$$A_b = 283,643 \text{ mm}^2$$

$$f_u^b = 825 \text{ Mpa}$$

Data-data pada kolom

$$f_u = 500 \text{ Mpa}$$

$$M_{u \text{ maks}} = 51781,45 \text{ kgm}$$

$$V_{u \text{ maks}} = 16372,56 \text{ kg}$$

Tahanan nominal baut (ϕR_{nw})

➤ Geser

$$\begin{aligned} 1 \text{ bidang geser} &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot f_u^b \cdot A_b \\ 1 \text{ bidang geser} &= 0,75 \cdot 0,4 \cdot 825 \cdot 283,643 \\ &= 70201,607 \text{ N} \\ 2 \text{ bidang geser} &= 2 \cdot 70201,607 \\ &= 140403,214 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Tumpu

$$\begin{aligned} \text{Badan profil} &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot f_{up} \cdot \phi \cdot t_w \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 500 \cdot 19 \cdot 13 \\ &= 222300 \text{ N} \\ \text{Sayap profil} &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot f_{up} \cdot \phi \cdot t_f \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 500 \cdot 19 \cdot 21 \\ &= 359100 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Baut pada badan

Tinggi pelat penyambung direncanakan 400 mm

Menghitung tebal pelat penyambung

$$\begin{aligned} I_{\text{pelat penyambung}} &\geq I_{\text{badan}} \\ 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_p \cdot h_p^3 &\geq \frac{1}{12} \cdot t_w \cdot h^3 \\ 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_p \cdot 400^3 &\geq \frac{1}{12} \cdot 13 \cdot 314^3 \\ t_p &\geq 3,144 \text{ mm} \\ t_p &\approx 3,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tahanan geser nominal 2 bidang lebih kecil dari pada tahanan tumpu, sehingga tahanan nominal baut ditentukan oleh tahanan geser nominal 2 bidang.

$$n = \frac{R_{uv}}{\phi R_{nw}}$$

$$n = \frac{16372,56}{140403,214}$$

$$n = 1,166$$

$$n \approx 2 \text{ buah}$$

Tahanan geser menentukan, sehingga tahanan untuk 6 baut:

$$\phi T_n = n \cdot \phi R_n$$

$$\phi T_n = 2 \cdot 140403,214$$

$$\phi T_n = 280806,429 \text{ N}$$

Syarat jarak baut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

$$1,5 \varnothing = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$3 \varnothing = 3 \cdot 19 = 57 \text{ mm}$$

$$15 \cdot t_w = 15 \cdot 13 = 195 \text{ mm}$$

$$4 \cdot t_w + 100 = 4 \cdot 13 + 100 = 152 \text{ mm}$$

Jarak antar baut

$$3 \varnothing < S < 15 \cdot t_w \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$57 \text{ mm} < S < 195 \text{ mm} \text{ (diambil jarak 60mm)}$$

Jarak baut dengan tepi pelat

$$1,5 \varnothing < S < 4 \cdot t_w + 100 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$28,5 \text{ mm} < S < 152 \text{ mm} \text{ (diambil jarak 30mm)}$$

b. Baut pada sayap

Tinggi pelat penyambung direncanakan 330 mm

Menghitung tebal pelat penyambung

$$\begin{aligned} S &= \frac{M_u}{2 b f} \\ &= \frac{517814500}{800} \\ &= 647268,125 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_n = \frac{S}{f_u}$$

$$= \frac{647268,125}{500}$$

$$= 1294,536 \text{ mm}^2$$

$$t_p = \frac{A_n}{h_l}$$

$$= \frac{1294,536}{330}$$

$$= 3,923 \text{ mm}$$

$$t_p \approx 4 \text{ mm}$$

Tahanan geser nominal 2 bidang lebih kecil daripada tahanan tumpu, sehingga tahanan nominal baut ditentukan oleh tahanan geser nominal 1 bidang.

Jumlah baut yang dibutuhkan

$$n = \frac{S}{\phi R_{nw}}$$

$$n = \frac{647268,125}{140403,214}$$

$$n = 4,61$$

$$n \approx 6 \text{ buah}$$

Tahanan geser menentukan, sehingga tahanan untuk 16 baut:

$$\phi T_n = n \cdot \phi R_n$$

$$\phi T_n = 6 \cdot 140403,214$$

$$\phi T_n = 842419,286 \text{ N}$$

Syarat jarak baut (SNI 03-1729-2002 pasal 13.4)

$$1,5 \varnothing = 1,5 \cdot 19 = 28,5 \text{ mm}$$

$$3 \varnothing = 3 \cdot 19 = 57 \text{ mm}$$

$$15 \cdot t_f = 15 \cdot 21 = 315 \text{ mm}$$

$$4 \cdot t_f + 100 = 4 \cdot 21 + 100 = 184 \text{ mm}$$

Jarak antar baut

$$3 \varnothing < S < 15 \cdot t_f \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

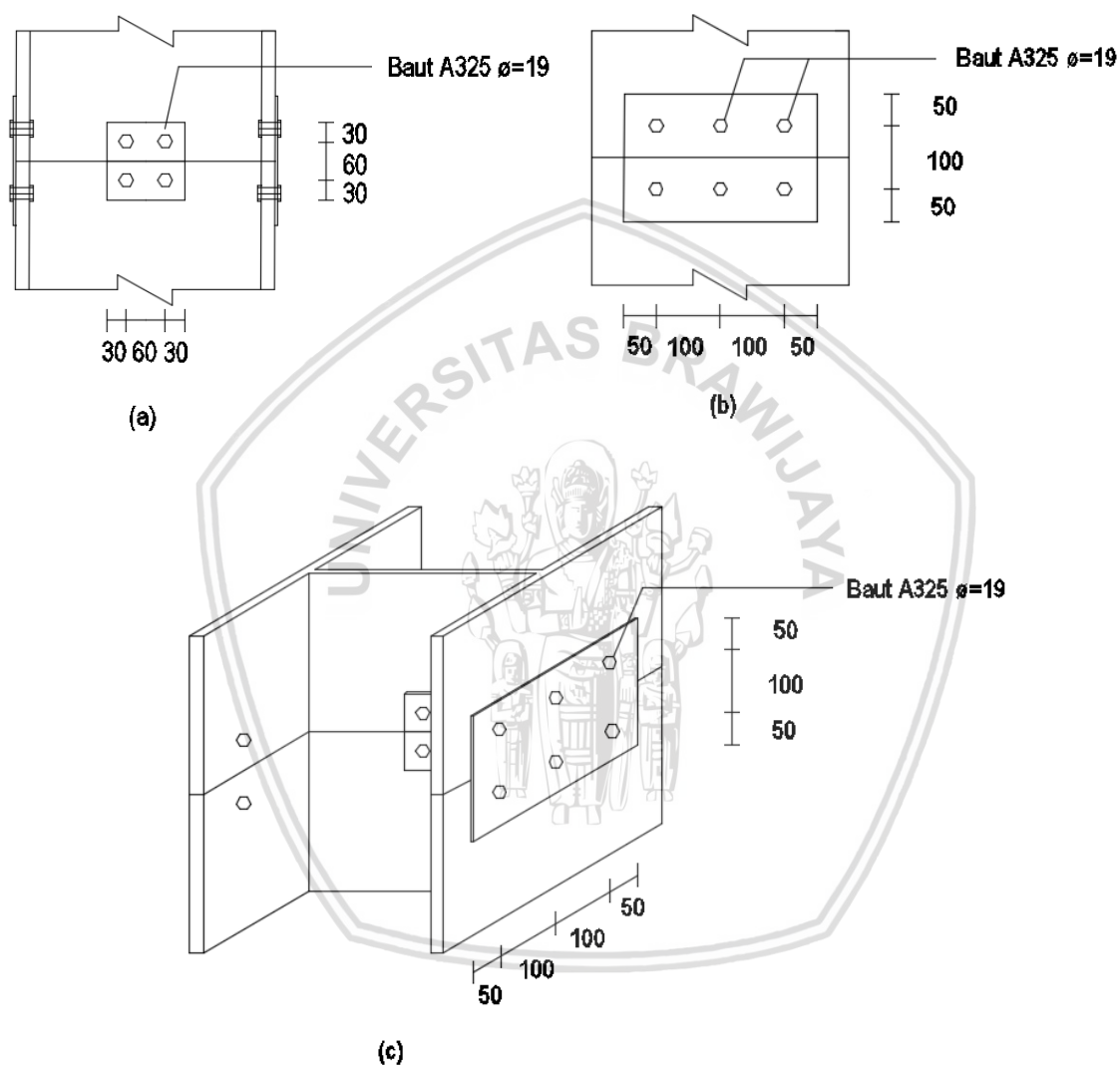


$57 \text{ mm} < S < 315 \text{ mm}$ (diambil jarak 100mm)

Jarak baut dengan tepi pelat

$1,5 \varnothing < S < 4 \cdot t_f + 100$ atau 200 mm

$28,5 \text{ mm} < S < 184 \text{ mm}$ (diambil jarak 50mm)



Gambar 4.16 Sambungan baut antar kolom, tampak web (a), tampak flens (b), tampak 3 dimensi (c)

4.8. Pembahasan

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.

Perencanaan alternatif Gedung Laboratorium Kebencanaan Universitas Brawijaya Malang ini menggunakan balok baja yang di-nonkomposit dengan pelat beton dan menggunakan bahan baja untuk kolomnya. Balok dan kolom yang digunakan adalah balok baja dan kolom baja WF. Mutu baja yang digunakan ada 2, untuk balok menggunakan BJ41 dan untuk kolom BJ50 sedangkan mutu betonnya menggunakan mutu $f'_c = 30$ MPa. Untuk sambungan antara balok dan kolom digunakan las dengan electrode E80, 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 gravitasi yang terjadi pada struktur dalam kondisi non-komposit. Selain itu beban gempa disini cukup berpengaruh karena gedung terdiri dari 7 lantai, sehingga beban gempa harus benar-benar diperhitungkan dengan baik.

Berdasarkan filosofi "*Capacity Design*" yang digunakan dalam perencanaan, maka kolom diberi kekuatan yang cukup sehingga kolom tidak leleh atau runtuh terlebih dahulu sebelum balok 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.

4.8.1 Pembahasan Balok

Balok yang direncanakan ada 2 tipe yaitu balok 1 dengan profil WF 350.350.12.19, balok 2 dengan profil WF 250.250.9.14. Setelah mendapatkan *output* dari analisis pemodelan pada SAP2000 yang berupa gaya-gaya dalam dari struktur yaitu momen, gaya lintang dan gaya aksial, selanjutnya akan dikontrol terhadap kapasitas tahanan dari balok tersebut.

Pada perencanaan balok nonkomposit, balok dikontrol terhadap kapasitas tahanan momen lentur nominal, kapasitas tahanan geser nominal dan lendutan. Beban mati sebesar berat sendiri bangunan pada saat pembebanan, 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 . Pada hasil analisis kapasitas tahanan lentur nominal balok non-komposit yaitu dengan $M_n = Z \cdot f_y$ dan bisa dilihat pada Tabel 4.2. Rekapitulasi kuat lentur balok non-komposit dengan hasil pada balok 1 memiliki kapasitas momen lentur nominal sebesar $68427,525 \text{ kgm}$ yang masih lebih besar dibandingkan dengan momen lentur *ultimate* yang terjadi pada balok 1 sebesar $39155,95 \text{ kgm}$. Untuk balok 2 memiliki kapasitas momen lentur nominal sebesar $25827,73 \text{ kgm}$ yang masih lebih besar dibandingkan dengan momen lentur *ultimate* yang terjadi pada balok 2 sebesar $12895,25 \text{ kgm}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa masing-masing balok mampu menahan lentur *ultimate* yang terjadi pada balok. Sedangkan hasil analisis tahanan geser nominalnya bisa dilihat pada Tabel 4.3. Rekapitulasi kuat geser balok non-komposit dan dari tabel tersebut didapat hasil pada balok 1 memiliki kapasitas tahanan geser nominal sebesar $51170,746 \text{ kg}$ yang masih lebih besar dibandingkan dengan geser lentur *ultimate* yang terjadi pada balok 1 sebesar $22925,27 \text{ kg}$ dan bisa dikatakan aman. Untuk balok 2 memiliki kapasitas geser lentur nominal sebesar $27307,465 \text{ kg}$ yang masih lebih besar dibandingkan dengan geser lentur *ultimate* yang terjadi pada balok 2 sebesar $13105,67 \text{ kg}$, jadi masing-masing balok mampu menahan geser *ultimate* yang terjadi pada balok. Untuk lendutan maksimum yang terjadi pada balok sebesar $17,171 \text{ mm}$ dimana masih lebih kecil dari lendutan yang diijinkan yaitu sebesar $23,611 \text{ mm}$.

4.8.2 Pembahasan Kolom

Kolom yang direncanakan pada struktur bangunan ini menggunakan material baja dengan profil WF 400.400.13.21. 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 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 $52193,05 \text{ kg}$. 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

606841,4209 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 yang analisisnya bisa dilihat pada sub bab 4.6.2 dan analisis balok-kolom akibat portal bergoyang yang bisa dilihat pada sub bab 4.6.3.

4.8.3 Pembahasan Sambungan

Sambungan pada perencanaan ini terdiri dari sambungan antara balok-kolom dan sambungan antar kolom. Untuk sambungan antara balok induk dan balok anak serta sambungan balok-kolom digunakan las. Sambungan las yang digunakan adalah sambungan las elektroda dengan $f_u = 560$ Mpa. Setelah dilakukan perhitungan untuk perencanaan sambungan las didapat tebal dan panjang kebutuhan las yang bisa dilihat pada Tabel.4.4. Rekapitulasi tebal dan panjang las sudut antara balok dan kolom.

Untuk sambungan antar kolomnya sendiri 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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Perencanaan Gedung Laboratorium Kebencanaan Universitas Brawijaya Malang menggunakan struktur nonkomposit. Gedung ini dirancang dengan konsep perencanaan berdasarkan LRFD(*Load Resistance And Factor Design*). Beban dianalisis dengan metode respon spektrum dengan bantuan program aplikasi analisis struktur. Struktur nonkomposit memiliki keunggulan yaitu dimensi balok dan kolom yang lebih kecil dibandingkan eksisting sehingga beban bangunan berkurang, kekakuan lantai meningkat, dan panjang bentang layan untuk balok tertentu bisa lebih panjang.

Balok dan kolom yang digunakan pada perencanaan ini adalah balok baja dan kolom baja dengan profil WF. Dari hasil perencanaan, balok menggunakan 2 tipe profil yaitu profil WF 350.350.12.19 untuk balok 1, balok 2 dengan profil WF 250.250.9.14, dan kolom menggunakan profil WF 400.400.13.21.

5.2 Saran

Pada perencanaan struktur nonkomposit harus tetap memperhatikan peraturan-peraturan yang berlaku, agar dapat diperoleh hasil yang dapat dipertanggung jawabkan serta dapat diperoleh hasil yang lebih efisien dan dapat menghemat biaya pelaksanaan pekerjaan. Selain itu ,para perencana harus lebih teliti saat input data dalam program analisis, karena kesalahan *input* data akan berakibat fatal.

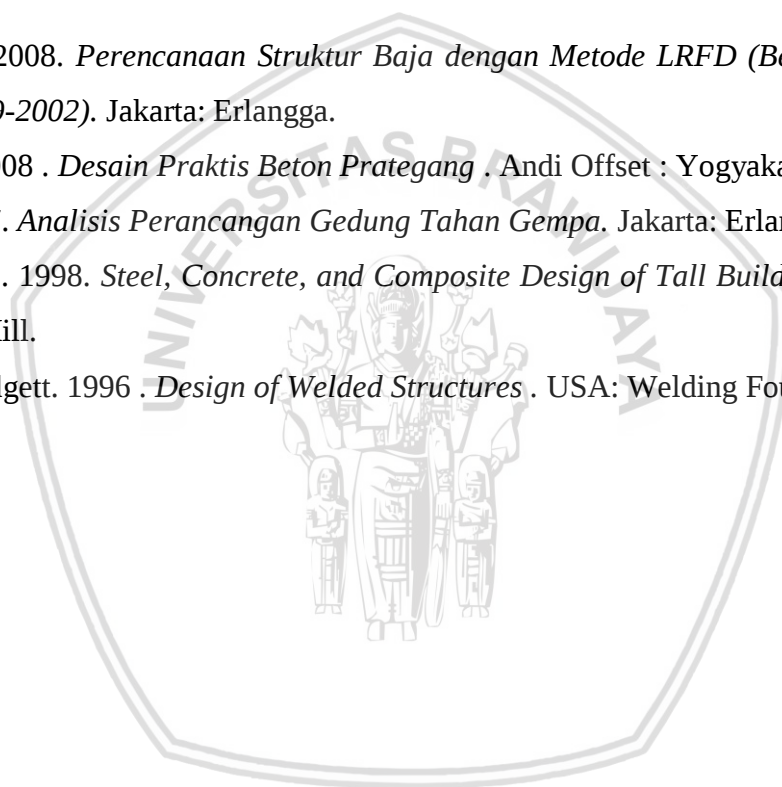
Pada perencanaan struktur nonkomposit penahan gaya gempa, yang harus diperhatikan adalah pada saat mengontrol tahanan balok dan kolom sehingga memenuhi batasan-batasan balok dan kolom sesuai SRPM(Sistem Rangka Pemikul Momen) serta perlu adanya ketelitian dalam merencanakan sambungan. Setelah merealisasikan hitungan menjadi sebuah gambar, perlu adanya control apakah sudah sesuai dengan rencana awal. Selain itu penggunaan profil baja disarankan yang ada di pasaran.

(Halaman dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

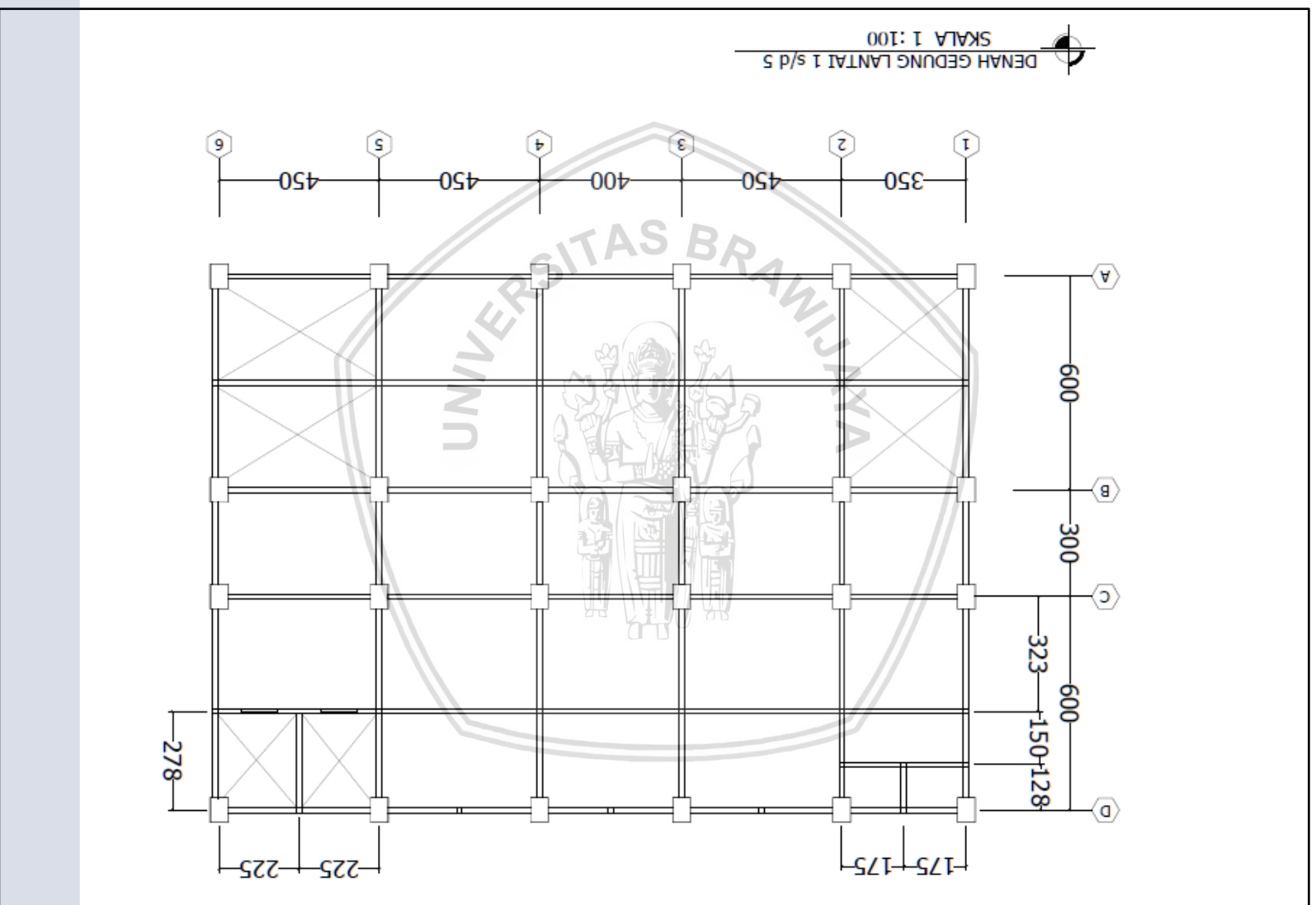
- Badan Standarisasi Nasional. (1983). *Peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1726-2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1729-2002*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Setiawan, A. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Erlangga.
- Budiadi, A. 2008 . *Desain Praktis Beton Prategang* . Andi Offset : Yogyakarta
- Muto, K. 1987. *Analisis Perancangan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Erlangga.
- Taranath, B. S. 1998. *Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings*. USA: McGraw-Hill.
- Omer,W. Blodgett. 1996 . *Design of Welded Structures* . USA: Welding Foundation

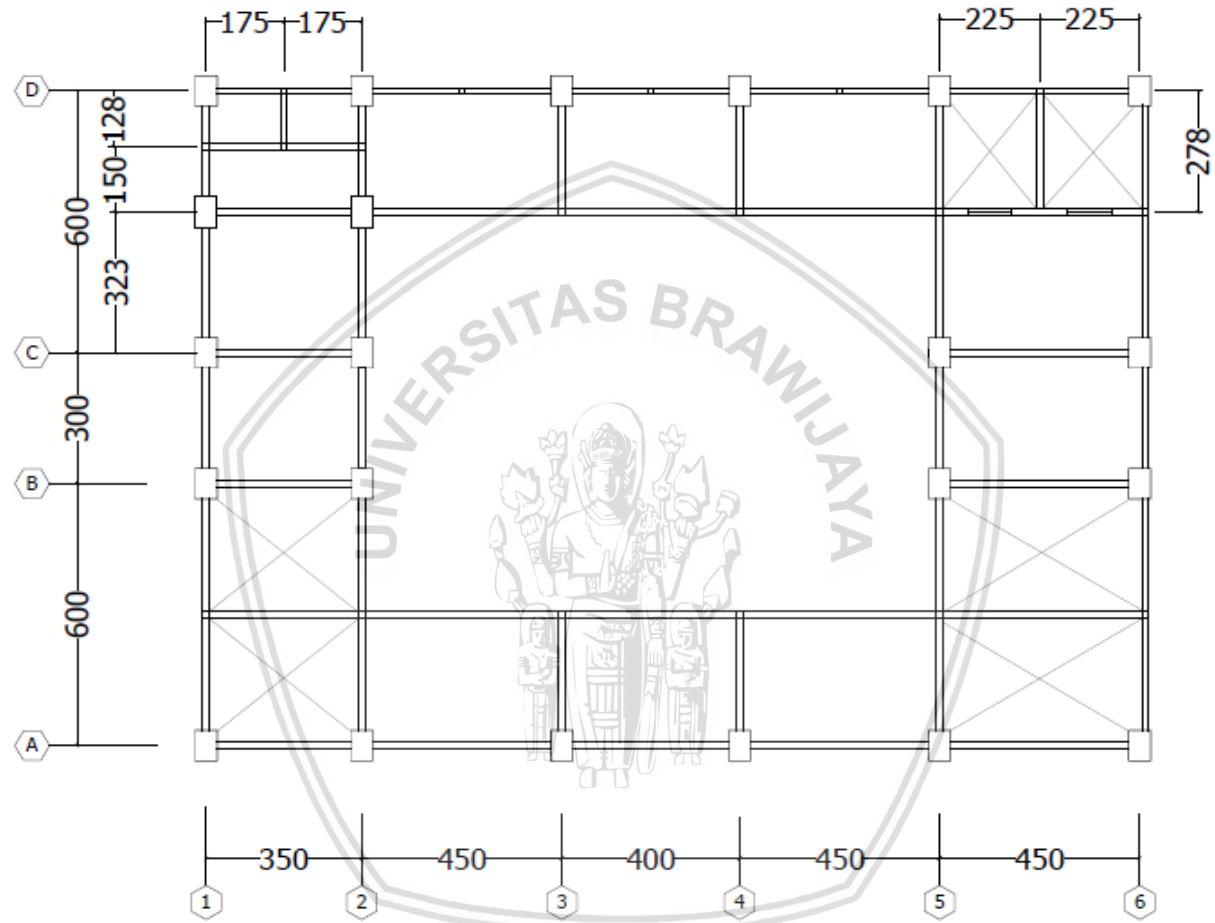


(Halaman dikosongkan)









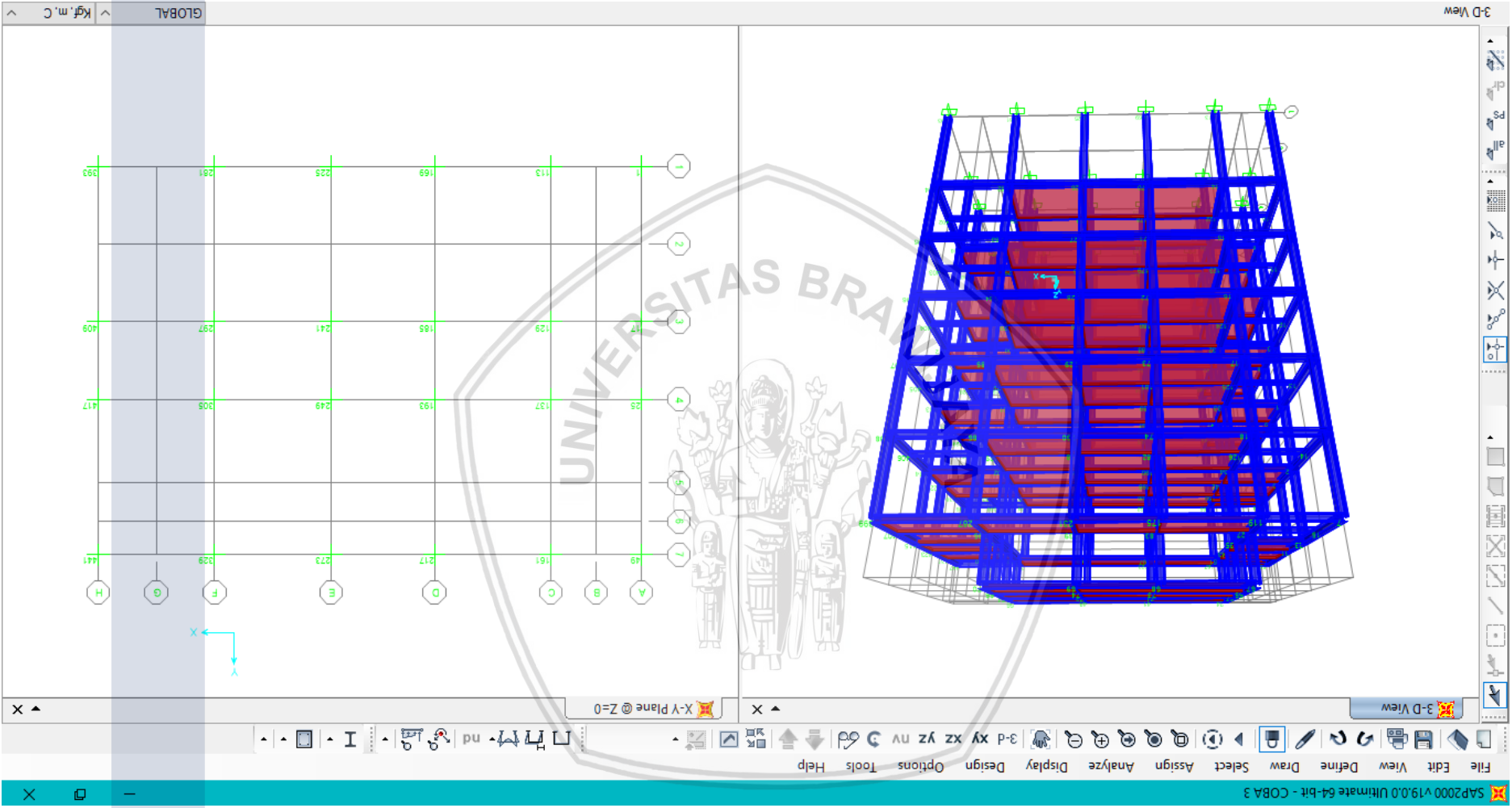
DENAH GEDUNG LANTAI 6
SKALA 1 : 100

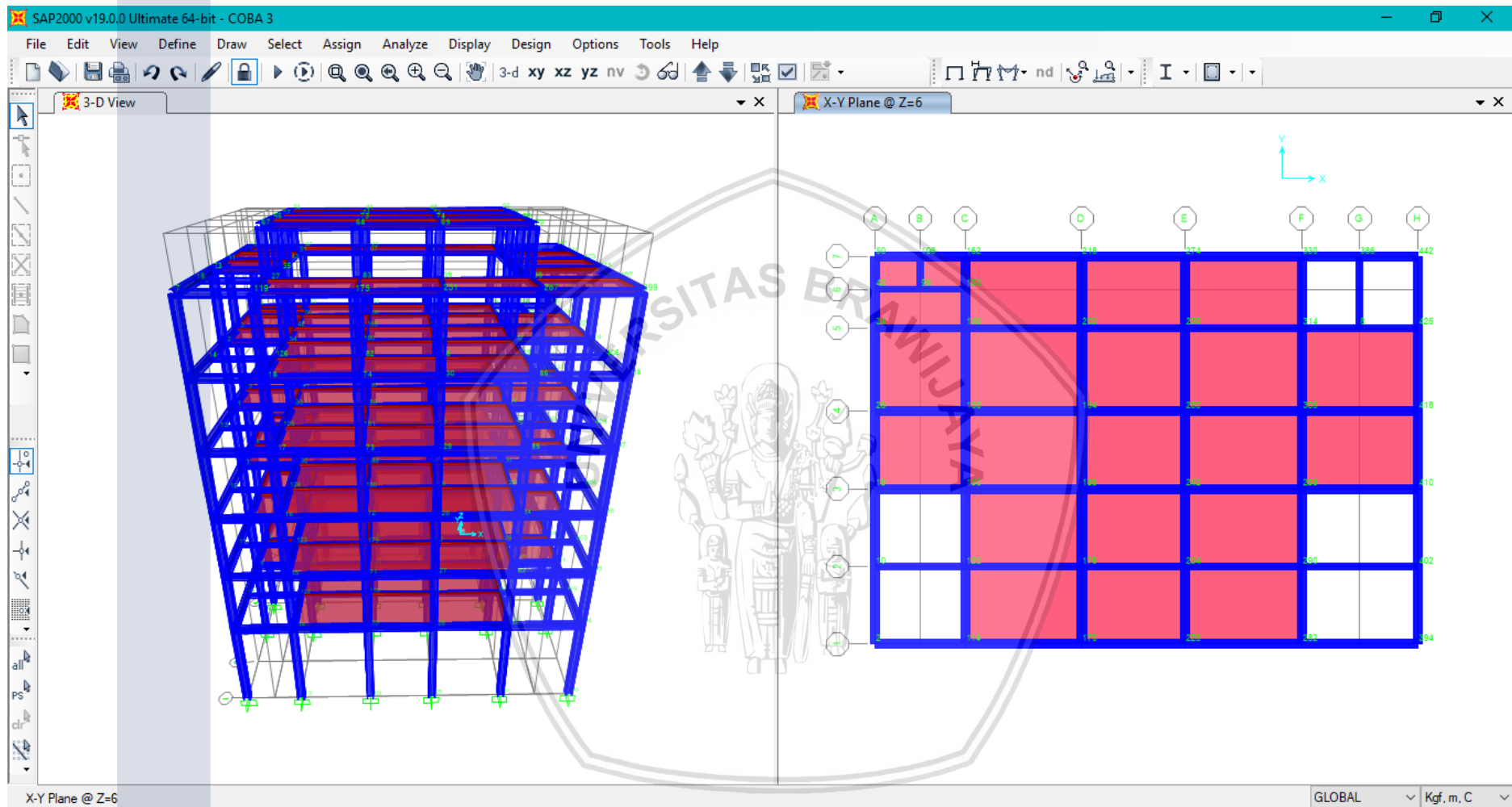


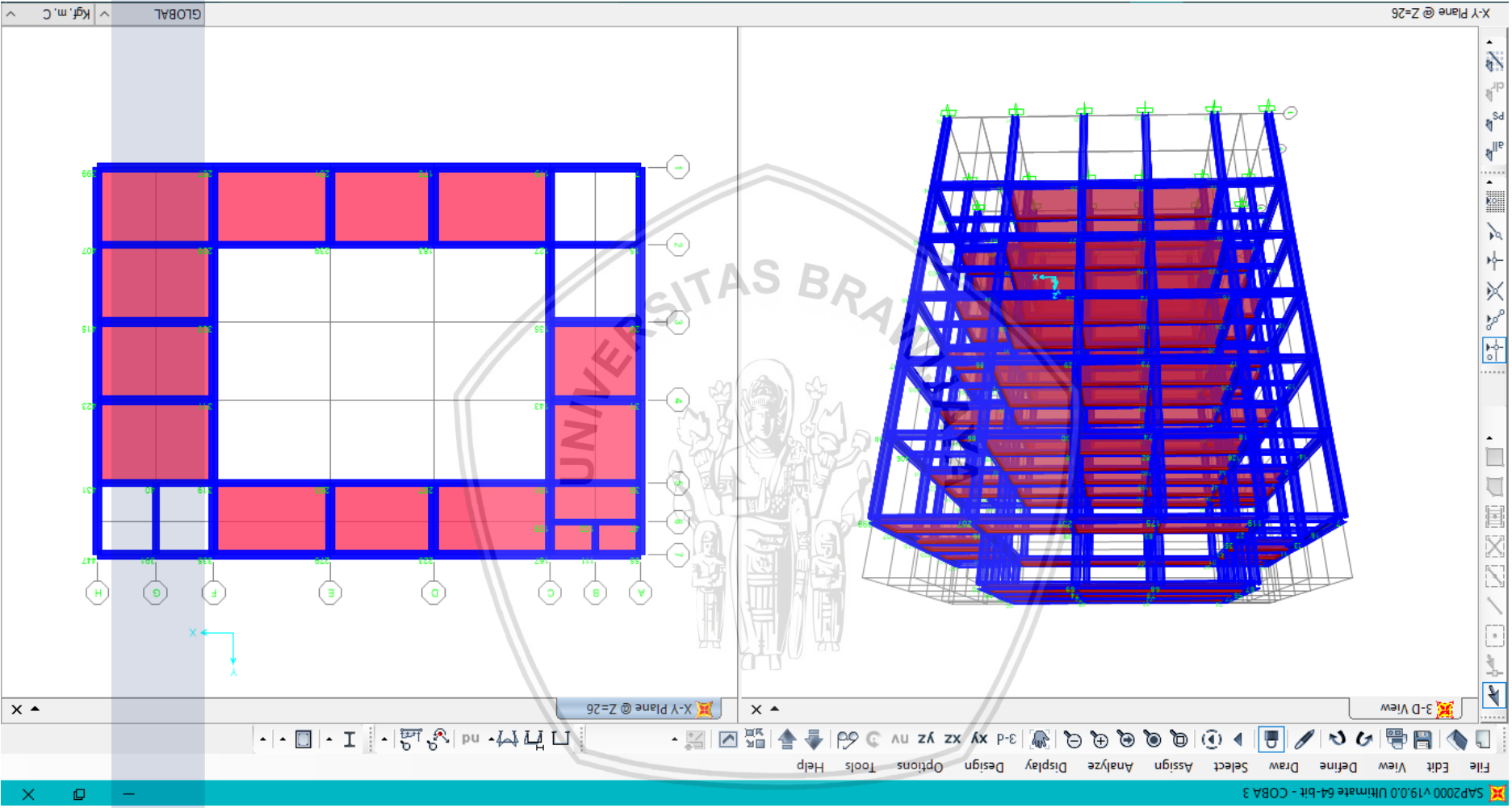
(Halaman dikosongkan)

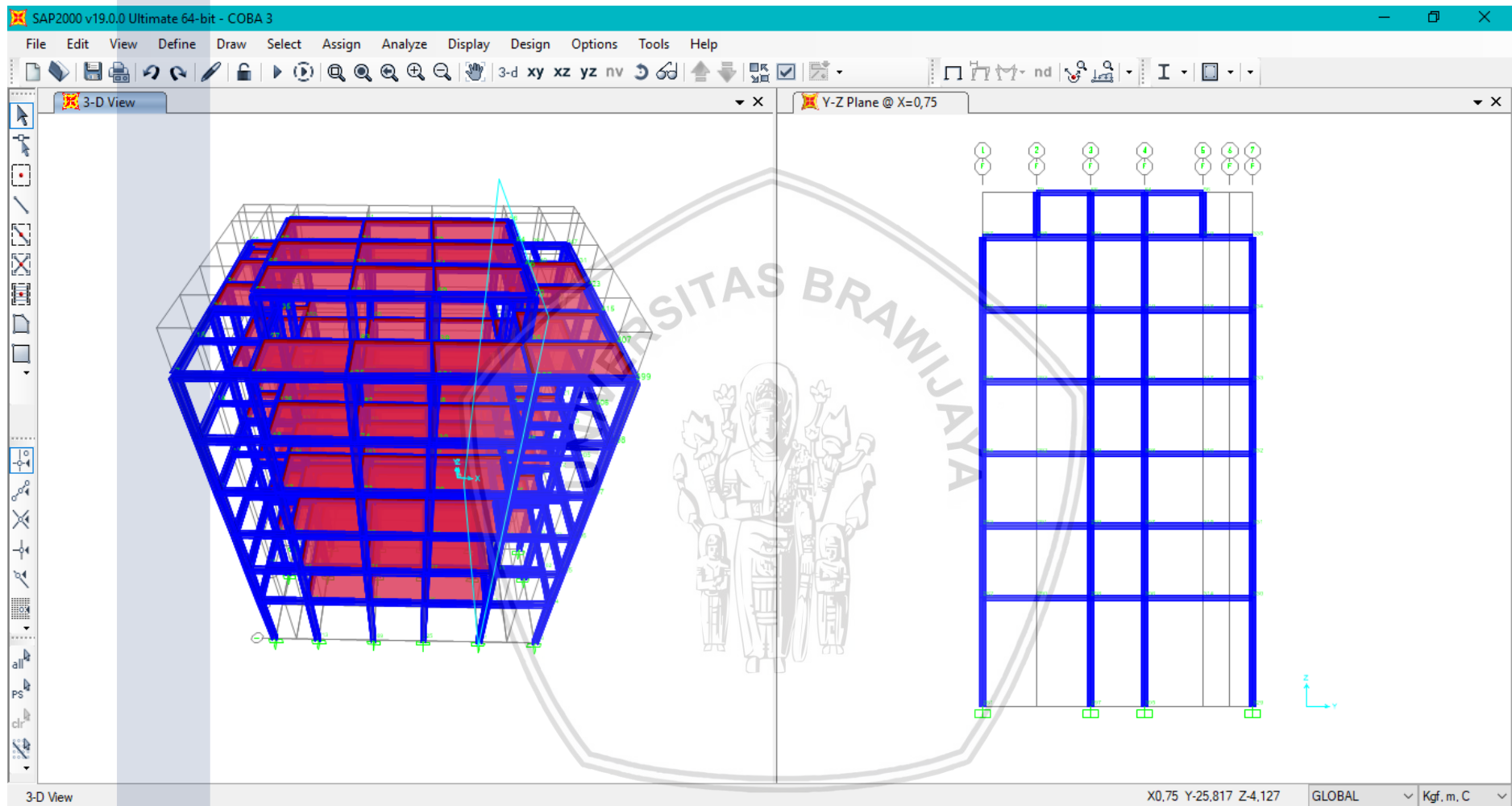


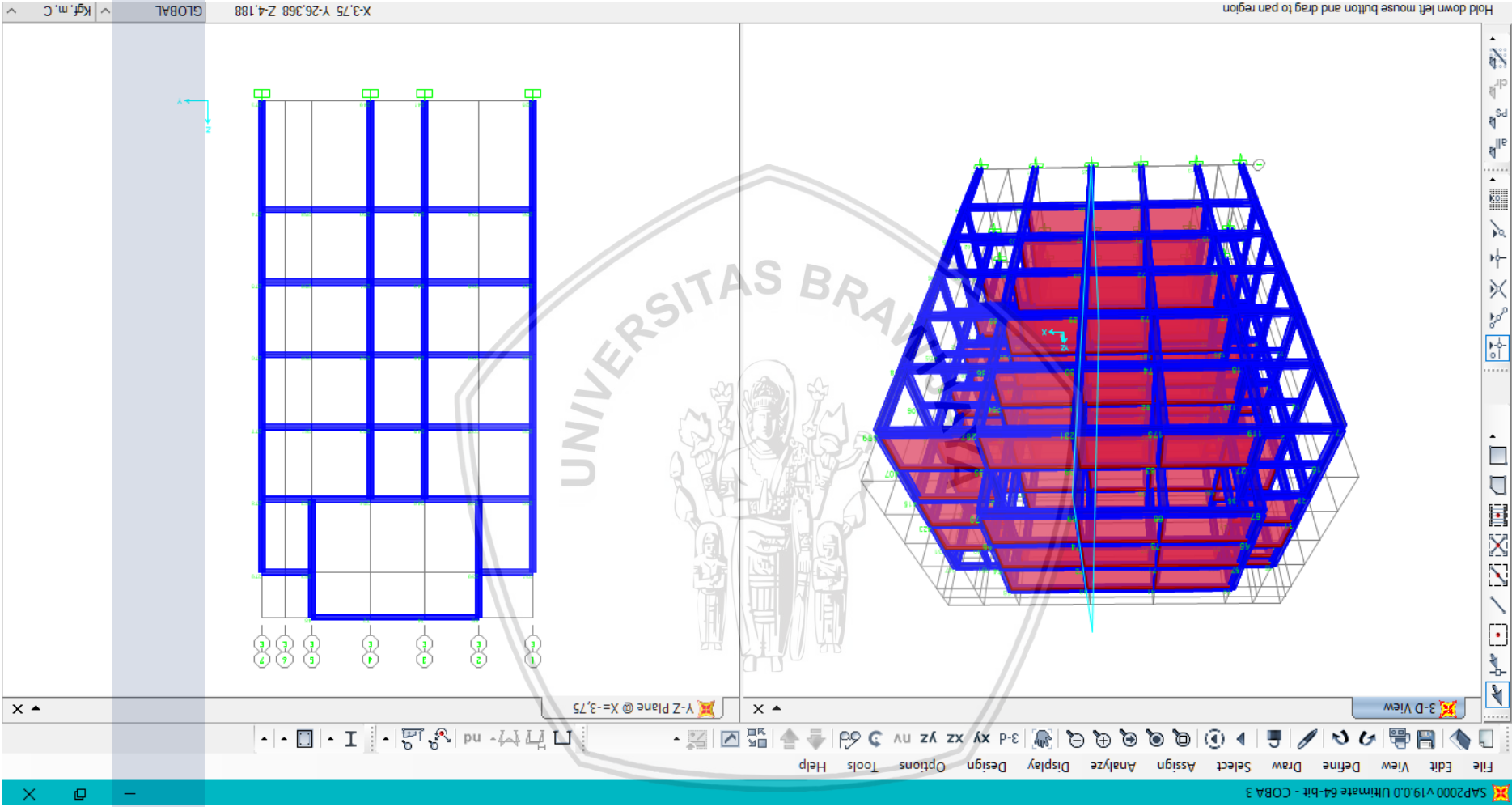
LAMPIRAN 2 PEMODELAN SAP2000 v19

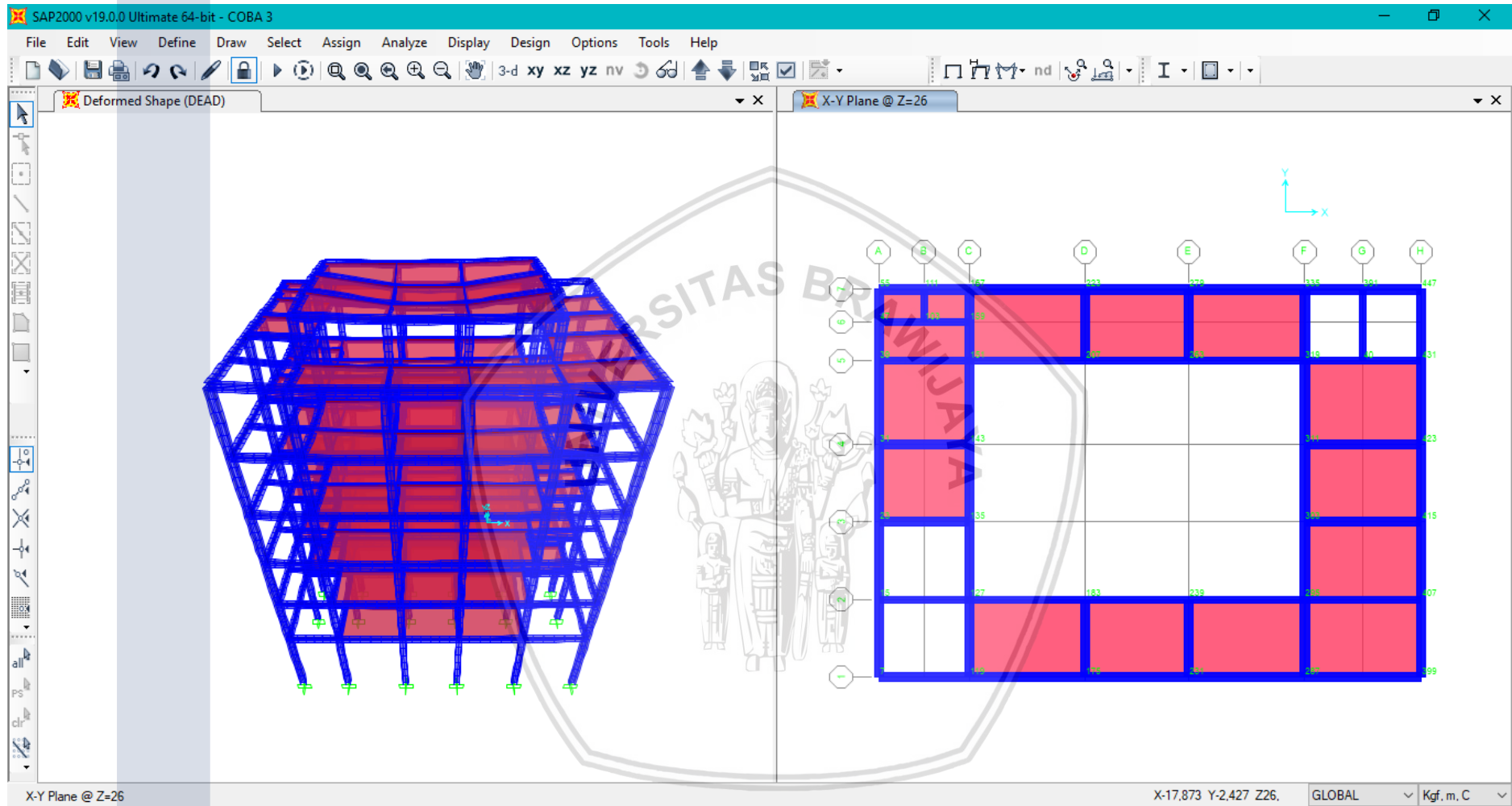


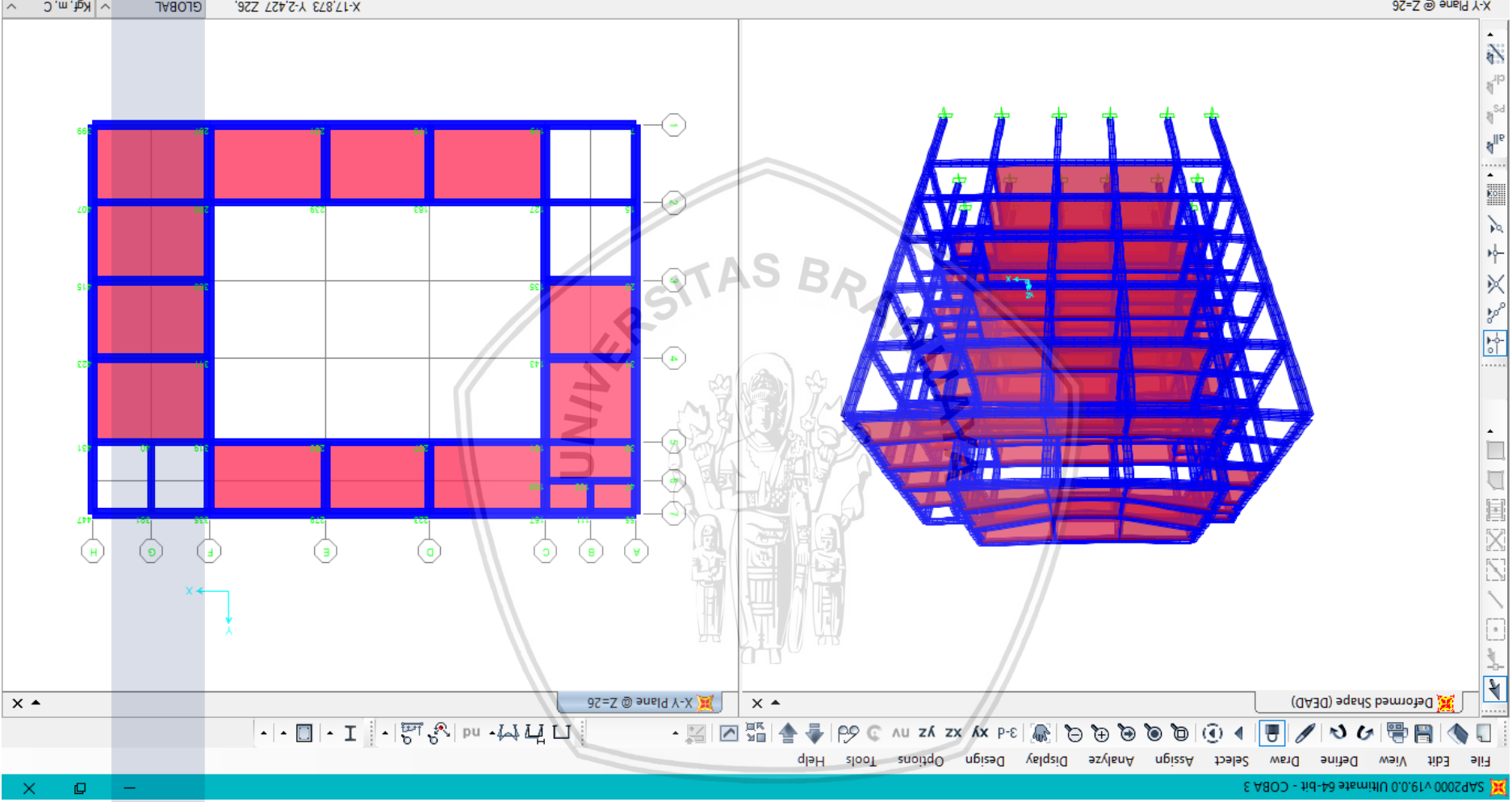














LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN SAP2000 v19

Hasil *output* M,D,N pada balok 1 dengan profil 14' WF 14x14-1/2

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
276	3	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	339,67	-606,34	-64,19	-2,81	-41,18	350,28	276-1	3
276	3,5	1,2D + 1Ey + L + 0,2R	Combination	Min	339,67	-526,06	-64,19	-2,81	-65,08	452,09	276-1	3,5
276	0	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-928,9	-7,78	-2,73	-18,74	-1482,96	276-1	0
276	0,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-848,62	-7,78	-2,73	-14,85	-1038,58	276-1	0,5
276	1	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-768,34	-7,78	-2,73	-10,96	-634,34	276-1	1
276	1,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-688,07	-7,78	-2,73	-7,07	-270,24	276-1	1,5
276	2	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-607,79	-7,78	-2,73	-3,18	53,72	276-1	2
276	2,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-527,51	-7,78	-2,73	0,7	337,55	276-1	2,5
276	3	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-447,23	-7,78	-2,73	4,59	581,23	276-1	3
276	3,5	1,2D + L + 0,5R	Combination		407,36	-366,96	-7,78	-2,73	8,48	784,78	276-1	3,5
276	0	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20089,71	511,23	-0,65	953,55	37762,09	276-1	0
276	0,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20149,92	511,23	-0,65	698,45	27702,18	276-1	0,5
276	1	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20210,13	511,23	-0,65	443,95	17612,17	276-1	1
276	1,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20270,34	511,23	-0,65	192,38	7492,05	276-1	1,5
276	2	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20330,55	511,23	-0,65	84,11	2702,41	276-1	2
276	2,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20390,75	511,23	-0,65	331,09	13208,58	276-1	2,5
276	3	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20450,96	511,23	-0,65	589,81	23684,66	276-1	3
276	3,5	0,9D + 1Ex	Combination	Max	3506,31	20511,17	511,23	-0,65	849,65	34130,64	276-1	3,5
276	0	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-2995,09	-21283,31	-521,11	-2,7	-977,29	-39623,4	276-1	0
276	0,5	0,9D + 1Ex	Combination	Min	-2995,09	-21223,1	-521,11	-2,7	-717,25	-28996,79	276-1	0,5

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
71	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		664	451,8	-6,12	2,05	4,45	1007,22	71-1	2,5
71	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		664	1252,08	-6,12	2,05	7,51	581,25	71-1	3
71	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		664	2052,36	-6,12	2,05	10,57	-244,86	71-1	3,5
71	0	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	17316,52	273,44	2,54	483,66	36176,44	71-1	0
71	0,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	18116,79	273,44	2,54	347,35	27318,11	71-1	0,5
71	1	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	18917,07	273,44	2,54	211,57	18059,65	71-1	1
71	1,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	19717,35	273,44	2,54	79,14	8401,06	71-1	1,5
71	2	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	20517,63	273,44	2,54	74,54	3723,9	71-1	2
71	2,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	21317,9	273,44	2,54	212,42	14131,06	71-1	2,5
71	3	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	22118,18	273,44	2,54	354,25	24138,13	71-1	3
71	3,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	4055,57	22918,46	273,44	2,54	496,66	33745,07	71-1	3,5
71	0	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-24415,68	-285,68	1,55	-505,34	-41906,44	71-1	0
71	0,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-23615,41	-285,68	1,55	-362,91	-29898,67	71-1	0,5
71	1	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-22815,13	-285,68	1,55	-221,02	-18291,04	71-1	1
71	1,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-22014,85	-285,68	1,55	-82,47	-7083,56	71-1	1,5
71	2	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-21214,57	-285,68	1,55	-71,75	-1657,79	71-1	2
71	2,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-20414,3	-285,68	1,55	-203,51	-12116,61	71-1	2,5
71	3	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-19614,02	-285,68	1,55	-339,22	-22975,62	71-1	3
71	3,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	-2727,57	-18813,74	-285,68	1,55	-475,52	-34234,78	71-1	3,5
71	0	1,2D + 1Ey + L +0,2R	Combination	Max	694,56	-3503,85	99,63	2,11	193,78	-2779,18	71-1	0

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
572	0	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	-3952,07	7,52	1,6	14,24	-3243,58	572-1	0
572	0,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	-3151,79	7,52	1,6	10,48	-1467,62	572-1	0,5
572	1	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	-2351,52	7,52	1,6	6,72	-91,79	572-1	1
572	1,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	-1551,24	7,52	1,6	2,96	883,9	572-1	1,5
572	2	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	-750,96	7,52	1,6	-0,79	1459,45	572-1	2
572	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	49,32	7,52	1,6	-4,55	1634,86	572-1	2,5
572	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	849,59	7,52	1,6	-8,31	1410,13	572-1	3
572	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	1649,87	7,52	1,6	-12,07	785,27	572-1	3,5
572	4	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	2450,15	7,52	1,6	-15,82	-239,74	572-1	4
572	4,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		2086,67	3250,42	7,52	1,6	-19,58	-1664,88	572-1	4,5
572	0	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	1139,6	509,41	1,94	1128,99	7391,95	572-1	0
572	0,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	1939,88	509,41	1,94	874,59	6622,19	572-1	0,5
572	1	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	2740,15	509,41	1,94	620,43	5452,4	572-1	1
572	1,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	3540,43	509,41	1,94	367,04	3882,82	572-1	1,5
572	2	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	4340,71	509,41	1,94	119,25	1919,5	572-1	2
572	2,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	5140,99	509,41	1,94	144,49	3730,64	572-1	2,5
572	3	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	5941,26	509,41	1,94	386,62	6050,77	572-1	3
572	3,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	6741,54	509,41	1,94	632,66	7971,45	572-1	3,5
572	4	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	7541,82	509,41	1,94	879,34	9492,15	572-1	4
572	4,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	7138,23	8342,1	509,41	1,94	1126,24	10612,76	572-1	4,5

Hasil *output* M,D,N pada balok 2 dengan profil 14' WF 14x14-1/2

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
133	1,75	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-148,51	210,28	-202,27	-2,45	-122,89	2109,86	133-2	0
133	2,1875	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-148,51	710,59	-202,27	-2,45	-34,42	1908,42	133-2	0,4375
133	2,625	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-148,51	1210,9	-202,27	-2,45	-46,71	1488,1	133-2	0,875
133	3,0625	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-148,51	1711,21	-202,27	-2,45	-122,11	848,88	133-2	1,3125
133	3,5	0,9D + 1Ey	Combination	Min	-148,51	2211,53	-202,27	-2,45	-197,53	-9,37	133-2	1,75
136	0	1,4 D	Combination		36,52	-3979,99	-16,43	5,6	-19,65	-30,9	136-1	0
136	0,4375	1,4 D	Combination		36,52	-3201,73	-16,43	5,6	-12,46	1540,1	136-1	0,4375
136	0,875	1,4 D	Combination		36,52	-2423,46	-16,43	5,6	-5,27	2770,61	136-1	0,875
136	1,3125	1,4 D	Combination		36,52	-1645,2	-16,43	5,6	1,92	3660,63	136-1	1,3125
136	1,75	1,4 D	Combination		36,52	-866,94	-16,43	5,6	9,11	4210,16	136-1	1,75
136	1,75	1,4 D	Combination		0,87	861,47	-23,26	-3,61	-14,05	4209,25	136-2	0
136	2,1875	1,4 D	Combination		0,87	1639,73	-23,26	-3,61	-3,87	3662,11	136-2	0,4375
136	2,625	1,4 D	Combination		0,87	2417,99	-23,26	-3,61	6,3	2774,48	136-2	0,875
136	3,0625	1,4 D	Combination		0,87	3196,26	-23,26	-3,61	16,48	1546,37	136-2	1,3125
136	3,5	1,4 D	Combination		0,87	3974,52	-23,26	-3,61	26,65	-22,24	136-2	1,75
136	0	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		43,15	-3632,01	-19,37	5,47	-23,17	-29,82	136-1	0
136	0,4375	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		43,15	-2964,92	-19,37	5,47	-14,7	1413,26	136-1	0,4375
136	0,875	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		43,15	-2297,84	-19,37	5,47	-6,22	2564,49	136-1	0,875
136	1,3125	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		43,15	-1630,76	-19,37	5,47	2,25	3423,87	136-1	1,3125
136	1,75	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		43,15	-963,67	-19,37	5,47	10,73	3991,4	136-1	1,75

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
475	4,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	3803,65	-21,42	0,38	66,37	-3266,37	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	-2004,25	388,56	0,47	923,5	981,12	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	-1241,87	388,56	0,47	729,25	1792,66	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	-479,49	388,56	0,47	535,03	2223,01	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	282,89	388,56	0,47	340,89	2272,18	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	1045,27	388,56	0,47	147,17	1940,2	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	1807,65	388,56	0,47	96,84	1356,75	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	2570,03	388,56	0,47	311,27	1315,15	475-1	3
475	3,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	3332,41	388,56	0,47	526,77	893,01	475-1	3,5
475	4	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	4094,79	388,56	0,47	742,39	89,72	475-1	4
475	4,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Max	6072,57	4857,17	388,56	0,47	958,05	-1094,76	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-4111,29	-431,4	0,29	-983,5	-4157,4	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-3348,91	-431,4	0,29	-767,84	-2292,36	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-2586,53	-431,4	0,29	-552,2	-808,51	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-1824,15	-431,4	0,29	-336,64	294,14	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-1061,77	-431,4	0,29	-121,51	1015,56	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	-299,39	-431,4	0,29	-49,77	1226,07	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	462,99	-431,4	0,29	-242,78	132,35	475-1	3
475	3,5	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	1225,37	-431,4	0,29	-436,87	-1343,22	475-1	3,5
475	4	1,2D + 1Ex + L +0,2R	Combination	Min	492,54	1987,75	-431,4	0,29	-631,07	-3200	475-1	4

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	3,5	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		3598,79	2348,51	-26,67	0,39	54,2	-306,01	475-1	3,5
475	4	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		3598,79	3110,89	-26,67	0,39	67,54	-1670,86	475-1	4
475	4,5	1,2 D + 1,6L + 0,5R	Combination		3598,79	3873,27	-26,67	0,39	80,87	-3416,9	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	-3057,77	-21,42	0,38	-30	-1588,14	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	-2295,39	-21,42	0,38	-19,29	-249,85	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	-1533,01	-21,42	0,38	-8,59	707,25	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	-770,63	-21,42	0,38	2,12	1283,16	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	-8,25	-21,42	0,38	12,83	1477,88	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	754,13	-21,42	0,38	23,54	1291,41	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	1516,51	-21,42	0,38	34,25	723,75	475-1	3
475	3,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	2278,89	-21,42	0,38	44,95	-225,1	475-1	3,5
475	4	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	3041,27	-21,42	0,38	55,66	-1555,14	475-1	4
475	4,5	1,2D + 1,6R + L	Combination		3282,55	3803,65	-21,42	0,38	66,37	-3266,37	475-1	4,5
475	0	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	-2004,25	388,56	0,47	923,5	981,12	475-1	0
475	0,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	-1241,87	388,56	0,47	729,25	1792,66	475-1	0,5
475	1	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	-479,49	388,56	0,47	535,03	2223,01	475-1	1
475	1,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	282,89	388,56	0,47	340,89	2272,18	475-1	1,5
475	2	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	1045,27	388,56	0,47	147,17	1940,2	475-1	2
475	2,5	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	1807,65	388,56	0,47	96,84	1356,75	475-1	2,5
475	3	1,2D + 1Ex + L + 0,2R	Combination	Max	6072,57	2570,03	388,56	0,47	311,27	1315,15	475-1	3

Lendutan Maksimum

TABLE: Joint Displacements									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
69	0,9D+1Ex	Combination	Min	-0,097036	-0,004599	-0,005903	-0,000237	-0,000461	-0,002336
69	0,9D+1Ey	Combination	Max	0,000926	0,043715	-0,005367	0,00037	-0,000053	0,000152
69	0,9D+1Ey	Combination	Min	-0,000056	-0,044433	-0,005762	-0,000539	-0,00011	-0,000107
70	1,4 D	Combination		0,000641	-0,000458	-0,007017	0,000737	-0,000113	0,000051
70	1,2 D+1,6L+0,5R	Combination		0,000522	-0,000403	-0,006809	0,00063	-0,000192	0,000064
70	1,2D+1,6R+L	Combination		0,000532	-0,000399	-0,006511	0,000631	-0,000156	0,000056
70	1,2D+1Ex+L+0,2R	Combination	Max	0,097996	0,014319	-0,00594	0,00079	0,000426	0,002301
70	1,2D+1Ex+L+0,2R	Combination	Min	-0,096932	-0,015117	-0,007082	0,000471	-0,000739	-0,002188
70	1,2D+1Ey+L+0,2R	Combination	Max	0,00102	0,043066	-0,006206	0,000745	-0,000116	0,000169
70	1,2D+1Ey+L+0,2R	Combination	Min	0,000044	-0,043865	-0,006816	0,000517	-0,000196	-0,000056
70	1,2D+L+0,5R	Combination		0,000529	-0,000401	-0,00661	0,000631	-0,000168	0,000059
70	0,9D+1Ex	Combination	Max	0,097875	0,014423	-0,003939	0,000633	0,00051	0,002277
70	0,9D+1Ex	Combination	Min	-0,097052	-0,015012	-0,005082	0,000315	-0,000655	-0,002212
70	0,9D+1Ey	Combination	Max	0,0009	0,043171	-0,004206	0,000588	-0,000033	0,000145
70	0,9D+1Ey	Combination	Min	-0,000076	-0,04376	-0,004816	0,00036	-0,000112	-0,00008
71	1,4 D	Combination		0,000185	-0,000876	-0,014198	0,001382	0,001535	0,000044
71	1,2 D+1,6L+0,5R	Combination		0,000107	-0,001092	-0,017037	0,001648	0,001916	0,000022
71	1,2D+1,6R+L	Combination		0,000126	-0,000964	-0,015212	0,001474	0,001691	0,000028
71	1,2D+1Ex+L+0,2R	Combination	Max	0,099313	0,004469	-0,013859	0,001845	0,002165	0,002345
71	1,2D+1Ex+L+0,2R	Combination	Min	-0,09906	-0,006398	-0,016565	0,001104	0,001217	-0,002288
71	1,2D+1Ey+L+0,2R	Combination	Max	0,000331	0,042682	-0,014913	0,001666	0,001773	0,000027



(Halaman dikosongkan)