

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN
GEMPA MENGGUNAKAN SISTEM GANDA PADA GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

**LEONARDUS SETIA BUDI WIBOWO
NIM : 0210613033**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
MALANG**

2007

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN
GEMPA MENGGUNAKAN SISTEM GANDA PADA GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun oleh :

**LEONARDUS SETIA BUDI WIBOWO
NIM : 0210613033**

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Wisnumurti, MT
NIP. 131 879 046

Ir. Hendro Suseno, DEA
NIP. 131 470 475

**STUDI PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN TAHAN
GEMPA MENGGUNAKAN SISTEM GANDA PADA GEDUNG
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

Disusun oleh :

**LEONARDUS SETIA BUDI WIBOWO
NIM : 0210613033**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 8 Oktober 2007

DOSEN PENGUJI :

**Ari Wibowo, ST., MT
NIP. 132 283 204**

**Ir. Wisnumurti, MT
NIP. 131 879 046**

**Ir. Hendro Suseno, DEA
NIP. 131 470 475**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Ir. As'ad Munawir, MT
NIP. 131 574 850**

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan YME yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan tiada henti – hentinya memberi rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya yang berjudul “Studi Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Menggunakan Sistem Ganda Pada Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang”. Skripsi ini disusun untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Terselesaikan skripsi ini tidak lepas dari dorongan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, saya ucapkan terima yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bpk. Ir. As’ad Munawir, MT selaku Ketua Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
2. Bpk. Hendi Bowoputro, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang
3. Bpk. Ir. Wisnumurti, MT selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membagikan banyak ilmunya.
4. Bpk. Ir. Hendro Suseno, DEA selaku dosen pembimbing skripsi yang sangat membantu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bpk. Ari Wibowo, ST, MT selaku dosen penguji.
6. Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak hal.
7. Orang tua yang telah banyak membantu dalam material.
8. Teman – teman yang telah banyak membantu dan memberi semangat.

Saya sebagai penyusunan menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran yang bermanfaat dari pembaca sangat kami harapkan demi kesempurnaan.

Malang, Agustus 2007

Penulis

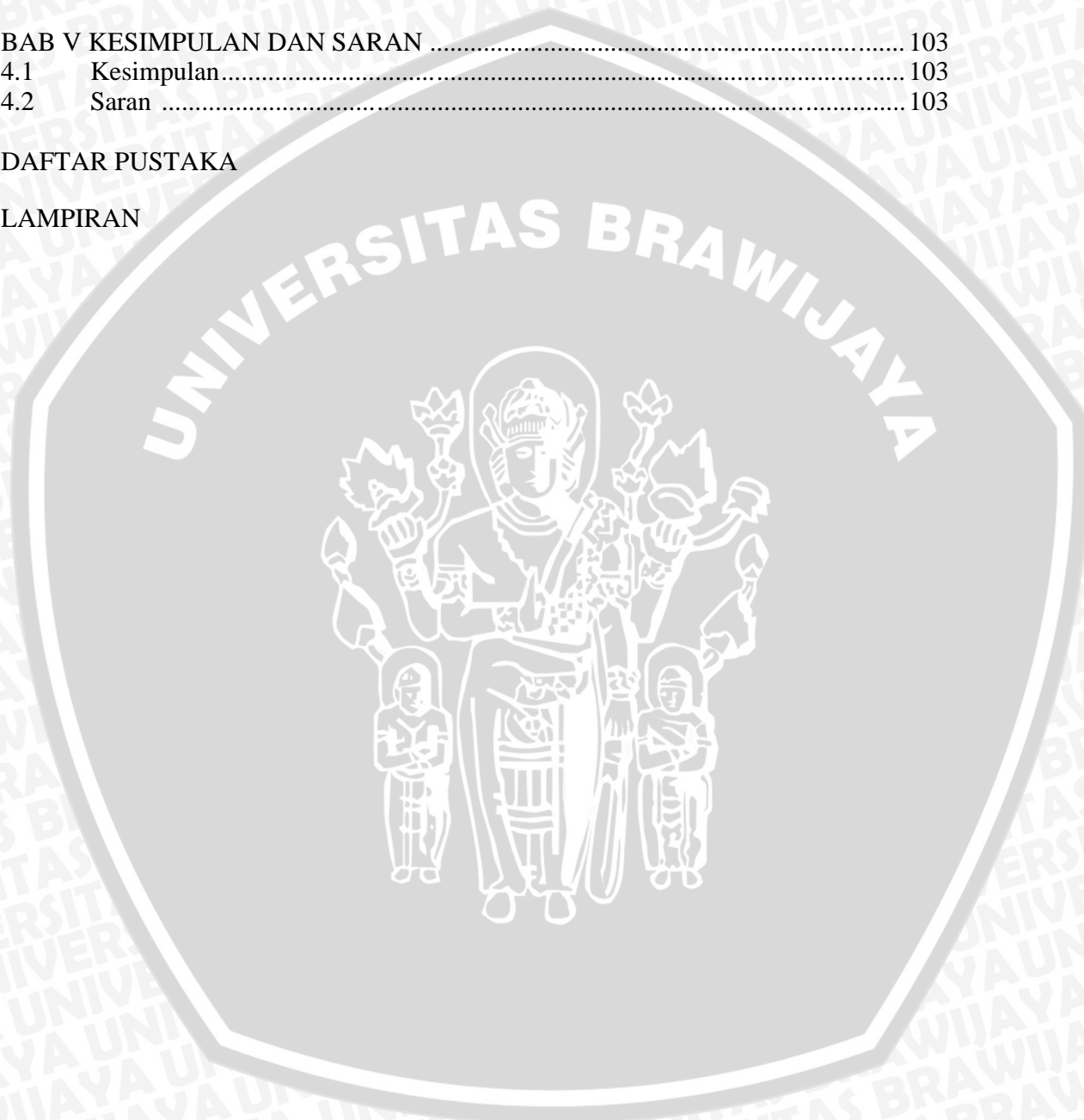
DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii-iii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi-vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAKSI	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bangunan Tahan Gempa	5
2.2 Metode Analisis dan Desain	10
2.3 Konsep Perencanaan	26
2.4 Kinerja Struktur Gedung	27
2.5 Kriteria Perencanaan	30
2.6 Persyaratan Pendetailan	30
2.7 Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya	35
2.8 Kesimpulan	36
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN	37
3.1 Data Perencanaan	37
3.2 Tahapan Perencanaan	38
3.3 Hasil Perencanaan	39
3.4 Diagram Alir Perencanaan	40
BAB IV HASIL PERHITUNGAN	41
4.1 Data Struktur	41
4.2 Perencanaan Dimensi	42
4.3 Perhitungan Pembebanan	44
4.4 Perhitungan Massa dan Pusat Massa Bangunan	45

4.5	Perhitungan Kekakuan Struktur.....	46
4.6	Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit	46
4.7	Desain Penulangan Struktur	47
4.8	Perbandingan Penulangan Hasil Perhitungan dengan Kondisi di Lapangan.....	82
4.9	Pembahasan	101
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		103
4.1	Kesimpulan.....	103
4.2	Saran	103

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

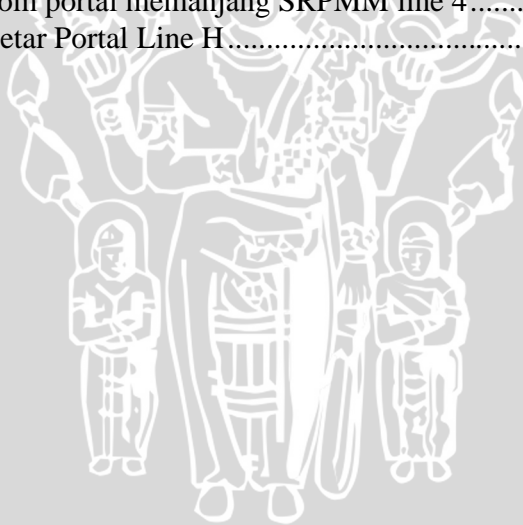
Tabel 2.1.	Persyaratan Komponen Lentur SRPMM	33
Tabel 2.2.	Komponen Rangka Terkena Beban Lentur dan Aksial	34
Tabel 2.3.	Persyaratan Dinding Struktural Beton (DSB)	35
Tabel 4.1.	Massa Bangunan	45
Tabel 4.2.	Pusat Massa Bangunan	45
Tabel 4.3.	Kekakuan Struktur Arah Melintang Bangunan.....	46
Tabel 4.4.	Kekakuan Struktur Arah Memanjang Bangunan.....	46
Tabel 4.5.	Kinerja Batas Layan dan Batas Ultimit	47
Tabel 4.6.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 2	82
Tabel 4.7.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 3 & 4	83
Tabel 4.8.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 5, 6 & 7	84
Tabel 4.9.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 1, 2, & 3	85
Tabel 4.10.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 4, 5, & 6	86
Tabel 4.11.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Dinding Geser Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17)	87
Tabel 4.12.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 2.....	88
Tabel 4.13.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 3 & 4	89
Tabel 4.14.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 3 & 4 Lantai 5, 6, 7 & Atap	90
Tabel 4.15.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 1, 2, & 3	91
Tabel 4.16.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 4, 5, 6, & 7	92
Tabel 4.17.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 2.....	93
Tabel 4.18.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 3.....	94
Tabel 4.19.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 4.....	95
Tabel 4.20.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 5.....	96
Tabel 4.21.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 6 & 7.....	97
Tabel 4.22.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line H) Lantai 1 & 2	98
Tabel 4.23.	Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line H) Lantai 3 & 4.....	99

Tabel 4.24. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line H) Lantai 5 & 6 100



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Efek Tipe Struktur pada Respon Kantilever	6
Gambar 2.2. Sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Gempa Bumi	7
Gambar 2.3. Fleksibilitas dan kekakuan suatu batang dengan meninjau perubahan bentuk geser, lentur dan aksial.....	9
Gambar 2.4. Kekakuan batang.....	11
Gambar 2.5. Penampang Balok T	19
Gambar 2.6. Distribusi Tegangan pada Penampang Kolom	21
Gambar 2.7. Diagram Interaksi Kolom.....	24
Gambar 2.8. Pemodelan Beban Gempa Analisis Respons Dinamis	25
Gambar 2.9. Respons Spektrum Gempa Rencana	26
Gambar 2.10. GUI dari STAAD	27
Gambar 4.1. Penampang Balok T portal melintang sistem ganda line C-H.....	48
Gambar 4.2. Penampang Kolom portal melintang sistem ganda line U.....	54
Gambar 4.3. Contoh Mode Getar Portal Line 17	60
Gambar 4.4. Penampang Balok T portal melintang SRPMM line U-R.....	61
Gambar 4.5. Penampang Kolom portal melintang SRPMM line U	67
Gambar 4.6. Contoh Mode Getar Portal Line 13.....	70
Gambar 4.7. Penampang Balok T portal memanjang SRPMM line 6-11	71
Gambar 4.8. Penampang Kolom portal memanjang SRPMM line 4.....	77
Gambar 4.9. Contoh Mode Getar Portal Line H.....	80



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Luas Pelat (akibat beban hidup dan beban mati)	103
Lampiran 2.	Perhitungan Massa Bangunan.....	104
Lampiran 3.	Perhitungan Pusat Massa Bangunan	108
Lampiran 4.	Perhitungan Kekakuan Struktur	138
Lampiran 5.	Tabel Pendimensionian Awal	140
Lampiran 6.	Tabel Pendimensionian Akhir.....	148
Lampiran 7.	Gambar Tampak Depan, Tampak Belakang, Tampak Samping, Rangka Atap	
Lampiran 8.	Gambar Denah Bangunan	
Lampiran 9.	Gambar Denah Pembebanan Pelat	
Lampiran 10.	Gambar Rencana Balok, Kolom dan Dinding Geser	
Lampiran 11.	Gambar Penulangan Balok, Kolom dan Dinding Geser Line 17	
Lampiran 12.	Gambar Penulangan Balok dan Kolom Line 13	
Lampiran 13.	Gambar Penulangan Balok dan Kolom Line H	
Lampiran 14.	Hasil Analisis STAAD Pro 2004	



ABSTRAKSI

LEONARDUS SETIA BUDI WIBOWO, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2007, *Studi Perencanaan Struktur Bangunan Tahan Gempa Menggunakan Sistem Ganda Pada Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang*. Dosen pembimbing : Ir. Wisnumurti, MT. dan Ir. Hendro Suseno, DEA.

Salah satu unsur struktur yang dapat memikul beban lateral akibat gempa adalah dengan menggunakan gabungan antara struktur dinding geser dengan struktur rangka (portal terbuka) dengan nama lain sistem ganda. Dengan sistem ini diharapkan sebagian besar beban lateral akibat gempa dipikul oleh struktur dinding geser, sehingga didapatkan dimensi kolom yang tidak terlalu besar.

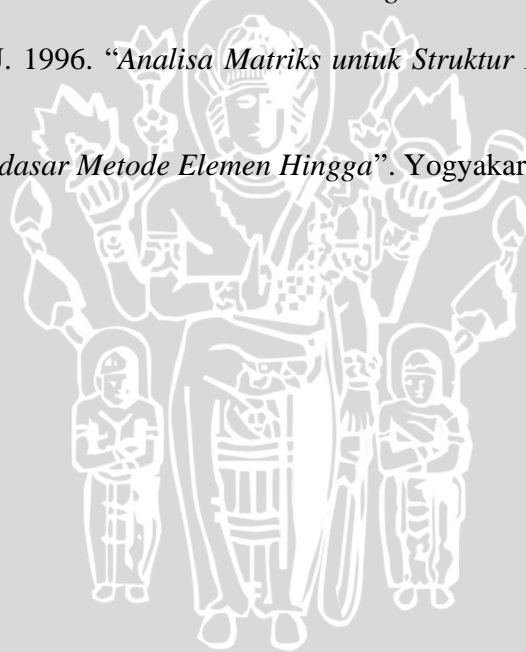
Studi perencanaan yang dirangkum dalam Tugas Akhir ini mempunyai maksud untuk mendapatkan stuktur bangunan yang kuat terhadap gempa sedang dan pada saat gempa kuat yang jarang terjadi dapat berperilaku secara daktail, namun masih ekonomis dalam segi biaya mengingat bentuk struktur yang tidak simetris dan termasuk bangunan tinggi. Adapun analisis terhadap beban gempa dinamis bertujuan untuk mendapatkan besarnya momen, gaya lintang dan gaya normal yang akan digunakan untuk perhitungan luas tulangan yang dibutuhkan serta dimensi elemen struktur. Penggabungan dua elemen struktur tersebut harus mampu menahan beban bersama-sama, terutama untuk menahan beban gempa yang dianalisis menggunakan analisis dinamis ragam spektrum respon. Sedangkan untuk beban gravitasi ditahan seluruhnya oleh SRPMM. Berdasarkan uraian diatas dengan menggunakan sistem ganda diharapkan mendapatkan dimensi yang lebih ekonomis.

Pada perhitungan awal, dimensi dan tulangan yang digunakan ternyata terlalu besar, sehingga didapatkan perbandingan μ dengan ϕM_n terlalu kecil. Oleh karena itu dicoba menggunakan dimensi dan tulangan yang lebih kecil, setelah dilakukan perhitungan ulang didapatkan hasil perbandingan μ dengan ϕM_n yang lebih besar. Portal yang dibandingkan hanya portal melintang line 13 dan 17, serta portal memanjang line H. Ternyata didapatkan perbandingan dimensi dan penulangan dari hasil perhitungan dengan kondisi di lapangan sangat berbeda, dari perhitungan didapatkan dimensi dan tulangan yang lebih kecil dari dimensi dan tulangan bangunan yang telah berdiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrinsyah Nasution. 2000. "*Analisa Struktur dengan Metoda Matrik*". Bandung : Penerbit ITB.
- Anonimous. 1983. "*Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*". Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonimous. 2002. "*Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-1726-2002*". Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonimous. 2002. "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia 03-2487-2002*". Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonimous. 2006. "*Dokumen Perencanaan Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya*". Malang.
- Astley, R J. 1992. "*Finite Elements in Solids and Structures, An Introduction*". London : Chapman and Hall.
- Chopra, A. K. 1995. "*Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering*". New Jersey : Prentice-Hall.
- Cook, Robert D. 1990. "*Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*". Bandung : PT Eresco.
- Desai, C. S. 1996. "*Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*". Jakarta : Erlangga.
- Ghali.A & Neville A M. 1978. "*Analisa Struktur Gabungan Metode Klasik dan Matriks*". London : Chapman and Hall.
- Gideon Kusuma. 1997. "*Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa*". Jakarta : Erlangga.
- Istimawan Dipohusodo. 1994. "*Struktur Beton Bertulang*". Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Iswandi Imran, Ir, MASc, Ph.D. 2000. "*Struktur Beton I*". Bandung : Penerbit ITB.
- Jimmy Juwana S, Ir, MSAE. 2005. "*Panduan Sistem Bangunan Tinggi*". Jakarta : Erlangga.
- M. Firdaus Alkaff. 2005. "*STAAD 2004 untuk Orang Awam*". Palembang : Maxikom.

- M. Firdaus Alkaff. 2006. "*STAAD 2004 untuk Tingkat Menengah*". Palembang : Maxikom.
- Mc Cormac, J. C. 2003. "*Desain Beton Bertulang Jilid 1*". Jakarta : Erlangga.
- Rachmat Purwono, Prof, Ir, Msc. 2005. "*Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*". Surabaya : ITSpress.
- Schueller, W. 1991. "*Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*". Bandung : Refika Aditama.
- Sudarmoko, Ir, MSc. 1995. "*Diagram Perancangan Kolom Beton Bertulang*". Yogyakarta : Unit Produksi Biro Penerbit UGM.
- Taranath, B. S. 1998. "*Steel, Concrete, and Composite Design of Tall Buildings*". USA : McGraw-Hill.
- Wang, C. K, & Salmon C. G. 1994. "*Disain Beton Bertulang*". Jakarta : Erlangga.
- Weaver, J. W, & Gere, M. J. 1996. "*Analisa Matriks untuk Struktur Rangka*". Jakarta : Erlangga.
- Yerri Susatio. 2004. "*Dasar-dasar Metode Elemen Hingga*". Yogyakarta : Penerbit Andi.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Di era pasar bebas, pergerakan orang semakin dinamis dan mobilitas semakin tinggi. Perkembangan di sektor kesehatan semakin cepat sehingga dibutuhkan tenaga ahli dalam bidang kedokteran yang semakin banyak pula. Belum lagi di daerah-daerah pelosok yang membutuhkan bantuan medis yang harus cepat terpenuhi. Maka untuk mengatasi masalah itu diperlukan lebih banyak lagi mahasiswa lulusan bidang kedokteran.

Gedung kedokteran yang lama terdiri hanya 2 lantai saja. Di dalamnya terdapat ruang dekan dan pembantu dekan, recording dan termasuk beberapa ruang kuliah saja. Pembangunan “Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya” ini direncanakan sebanyak 7 lantai. Lantai I terdiri dari beberapa ruangan, antara lain hall, musholla, UKM, kafe dan ruang operator. Untuk lantai II dan III, terdiri dari ruang PBL, ruang administrasi, ruang perlengkapan dan juga terdapat hall. Untuk lantai IV, terdiri dari lobby, ruang administrasi pengajaran, dan terdapat 8 buah ruangan kuliah. Lantai V digunakan untuk ruangan Dekan dan Pembantu Dekan serta ruangan Kajur. Pada lantai ini juga terdapat ruangan arsip, ruang administrasi fakultas dan ruang untuk rapat. Pada lantai VI lebih banyak digunakan untuk ruang pertemuan, yaitu terdapat gudang, ruang serba guna, ruang seminar dan ruang komite. Untuk lantai VII sendiri hanya digunakan untuk ruang mekanik yaitu ruang peralatan untuk lift.

Tujuan lain dari pembangunan ini adalah untuk menambah jumlah tempat duduk untuk menampung semakin banyaknya mahasiswa baru yang berminat untuk melanjutkan studinya di fakultas kedokteran Universitas Brawijaya. Selain itu, pembangunan ini adalah untuk menambah sarana dan prasarana penelitian dalam bidang kedokteran sehingga dapat membantu para mahasiswa maupun dosennya untuk melakukan penelitian.

Dengan semakin sulitnya untuk mendapatkan lahan dan ditambah mahalannya harga tanah maka salah satu cara untuk perluasan gedung adalah secara vertikal, artinya gedung dibuat menjadi bertingkat atau biasa disebut bangunan tinggi (struktur tinggi). Pada perencanaan struktur bangunan tinggi, masalah yang timbul adalah kemampuan



dari struktur tersebut sebagai suatu kesatuan sistem (*building system*) untuk menahan beban gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah yang mempunyai resiko terjadinya gempa yang tinggi. Kota Malang termasuk salah satu daerah rawan gempa, hal itu dikarenakan kota Malang dikelilingi oleh gunung berapi yang masih aktif dan sewaktu-waktu bisa menimbulkan gempa. Oleh karena itu selayaknya harus ditinjau beban akibat gempa

Selama gempa berlangsung, struktur akan mengalami gerakan vertikal dan horisontal. Dari kedua macam gerakan ini, gerakan kearah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur. Oleh karena itu struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horisontal bagian atau titik terlemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan menyebabkan keruntuhan. Atas alasan ini, prinsip utama dalam perancangan struktur tahan gempa adalah meningkatkan kekuatan terhadap gaya lateral atau gaya ke samping.

Salah satu unsur struktur yang dapat memikul beban lateral akibat gempa adalah dengan menggunakan gabungan antara struktur dinding geser dengan struktur rangka (portal terbuka) dengan nama lain sistem ganda. Dengan sistem ini diharapkan sebagian besar beban lateral akibat gempa dipikul oleh struktur dinding geser, sehingga didapatkan dimensi kolom yang tidak terlalu besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini, yaitu sebagai berikut :

- Bagaimana hasil desain struktur gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang dengan menggunakan sistem ganda?
- Bagaimana perbedaan hasil desain struktur gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang antara yang sudah direncanakan dengan yang akan direncanakan?

1.3 Batasan Masalah

Analisis portal rangka terbuka dengan dinding geser akan meliputi banyak kasus yang tidak mungkin tertampung seluruhnya dalam Tugas Akhir ini, maka penyusun membatasi lingkup pembahasan pada perencanaan penulangan balok, kolom, pertemuan balok kolom, dan dinding geser.

Batasan lain yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Model bangunan adalah struktur rangka beton bertulang dengan struktur dinding bertingkat tujuh pada gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya.
2. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Ganda dengan Dinding Geser Beton Bertulang dan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah Beton Bertulang.
3. Analisis hanya dilakukan pada dua portal melintang dan satu portal memanjang.
4. Beban lateral yang ditinjau adalah beban akibat gempa yang dianalisis secara dinamis.
5. Analisis gempa yang digunakan adalah Analisis Ragam Spektrum Respons yang diselesaikan dengan bantuan program STAAD Pro 2004.
6. Program analisis struktur yang digunakan untuk mengetahui gaya-gaya dalam yang terjadi akibat beban gravitasi adalah STAAD Pro 2004.
7. Perilaku yang ditinjau hanya struktur bagian atas saja, sehingga perencanaan pondasi tidak dilakukan. Seluruh kaki portal dan dinding diasumsikan terjepit pada pondasi.
8. Portal didesain sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002.
9. Desain struktur dianalisis dengan tidak memperhatikan desain arsitektur.
10. Rangka atap tetap diperhitungkan, dan reaksi pada rangka atap dijadikan beban terpusat pada portal.
11. Penulangan akibat momen torsi tidak diperhitungkan.
12. Perhitungan penulangan pelat tidak dilakukan.
13. Distribusi momen tidak diperhitungkan.
14. Hubungan Balok Kolom tidak diperhitungkan.

1.4 Maksud dan Tujuan

Studi perencanaan yang dirangkum dalam Tugas Akhir ini mempunyai maksud untuk mendapatkan stuktur bangunan yang kuat terhadap gempa sedang dan pada saat gempa kuat yang jarang terjadi dapat berperilaku secara daktail, namun masih ekonomis dalam segi biaya mengingat bentuk struktur yang tidak simetris dan termasuk bangunan tinggi dengan menggunakan sistem ganda. Adapun analisis terhadap beban gempa bertujuan untuk mendapatkan besarnya momen, gaya lintang dan gaya normal yang akan digunakan untuk perhitungan luas tulangan yang dibutuhkan serta dimensi elemen struktur.

1.5 Manfaat

Hasil dari perhitungan ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman mengenai sistem ganda serta perencanaan struktur beton bertulang dan dinding geser yang mengalami beban gempa dinamis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bangunan Tahan Gempa

2.1.1 Deskripsi

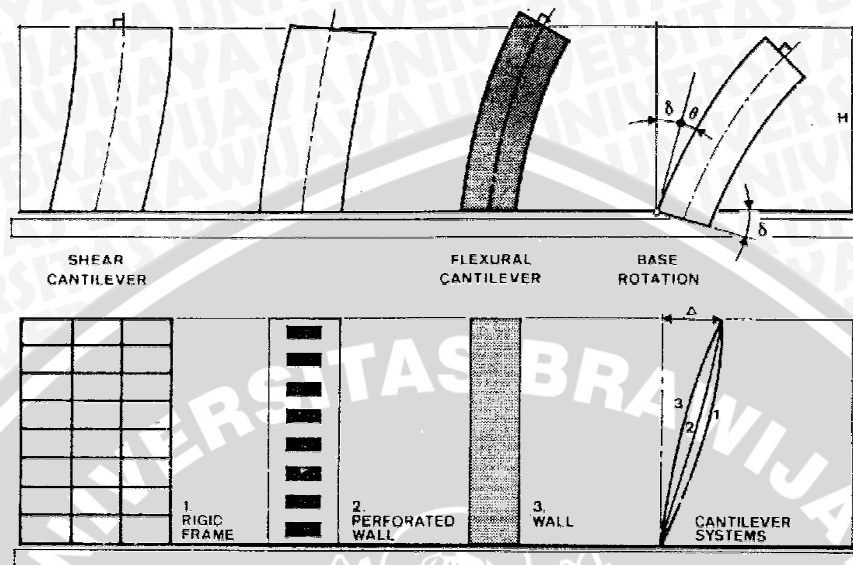
Suatu gedung dikatakan tinggi jika pada analisis struktur dan desain dipengaruhi oleh beban lateral yang akan menyebabkan goyangan pada bangunan tersebut. Goyangan adalah besarnya perpindahan lateral pada bagian atas bangunan terhadap dasarnya. Pada desain bangunan tinggi, sistem struktural harus mempertimbangkan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

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

Bangunan Tahan Gempa adalah bangunan yang strukturnya mampu menahan beban lateral akibat beban gempa. Tujuan dari struktur gedung yang ketahanan gempanya direncanakan dapat berfungsi sebagai berikut : (Anonymous, 2002)

- Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat,
- Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih bisa diperbaiki,

- Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang,
- Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi gedung.



Gambar 2.1 Efek Tipe Struktur pada Respon Kantilever
(Sumber : Schueller, 1991)

2.1.2 Jenis Bangunan Tahan Gempa

Pada dasarnya setiap struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi. Fungsi utama dari sistem struktur adalah untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan, serta menyalurkannya ke tanah melalui pondasi. Beban yang bekerja pada bangunan terdiri dari beban vertikal, horizontal, perbedaan temperatur, getaran, dan sebagainya. Dalam berbagai sistem struktur, baik yang menggunakan bahan beton bertulang, baja, maupun komposit, selalu ada komponen (subsistem) yang dapat dikelompokkan dalam sistem yang digunakan untuk menahan gaya gravitasi dan sistem untuk menahan gaya lateral. (Jimmy S. Juwana, 2005)

Struktur bangunan yang terletak di wilayah yang berisiko mengalami gempa harus didesain supaya memenuhi kriteria sebagai struktur tahan gempa. Dasar sistem struktur utama yang tercantum dalam Tabel 3 SNI 03-1726-2002 diilustrasikan di Gambar 2.2 (Rachmat Purwono, 2005)

Terdapat tujuh sistem dan subsistem struktur gedung penahan gempa yaitu sebagai berikut : (Anonimous, 2002)

1. Sistem Dinding Penumpu

Sistem dinding penumpu adalah sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

2. Sistem Rangka Gedung

Sistem rangka gedung adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul Momen adalah sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

4. Sistem Ganda

Sistem ganda memiliki dua sistem struktur utama yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen dan Dinding Geser atau bresing.

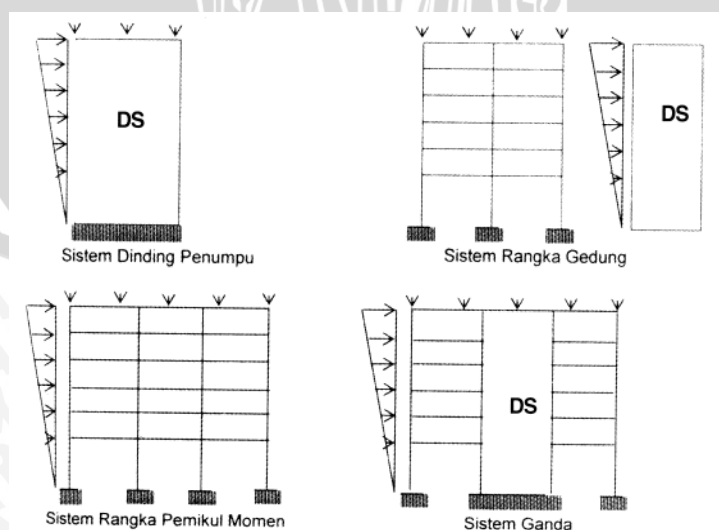
5. Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever

Sistem struktur gedung kolom kantilever adalah sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.

6. Sistem Interaksi Dinding Geser dengan Rangka

7. Subsistem Tunggal

Subsistem tunggal adalah subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan.



Gambar 2.2 Sistem Struktur Beton Bertulang Penahan Gempa Bumi
(Sumber : Rachmat Purwono, 2005)

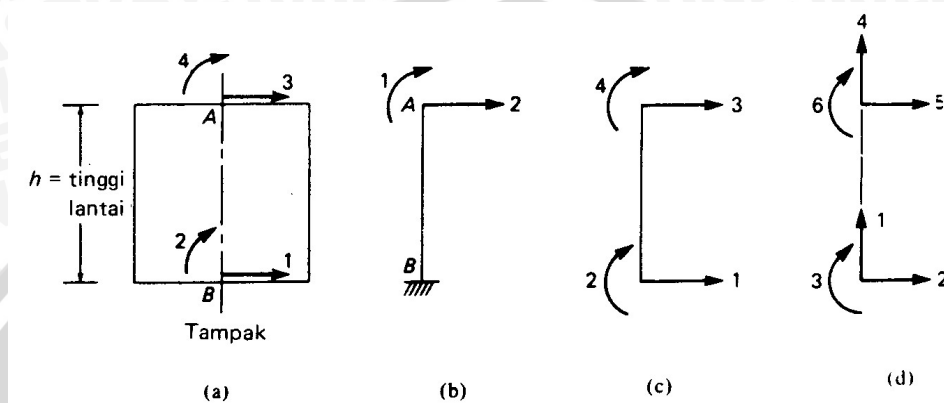
2.1.3 Bangunan Tahan Gempa Sistem Ganda

Sistem struktur ganda memiliki 3 ciri dasar yaitu pertama, rangka ruang lengkap berupa SRPM yang penting berfungsi memikul beban gravitasi. Kedua, pemikul beban lateral dilakukan oleh Dinding Struktural (DS) dan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) dimana SRPM tersebut harus secara tersendiri sanggup memikul sedikitnya 25% dari beban dasar geser nominal V . Ketiga, DS dan SRPM direncanakan untuk menahan V secara proporsional berdasarkan kekakuan relatifnya. Pada Wilayah Gempa 3 dan 4, SRPM harus didesain sebagai SRPMM dan DS tak perlu detail khusus. Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi atau sistem ganda. Pemasangan dinding geser (shear wall) tersebut bertujuan untuk menambah kekakuan dan kekuatan struktur terutama bangunan bertingkat yang harus mampu memikul beban horisontal. (Rachmat Purwono, 2005)

2.1.4 Dinding Geser

Untuk bangunan tinggi, diperlukan kekakuan yang cukup untuk menahan gaya-gaya lateral yang disebabkan oleh angin dan gempa. Jika bangunan tinggi tersebut tidak didesain secara benar terhadap gaya-gaya ini, dapat timbul tegangan yang sangat tinggi, serta getaran dan goyangan ke samping ketika gaya-gaya tersebut terjadi. Akibatnya tidak hanya menimbulkan kerusakan parah pada bangunan tersebut tetapi juga mengakibatkan ketidaknyamanan penghuni. Ketika dinding beton bertulang dengan kekakuan bidang datar yang sangat besar ditempatkan pada lokasi-lokasi tertentu yang cocok dan strategis, dinding tersebut dapat digunakan secara ekonomis untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan. Dinding-dinding seperti ini disebut dinding geser dan pada dasarnya merupakan balok kantilever vertikal yang tinggi dan memberikan stabilitas lateral kepada struktur dengan menahan geser dan momen tekuk pada bidang datar yang disebabkan gaya-gaya lateral. Dinding harus cukup kuat sehingga batas lendutan berada pada nilai yang masuk akal. Selanjutnya, dinding harus didesain sedemikian rupa sehingga tegangan tarik yang disebabkan gaya lateral tidak melebihi tegangan tekan yang disebabkan oleh berat bangunan di atasnya. Jika diperlukan konstruksi tahan gempa, harus diingat bahwa bagian struktur yang relative kaku akan menarik gaya yang jauh lebih besar daripada bagian yang fleksibel. Struktur dengan dinding geser beton bertulang akan cukup kaku sehingga dapat menyerap gaya gempa yang besar. (McCormac, 2002)

Dalam analisa berikut ini, dinding geser diperlakukan sebagai balok tinggi vertikal yang menyalurkan beban ke pondasi. Pengaruh perubahan bentuk geser pada dinding lebih penting dibanding balok biasa, karena perbandingan bentang tinggi dinding jauh lebih besar. Matriks kekakuan elemen dinding geser di antara dua lantai yang berdekatan sekarang akan diturunkan dengan menyertakan perubahan bentuk geser.



Gambar 2.3 Fleksibilitas dan kekakuan suatu batang dengan meninjau perubahan bentuk geser, lentur dan aksial. (a) Elemen dinding geser. (b), (c), dan (d) Koordinat yang selaras dengan matriks fleksibilitas atau kekakuan (Sumber : Ghali and Neville, 1986)

Matriks fleksibilitas yang selaras dengan dua koordinat di A adalah :

$$[f] = \begin{bmatrix} h/EI & \text{simetris} \\ h^2/2EI & (h^3/3EI + H/Ga_r) \end{bmatrix} \quad (2.1.a)$$

Suku h/Ga adalah lendutan geser di A akibat beban transversal satu – satuan di A, dengan notasi : G adalah modulus elastisitas geser, a_r adalah luas geser efektif dan h adalah tinggi lantai

Matriks kekakuan yang selaras dengan koordinat pada gambar b diperoleh dari invers matriks $[f]$. Jadi

$$[f]^{-1} = \frac{1}{(1+\alpha)} \begin{bmatrix} (4+\alpha)EI/h & \text{simetris} \\ -6EI/h^2 & 12EI/h^3 \end{bmatrix} \quad (2.1.b)$$

dengan

$$\alpha = \frac{12EI}{h^2 Ga_r} \quad (2.1.c)$$

Berdasarkan elemen matriks kekakuan dalam Persamaan 2.2 dan dengan meninjau keseimbangan, matriks kekakuan yang selaras dengan koordinat pada Gambar

c bisa ditentukan. Jadi matriks kekakuan untuk batang prismatis (gambar c) atau elemen dinding geser pada Gambar a, dengan memperhitungkan perubahan bentuk geser adalah

$$[S] = \frac{1}{(1+\alpha)} \begin{pmatrix} 12EI/h^3 & & & & & & \text{simetris} \\ 6EI/h^2 & (4+\alpha)EI/h & & & & & \\ -12EI/h^3 & -6EI/h^2 & & & 12EI/h^3 & & \\ 6EI/h^2 & (2+\alpha)EI/h & -6EI/h^2 & & (4+\alpha)EI/h & & \end{pmatrix} \quad (2.1.d)$$

Dalam beberapa hal perubahan bentuk aksial perlu diperhitungkan, sehingga matriks kekakuan harus menyertakan enam koordinat pada Gambar d. Matriks kekakuan yang selaras dengan koordinat ini dan memperhitungkan perubahan bentuk lentur, geser dan aksial adalah

$$[S] = \begin{pmatrix} Ea/h & & & & & & \text{simetris} \\ & \frac{12EI}{(1+\alpha)h^3} & & & & & \text{Elemen lainnya} \\ & \frac{6EI}{(1+\alpha)h^2} & \frac{(4+\alpha)EI}{(1+\alpha)h} & & & & \text{nol} \\ -Ea/h & & & Ea/h & & & \\ & \frac{12EI}{(1+\alpha)h^3} & \frac{6EI}{(1+\alpha)h^2} & & \frac{12EI}{(1+\alpha)h^3} & & \\ & \frac{6EI}{(1+\alpha)h^2} & \frac{(2+\alpha)EI}{(1+\alpha)h} & & \frac{6EI}{(1+\alpha)h^2} & \frac{(4+\alpha)EI}{(1+\alpha)h} & \end{pmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} \quad (2.1.e)$$

Struktur ideal dianggap mempunyai n derajat kebebasan yang menyatakan pergoyangan lantai. Matriks kekakuan struktur ini $[S^*]_{n \times n}$ diperoleh dengan menjumlahkan matriks kekakuan kedua sistem. Jadi,

$$[S^*] = [S^*]_w + [S^*]_r \quad (2.1.f)$$

Dengan $[S^*]_w$ dan $[S^*]_r$ masing-masing adalah matriks kekakuan dinding geser dan portal pengganti, yang selaras dengan n koordinat mendatar di permukaan lantai.

Pergoyangan di permukaan lantai pada struktur semula kemudian dihitung dengan menyelesaikan

$$[S^*]_{n \times n} \{D^*\}_{n \times 1} = \{F^*\}_{n \times 1} \quad (2.1.g)$$

Perpindahan $\{D^*\}$ menyatakan translasi mendatar di permukaan lantai dari semua kolom atau dinding geser pada gedung. (Ghali and Neville, 1986)

2.2 Metode Analisis dan Desain

2.2.1 Analisis Struktur

2.2.1.2 Analisis Struktur dengan Matriks

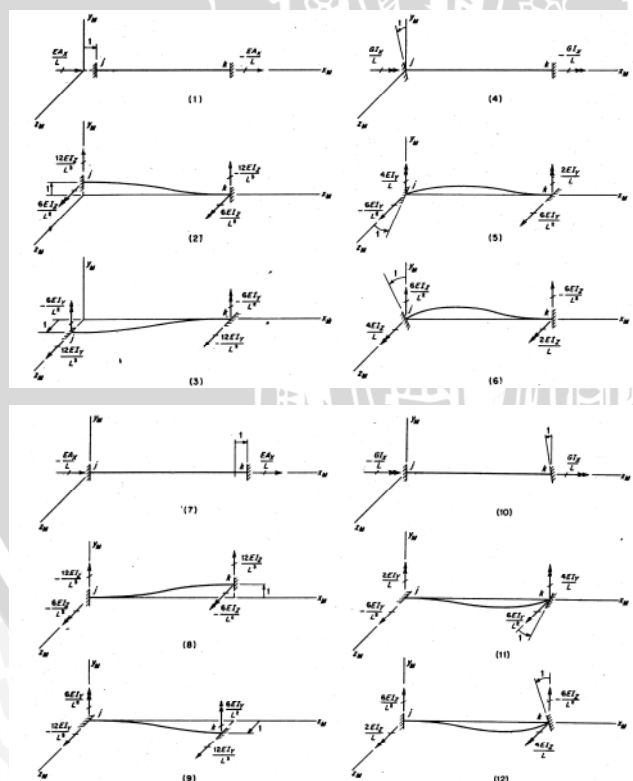
Portal dapat diselesaikan dengan metode analisis struktur dengan matriks dengan dalil metoda perpindahan satu satuan yang menghasilkan besarnya nilai perpindahan pada tiap titik simpul portal yang kita tinjau. Dimana dalam metoda ini kita memerlukan

matriks kekakuan untuk setiap elemen yang biasa disebut sebagai matriks kekakuan lokal [k]. Selanjutnya, matriks kekakuan lokal tadi kita rakit menjadi matriks kekakuan global [K] melalui proses transformasi. Dimana matriks kekakuan tiap elemen harus dikalikan dengan matriks transformasi [T]. Matriks [T] didefinisikan sebagai matriks transformasi koordinat dari sistem koordinat elemen (lokal) ke dalam sistem koordinat global (struktur). Untuk mendapatkan perpindahan pada joint bagian ujung bebas matriks kekakuan global dikalikan dengan vektor beban ekuivalen. Untuk itu perlu dirakit vektor beban ekuivalen, yaitu besar dan arah beban yang diterima oleh struktur tersebut selama perencanaan masa layanan struktur tersebut. Hubungan antara vektor perpindahan/rotasi dengan vektor beban ekuivalen adalah : (Amrinsyah Nasution, 2000)

$$\{P\} = [K]\{X\} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- {P} : Beban Ekuivalen
 [K] : Matriks kekakuan
 {X} : Perpindahan



Gambar 2.4. Kekakuan batang: (1) translasi satuan arah xM di j, (2) translasi satuan arah yM di j, (3) translasi satuan arah zM di j, (4) rotasi satuan arah xM di j, (5) rotasi satuan arah yM di j, (6) rotasi satuan arah zM di j, (7) translasi satuan arah xM di k, (8) translasi satuan arah yM di k, (9) translasi satuan arah zM di k, (10) rotasi satuan arah xM di k, (11) rotasi satuan arah yM di k, (12) rotasi satuan arah zM di k. (Sumber : Weaver, 1993)

Matriks kekakuan untuk portal ruang adalah sebagai berikut : (Weaver, 1993)

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\ -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Pada struktur terdapat joint yang terkekang oleh tumpuan (support restraint) dan joint yang bebas. Pada joint yang terkekang oleh tumpuan direncanakan perpindahannya adalah mendekati atau sama dengan nol. Untuk mendapatkan perpindahan pada joint yang bebas matriks kekakuan portal harus kita bagi (sekat). Perhitungan gaya ujung batang dilakukan batang demi batang sehingga semua matriks yang digunakan didasarkan pada sumbu batang. (Amrinsyah Nasution, 2000)

Kelemahan dalam analisis suatu struktur dengan matriks adalah hanya dapat menganalisis suatu struktur hanya pada titik-titik buhulnya saja, sehingga perhitungan pada daerah lapangan tidak dapat diketahui. Selain itu dalam metode ini untuk mendapatkan gaya-gaya dalam ujung elemen, kita harus memecah persamaan kekakuan global menjadi persamaan kekakuan lokal dengan melalui proses transformasi lagi. Oleh karena itu untuk selanjutnya kita menganalisis struktur dengan menggunakan Metoda Elemen Hingga. (Weaver, 1993)

Penggunaan metode elemen hingga sendiri memiliki beberapa kelebihan yaitu benda dengan bentuk yang tidak teratur dapat dengan mudah dianalisa, tidak terdapat kesulitan dalam menganalisa beban pada suatu struktur, permodelan dari suatu benda dengan komposisi materi yang berlainan dapat dilakukan secara individu untuk tiap elemen, dapat menangani berbagai macam syarat batas dalam jumlah yang tidak terbatas, variasi dalam ukuran elemen memungkinkan untuk memperoleh detail analisa yang diinginkan, serta dapat memecahkan masalah-masalah dinamik. (Yerri Susatio, 2004)

2.2.1.3 Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga

Konsep dari elemen hingga adalah membagi suatu benda menjadi beberapa bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana. Proses pembagian ini disebut dengan proses diskritisasi (pembagian). Dengan menggunakan metode elemen hingga suatu masalah yang memiliki derajat kebebasan tak berhingga dapat diubah menjadi suatu masalah dengan derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan menjadi lebih sederhana. Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam perumusan dan penerapan metode elemen hingga adalah sebagai berikut : (Desai, 1993)

2.2.1.3.1 Diskritisasi dan Memilih Konfigurasi Elemen

Langkah diskritisasi ini menyangkut pembagian suatu benda menjadi sejumlah benda yang lebih kecil, yang dinamakan elemen-elemen hingga. Perpotongan antara sisi-sisi elemen dinamakan simpul atau titik simpul, dan permukaan elemen-elemen tersebut disebut garis simpul dan bidang simpul. Seberapa kecil suatu elemen akan dibagi tergantung dari jumlah faktor yang akan dibahas. Sedangkan karakteristik kesatuan dan idealisasi yang digunakan akan mempengaruhi jenis elemen yang akan digunakan nantinya. (Desai,1993)

2.2.1.3.2 Memilih Model dan Fungsi Pendekatan

Pada tahap ini dilakukan pemilihan secara teoritis atau awal dari fungsi-fungsi matematis untuk menyatakan bentuk elemen yang berubah karena adanya pembebanan dengan mengikuti hukum. Ketika memilih fungsi ini, harus mengikuti prinsip dan batasan atau syarat batas yang sudah menjadi sifat persoalan. Jadi suatu fungsi pendekatan harus memenuhi persyaratan-persyaratan tertentu agar dapat diterima, antara lain suatu fungsi pendekatan dalam suatu elemen harus kontinu, harus memberi kecocokan antar elemen sampai ke derajat yang diinginkan soal, dan fungsi pendekatan harus lengkap. (Desai,1993)

2.2.1.3.3 Menentukan Hubungan Regangan Perpindahan dan Hubungan Tegangan – Regangan

Untuk penurunan persamaan-persamaan elemen, besaran-besaran yang tepat yang muncul dalam prinsip tersebut harus ditentukan. Untuk persoalan tegangan deformasi, aksi atau penyebab adalah gaya, dan akibat atau tanggapan yang terjadi adalah regangan (laju perubahan), perubahan bentuk (deformasi), dan tegangan. Antara aksi dan tanggapan dihubungkan dengan hukum tegangan-regangan. Hubungan regangan-perpindahan, dan regangan-tegangan untuk persoalan aksial dan persoalan pelenturan masing-masing diberikan pada persamaan berikut : (Desai,1993)

$$\varepsilon_y = \frac{dv}{dy} \quad (2.4.a)$$

$$\sigma_y = E_y \varepsilon_y \quad (2.4.b)$$

Jika dinyatakan dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut :

$$\{\varepsilon_y\} = [B] \{q\} \quad (2.4.c)$$

$$\{\sigma_y\} = [C] \{\varepsilon_y\} \quad (2.4.d)$$

Dimana [B] adalah matriks transformasi regangan perpindahan dan [C] adalah matriks tegangan regangan, sehingga hubungan tegangan-regangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\{\sigma_y\} = [C] [B] \{q\} \quad (2.4.e)$$

2.2.1.3.4 Menurunkan Persamaan – Persamaan Elemen

Aplikasi metodologi dari kasus dinamis adalah merupakan pengembangan dari rumus statis. Persamaan dinamis didapatkan dari situasi berikut yang menggunakan prinsip d'Alembert. Hal ini yang mengubah problem dinamis menjadi bahasan fiksi gaya 'inesia'. Logika di atas didemonstrasikan dengan argumen berikut. Anggap partikel bermassa tunggal m yang merupakan subjek time dependent (tergantung waktu), gaya luar $F(t)$ dan percepatan $a(t)$. Gaya dan percepatan terhubung dengan Hukum Newton kedua yaitu : $F = m \cdot a$ (2.5.a)

Dari prinsip d'Alembert dapat diketahui bahwa persamaan kekakuan untuk model dinamis adalah ekuivalen antara subjek model statis dengan gaya badan inersia ($-pa$) per unit volume. Persamaan metode elemen hingga yang terbentuk menjadi: (Astley, 1992)

$$K d(t) = f(t) + f_1(t) \quad (2.6.a)$$

Di mana K adalah matriks kekakuan (statis), $d(t)$ adalah vektor perpindahan titik, $f(t)$ adalah vektor gaya titik dan $f_1(t)$ adalah vektor ekuivalen gaya inersia. Komponen f_1 didapatkan dari kontribusi elemen, f_1^e didapatkan dengan memperlakukan beban inersia $-pa$ sebagai gaya badan terdistribusi pada setiap elemen. Pada notasi umum, medan peralihan elemen yang diasumsikan $\{f\} = \{u \ v \ w\}$ serta turunan pertama dan keduanya adalah : (Cook, 1990)

$$\{f\} = [N] \{d\} \quad \{\dot{f}\} = [N] \{\dot{d}\} \quad \{\ddot{f}\} = [N] \{\ddot{d}\} \quad (2.6.b)$$

Keterangan :

$\{\ddot{d}\} =$ percepa tan titik simpul

$\{\dot{d}\} =$ kecepa tan titik simpul

$$f_1^e = \int_V N^{eT} (-\rho a) dV \quad (2.6.c)$$

Bagaimanapun juga percepatan dalam setiap elemen ditentukan secara konsisten dengan turunan kedua dari perpindahan berdasarkan waktu yaitu :

$$a = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.6.d)$$

Di mana u diberikan dalam persamaan :

$$u = N^e(x)d^e(t) \quad (2.6.e)$$

Dengan mensubstitusikan kita mendapatkan :

$$a = N^e \ddot{d}^e \quad (2.6.f)$$

Di mana \ddot{d}^e adalah vector percepatan titik dengan komponen

$$\ddot{d}^e = \left[\frac{\partial^2 \delta_1}{\partial t^2}, \frac{\partial^2 \delta_2}{\partial t^2}, \dots, \frac{\partial^2 \delta_p}{\partial t^2} \right]^T \quad (2.7.a)$$

Dengan substitusi kita mendapatkan :

$$F_1^e = \int_V \rho [N^{eT} N^e] \ddot{d}^e dV = -M^e \ddot{d}^e \quad (2.7.b)$$

Matriks segi empat M^e adalah 'matriks massa' elemen. Yang didefinisikan dengan integral

$$M^e = \int_V \rho N^{eT} N^e dV \quad (2.8)$$

Untuk bentuk damping (dengan redaman) yang umumnya terjadi karena gesekan pada tumpuan dapat dimodelkan secara tepat. C adalah matriks 'damping'(redaman), tidak seperti K dan M, matriks redaman tidak dapat dirakit dari kontribusi elemen karena fisika dari mekanisme redaman umumnya belum jelas pada level elemen. Maka C harus dimodelkan dengan model global empiris atau dengan memperkirakan redaman setiap model getar. (Astley, 1992)

Vektor $f(t)$ diketahui sebagai fungsi waktu dan persamaan dinamis diintegrasikan untuk memberikan perpindahan pada nilai kecepatan awal dan perpindahan yang ada. Dengan keadaan awal $d(0) = d_0$ dan $\dot{d}(0) = v_0$. di mana d_0 dan v_0 adalah perpindahan titik dan kecepatan pada saat $t = 0$. Dalam kasus sistem dengan derajat kebebasan n, kita harus memecahkan rangkaian n kedua dari persamaan diferensial untuk parameter titik $\delta_i(t)$. Persamaan-persamaan tersebut digabung melalui komponen diagonal dari M, K dan C dan harus diselesaikan secara simultan. Jadi, persamaan gerak untuk sistem terdiskritisasi : (Cook, 1992)

$$\{R\} - [K]\{D\} - [C]\{\dot{D}\} - [M]\{\ddot{D}\} = 0$$

atau $[K]\{D\} - [C]\{\dot{D}\} - [M]\{\ddot{D}\} = \{R\}$ (2.9)

Diasumsikan bahwa solusi mode perpindahan dan mode percepatan bahwa rasio mode redaman ξ_i yang diketahui untuk setiap mode. Nilai mungkin dapat didefinisikan secara eksplisit mode tiap mode, berdasarkan pengalaman dan penilaian teknis. Lebih umumnya, bagaimanapun juga, didapatkan dari lebih banyak model umum untuk sistem redaman secara keseluruhan. Model paling umum adalah model Rayleigh atau redaman 'proporsional', dimana matriks redaman C diasumsikan sebagai kombinasi linier dari K dan M, yaitu :

$$[C] = \alpha [K] + \beta [M] \quad (2.10.a)$$

Hal ini bukan hanya meyakinkan ortogonalitas mode eigen yang berkaitan dengan C (juga dengan M dan K) tapi secara implisit menentukan koefisien redaman ξ_i untuk setiap mode. di mana :

$$\xi_i = \frac{c_i}{2m_i\omega_i} = \frac{\alpha m_i + \beta k_i}{2m_i\omega_i} = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta\omega_i}{2} \quad (2.10.b)$$

Dalam kasus apapun nilai yang cocok harus digunakan pada konstanta α dan β . Hal ini umumnya dilakukan dengan menspesifikasikan rasio redaman ξ_a dan ξ_b kedua frekuensi karakteristik ω_a dan ω_b . Frekuensi yang lebih rendah ω_a biasanya dipakai sebagai natural fundamental dari sistem, dimana rasio redaman dapat diperkirakan dengan akurasi yang dapat dinalar (nilai antara 0-5% adalah umum untuk kehilangan hysteretik, tergantung pada level tekanan dan sedikit banyaknya nilai yang lebih tinggi yang digunakan pada struktur titik). (Astley, 1992)

Frekuensi getaran alami, dengan redaman [C] dan gaya luar {R} keduanya nol. Setiap derajat kebebasan menghasilkan gerakan harmonik dalam fase terhadap seluruh derajat kebebasan lainnya. (Cook, 1990)

$$\{D\} = \{\bar{D}\} \sin \omega t \quad \{\ddot{D}\} = -\omega^2 \{\bar{D}\} \sin \omega t \quad (2.11)$$

Keterangan:

{D} = amplitudo derajat kebebasan titik simpul

ω = frekuensi sirkular (radian per detik)

Substitusi persamaan 2.11 dan 2.13 menghasilkan

$$([K] - \lambda [M]) \{\bar{D}\} = 0, \quad \lambda = \omega^2 \quad (2.12)$$

2.2.1.3.5 Perakitan Persamaan Elemen Untuk Mendapatkan Persamaan Global Atau Persamaan Rakitan Dan Mengenal Syarat Batas

Dalam menentukan perilaku keseluruhan struktur maka perlu untuk memperoleh persamaan-persamaan suatu struktur secara keseluruhan, yaitu dengan merakit persamaan-persamaan lokal untuk mendapatkan persamaan global. Proses perakitan ini didasarkan pada hukum kecocokan atau kekontinuan. Dengan kata lain, perpindahan dua titik yang berbatasan atau yang berurutan harus memiliki nilai-nilai yang identik. Dalam notasi matriks persamaan perakitan dapat diberikan sebagai berikut : (Desai,1993)

$$[\bar{M}]\{\ddot{d}\} + [\bar{C}]\{\dot{d}\} + [\bar{K}]\{d\} = \{F(t)\} \quad (2.13)$$

Keterangan :

$[\bar{M}] =$ matriks massa

$\{\ddot{d}\} =$ percepatan

$[\bar{C}] =$ matriks redaman

$\{\dot{d}\} =$ kecepatan

$[\bar{K}] =$ matriks kekakuan struktur

$\{d\} =$ perpindahan

$\{F(t)\} =$ vektor gaya

2.2.1.3.6 Interpretasi Hasil-Hasil

Tujuan akhir dan penting adalah mengurangi hasil-hasil penggunaan cara elemen hingga menjadi suatu bentuk yang siap dipakai dalam analisis dan perancangan. Umumnya hasil-hasil diperoleh dalam bentuk keluaran yang dicetak dari komputer. Kemudian kita memilih potongan-potongan yang kritis dari benda dan memplotkan nilai-nilai perpindahan dan tegangan di sepanjang benda, atau kita dapat membuat tabel dari hasil-hasil tersebut. (Desai,1993)

2.2.2 Analisis Penampang Beton Bertulang

Terdapat dua jenis perhitungan yang bisa dilakukan dalam evaluasi penampang beton bertulang, yaitu sebagai berikut : (Iswandi Imran, 2000)

1. Analisis

Pada perhitungan analisis, diminta untuk menghitung resistance atau kapasitas penampang berdasarkan data penampang, kekuatan tekan beton, tegangan leleh baja, ukuran dan jumlah tulangan, dan lokasi tulangan.

2. Desain

Pada perhitungan desain, diminta untuk memilih penampang yang cocok (termasuk pemilihan dimensi, mutu beton f_c' , mutu tulangan f_y , tulangan, dan lain-lain) untuk menahan pengaruh beban terfaktor (seperti M_u).

2.2.2.1 Lentur

Asumsi dasar pada Teori Lentur Penampang Beton adalah sebagai berikut :
(Iswandi Imran, 2000)

1. Penampang tegak lurus sumbu lentur yang berupa bidang datar sebelum lentur akan tetap berupa bidang datar setelah lentur.
2. Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan baja (pada level yang sama, regangan pada beton adalah sama dengan regangan pada baja).
3. Tegangan pada beton dan tulangan dapat dihitung dengan menggunakan hubungan tegangan-regangan beton dan baja.
4. Untuk perhitungan kekuatan lentur penampang, kuat tarik beton diabaikan.
5. Beton diasumsikan runtuh pada saat regangan tekannya mencapai regangan batas tekan.
6. Hubungan tegangan-regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapezium, atau parabola, atau lainnya.

Sedangkan blok tegangan tekan persegi ekuivalen didefinisikan sebagai berikut :
(Iswandi Imran, 2000)

- a. Tegangan tekan merata sebesar $\alpha_1 f_c'$ (dimana $\alpha_1 = 0,85$) diasumsikan bekerja disepanjang zona tekan ekuivalen yang berjarak $\alpha = \beta_1 c$ dari serat tekan terluar (ekstrim).
- b. Jarak c dari posisi serat tekan terluar ke sumbu netral diukur tegak lurus terhadap sumbu netral tersebut.
- c. Nilai β_1 diambil sebagai berikut :

$$\text{Untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,85$$

$$\text{Untuk } 30 \text{ MPa} < f_c' \leq 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30 \text{ MPa})$$

$$\text{Untuk } f_c' > 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0,65$$

Untuk dapat menggambarkan blok tegangan tekan persegi ekuivalen hanya menggunakan dua parameter, yaitu α_1 dan β_1 . Berdasarkan distribusi tegangan, kekuatan lentur dihitung sebagai berikut :

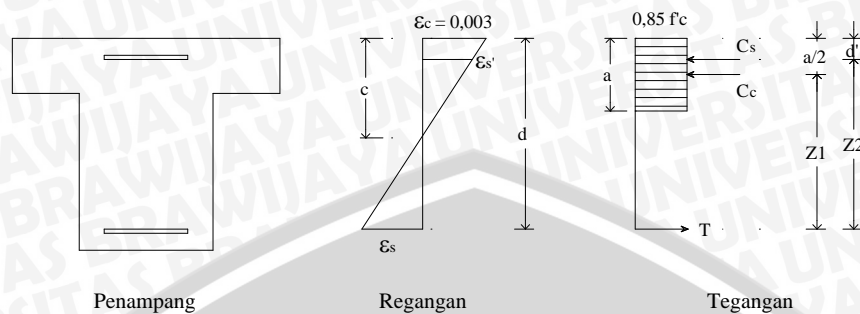
$$C = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots (2.14.a)$$

$$T = A_s f_y \text{ (tulangan diasumsikan leleh sebelum beton hancur) } \dots\dots\dots (2.14.b)$$

$$\text{Syarat keseimbangan } C = T, \text{ maka } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots (2.14.c)$$

$$\text{Jadi } M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= A_s f_y \left(d - 0,59 \frac{A_s f_y}{f_c' b} \right) \dots \dots \dots (2.14.d)$$



Gambar 2.5 Penampang Balok T
(Sumber : Anonimous, 1991)

2.2.2.2 Geser

2.2.2.2.1 Analisis dan Desain Balok Beton Bertulang terhadap Geser

Persamaan dasar untuk mendesain balok beton bertulang terhadap geser adalah sebagai berikut : (Anonimous, 2002)

$$\phi V_n \geq V_u \dots \dots \dots (2.15.a)$$

Kekuatan geser nominal ditentukan dengan memperhitungkan baik kontribusi beton maupun kontribusi tulangan sengkang, sehingga :

$$V_n = V_c + V_s \dots \dots \dots (2.15.b)$$

Keterangan :

- ϕ : faktor reduksi geser = 0,75
- V_u : gaya geser terfaktor
- V_n : kekuatan geser nominal
- V_c : gaya geser yang dipikul oleh beton
- V_s : gaya geser yang dipikul oleh sengkang

2.2.2.2.2 Kapasitas Geser Balok tanpa Tulangan Sengkang

Balok tanpa tulangan sengkang akan runtuh sesaat setelah terbentuknya retak miring. Oleh karena itu, kapasitas geser balok tanpa tulangan sengkang biasanya diambil sama dengan gaya geser yang menyebabkan retak miring. Gaya geser yang dapat menyebabkan retak miring pada balok tanpa tulangan sengkang dapat dihitung sebagai berikut : (Iswandi Imran, 2000)

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f_c'} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u}}{7} \right) b_w d \dots \dots \dots (2.15.a)$$

Harga V_c yang dihitung dari persamaan di atas tidak boleh diambil lebih dari $0,3\sqrt{f_c'} b_w d$. Sebagai penyederhanaan persamaan di atas, peraturan Indonesia mengizinkan penggunaan persamaan berikut untuk perhitungan kapasitas geser, yaitu :

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots(2.15.b)$$

Untuk elemen struktur yang dibebani aksial, kapasitas geser beton dihitung sebagai berikut :

- Untuk kombinasi dengan gaya aksial tekan

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right)\sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots(2.15.c)$$

- Untuk kombinasi dengan gaya aksial tarik

$$V_c = \frac{1}{6}\left(1 + \frac{0,3 N_u}{A_g}\right)\sqrt{f_c'} b_w d \dots\dots\dots(2.15.d)$$

2.2.2.2.3 Balok dengan Tulangan Geser

Keruntuhan geser pada balok tanpa tulangan geser biasanya bersifat tiba-tiba dan getas, maka disyaratkan adanya tulangan geser minimum pada balok yang dikenai gaya geser V_n yang besarnya melebihi $(0,5 V_c)$, kecuali pada elemen pelat atau pondasi telapak, dan balok dengan ketinggian tidak lebih dari 250 mm, 2,5 tebal sayap atap, dan 0,5 tebal badan. Pengecualian tersebut berlaku pada jenis-jenis elemen struktur yang memungkinkan terjadinya redistribusi gaya di sepanjang lebar elemen. Pada elemen-elemen struktur tersebut, tulangan geser baru diperlukan jika $V_n \geq V_c$. Namun untuk perencanaan bangunan tahan gempa, tulangan geser minimum harus dipenuhi oleh setiap balok. Hal ini dikarenakan pada perencanaan bangunan tahan gempa V_c biasanya diambil = 0. (Iswandi Imran, 2000)

2.2.2.3 Kombinasi Aksial dan Lentur

2.2.2.3.1 Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebani Secara Konsentrik

Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara konsentrik terbagi atas komponen sumbangan beton dan sumbangan baja, yaitu : (Iswandi Imran, 2000)

$$P_{oc} = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) \dots\dots\dots(2.16.a)$$

$$P_{os} = f_y A_{st} \dots\dots\dots(2.16.b)$$

Keterangan :

A_{st} : luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A_s'$

A_g : luas total penampang kotor

Penggunaan nilai 0,85 dalam perhitungan kekuatan kolom didasari atas adanya perbedaan kekuatan tekan beton pada elemen struktur aktual terhadap kuat tekan beton silinder, yaitu :

$$f_{co}' = 0,85 f_c' \dots\dots\dots (2.16.c)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka kekuatan kolom menjadi :

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \dots\dots\dots (2.16.d)$$

Untuk menghindari perlunya perhitungan eksentrisitas minimum seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, disyaratkan adanya reduksi kekuatan sedemikian rupa sehingga : (Anonimous, 2002)

- Untuk kolom dengan tulangan spiral

$$P_{n \text{ maks}} = 0,85 (0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \dots\dots\dots (2.16.e)$$

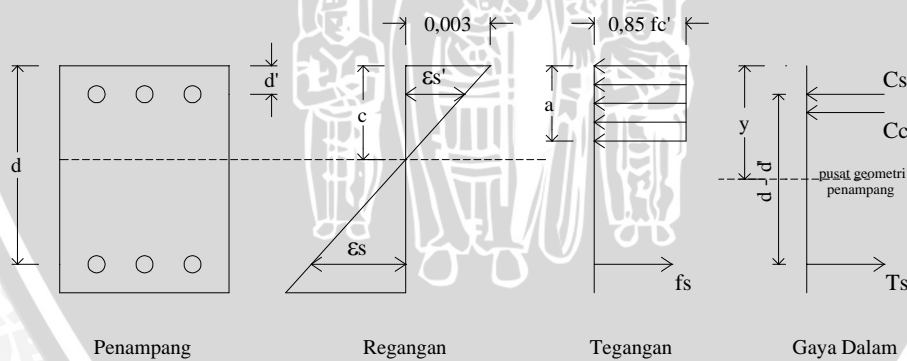
- Untuk kolom dengan tulangan pengikat

$$P_{n \text{ maks}} = 0,80 (0,95 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \dots\dots\dots (2.16.f)$$

Nilai kekuatan nominal di atas harus dikalikan lagi dengan faktor reduksi untuk elemen struktur tekan, yaitu $\phi = 0,70$ untuk kolom dengan tulangan spiral, dan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan pengikat atau sengkang.

2.2.2.3.2 Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebani Secara Eksentrik

Prinsip blok tegangan persegi ekivalen yang berlaku pada analisis balok dapat juga diterapkan pada analisis kolom terhadap beban eksentrik. (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan pada Penampang Kolom (Sumber : Iswandi Imran, 2000)

Keterangan gambar :

Regangan

$$\epsilon_s = 0,003 \frac{d - c}{c} \dots\dots\dots (2.17.a)$$

$$\epsilon_{s'} = 0,003 \frac{c - d'}{c} \dots\dots\dots (2.17.b)$$



Tegangan

$$f_s' = E_s \epsilon_s' \leq f_y \dots\dots\dots(2.17.c)$$

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y \dots\dots\dots(2.17.d)$$

Gaya Dalam

$$C_c = 0,85 f_c' b a \dots\dots\dots(2.17.e)$$

$$C_s = A_s' f_s' \dots\dots\dots(2.17.f)$$

$$T_s = A_s f_s \dots\dots\dots(2.17.g)$$

Persamaan keseimbangan untuk penampang kolom disyaratkan sebagai berikut : (Anonimous, 2002)

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0,85 f_c' b a + A_s' f_s' - A_s f_s \dots\dots\dots(2.17.h) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= P_n \cdot e \\ &= C_c \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left(\bar{y} - d' \right) + T_s \left(d - \bar{y} \right) \\ &= 0,85 b a \left(\bar{y} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\bar{y} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \bar{y} \right) \dots\dots\dots(2.17.i) \end{aligned}$$

Pada persamaan di atas, jarak netral c diasumsikan berada dalam daerah d penampang, sehingga tulangan baja pada lokasi d benar-benar mengalami gaya tarik. Perlu dicatat bahwa gaya aksial P_n tidak boleh lebih besar dari P_n maks. Dari persamaan-persamaan tersebut dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter yang tidak diketahui, yaitu tinggi blok tegangan ekuivalen (a), f_s' , f_s , dan P_n untuk e tertentu atau e untuk P_n tertentu. Nilai f_s' dan f_s dapat dinyatakan dalam a , sehingga tinggal dua bilangan yang tidak diketahui, yaitu a dan P_n atau a dan e . Dengan dua persamaan yang ada, kita dapat memecahkan harga a dan e . Seperti disebutkan sebelumnya, jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada kolom pendek adalah leleh tulangan tarik dan keruntuhan tekan. Kondisi balance tercipta jika keruntuhan terjadi bersamaan pada tulangan tarik dan beton tekan. Jika P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial yang berkaitan dengan keruntuhan balance, maka : (Iswandi Imran, 2000)

$$P_n < P_{nb} \quad \rightarrow \quad \text{keruntuhan tarik}$$

$$P_n = P_{nb} \quad \rightarrow \quad \text{keruntuhan balance}$$

$$P_n > P_{nb} \quad \rightarrow \quad \text{keruntuhan tekan}$$

2.2.2.3.3 Faktor Reduksi Kekuatan Kolom

Seperti yang telah diketahui bahwa faktor reduksi untuk kondisi lentur murni adalah $\phi = 0,80$. Sedangkan untuk kombinasi lentur dan aksial tekan adalah $\phi = 0,70$ untuk kolom dengan tulangan spiral, dan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan pengikat atau sengkang. (Iswandi Imran, 2000)

Faktor reduksi untuk kombinasi lentur dan aksial boleh ditingkatkan dari $\phi = 0,70$ ke $0,80$ (untuk tulangan spiral) dan dari $\phi = 0,65$ sampai $0,8$ (untuk tulangan sengkang pengikat) jika P_n lebih kecil dari pada $0,1 ag fc'$. Jadi untuk kolom dengan tulangan ikat, nilai faktor reduksi kekuatan kolom adalah :

$$\phi = 0,80 - \frac{0,15 \phi P_n}{0,1 fc' Ag} \geq 0,65 \dots \dots \dots (2.18.a)$$

Sedangkan untuk kolom dengan tulangan spiral, nilai faktor reduksi kekuatan kolom adalah :

$$\phi = 0,80 - \frac{0,10 \phi P_n}{0,1 fc' Ag} \geq 0,70 \dots \dots \dots (2.18.b)$$

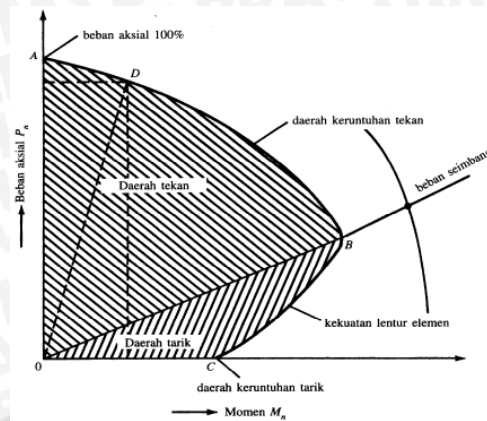
Batasan tersebut secara umum berarti bahwa faktor reduksi $0,65$ dan $0,70$ hanya diberlakukan jika keruntuhan yang terjadi didahului oleh keruntuhan tekan. Batasan di atas dapat juga diterapkan langsung untuk kolom dengan $f_y \leq 400$ MPa, tulangan

longitudinal bersifat simetris, dan $\frac{(h - d' - ds)}{h} \geq 0,70$. (Anonimous, 2002)

Untuk kolom lain yang tidak memenuhi persyaratan di atas, maka P_b harus dihitung terlebih dahulu, kemudian faktor reduksi dapat dikurangi seperti persamaan di atas jika nilai ϕP_n lebih kecil dari $0,1 Ag fc'$ atau ϕP_b . Jika nilai ϕP_b lebih kecil daripada nilai $0,1 Ag fc'$ maka pembagi pada persamaan di atas, yaitu $0,1 Ag f_y$ diganti menjadi ϕP_b . (Iswandi Imran, 2000)

2.2.2.3.4 Diagram Interaksi P-M

Kapasitas suatu penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M, yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada elemen struktur tekan pada kondisi batas. Setiap titik pada kurva menunjukkan satu kombinasi P_n dan M_n untuk penampang dengan kondisi atau lokasi sumbu netral yang tertentu. (Iswandi Imran, 2000)



Gambar 2.7. Diagram Interaksi Kolom
(Sumber : McCormac, 2003)

Prosedur perencanaan untuk penampang kolom adalah sebagai berikut :

(Sudarmoko, 1995)

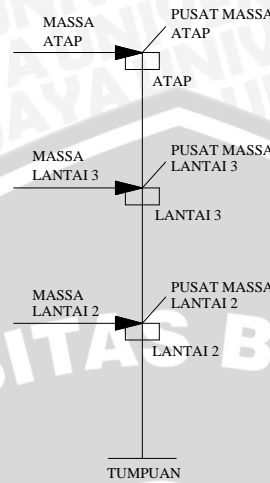
1. Untuk P_u dan M_u yang bekerja pada penampang, hitung $e = \frac{M_u}{P_u}$
2. Asumsikan dimensi penampang dan rasio tulangnya (antar 1% – 4%)
3. Hitung P_{nb} untuk penampang yang diasumsikan tersebut dan tentukan tipe keruntuhannya.
4. Kontrol apakah penampang cukup memadai (aman dan ekonomis). Asumsikan penampang baru jika penampang tidak memadai.
5. Desain tulangan lateral.

2.2.3 Respons Analisis Ragam Spektrum

Dalam analisis dinamis dengan metode respons spektrum digunakan untuk mencari kemungkinan respon maksimum pada tanah dasar dimana data input yang dipakai merupakan grafik respon tanah dasar. Sebagai akibat dari gaya luar dinamik yang bekerja, dimana respon yang didapat tergantung dari nilai Eigen (yang merupakan fungsi kekakuan dan massa) dari struktur. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan gaya luar dinamik yang bekerja tersebut adalah massa bangunan pada masing – masing lantai yang ditempatkan pada pusat massa tiap lantai. Setelah dianalisis menggunakan ragam spektrum akan dihasilkan gaya – gaya dalam dan mode getar . Dalam ruang lingkup rekayasa teknik, nilai respon perpindahan maksimum yang didapat akan dievaluasi apakah berada didalam batas perpindahan maksimum yang diizinkan. Pada analisis dinamis, yang menjadi perhatian adalah sebagai berikut : (M. Firdaus Alkaff, 2005)

1. Respon struktur harus berada di dalam batas izin dari respons. Informasi yang diperlukan adalah perpindahan maksimum pada saat getaran terjadi.

- Efek resonansi harus dihindari sedapat mungkin. Informasi yang diperlukan adalah frekuensi natural dan modus getar struktur, dan frekuensi gaya eksitasi (gaya luar) yang menyebabkan struktur bergetar.



Gambar 2.8. Pemodelan Beban Gempa Analisis Respons Dinamis
(Sumber : M. Firdaus Alkaff, 2005)

Rumus yang digunakan untuk menghitung frekuensi natural dan frekuensi eksitasi adalah : (Anil K. Chopra , 1995)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(2.19.a)$$

$$\omega = 2\pi / T \dots\dots\dots(2.19.b)$$

$$y = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 x A \dots\dots\dots(2.19.c)$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \dots\dots\dots(2.19.d)$$

keterangan :

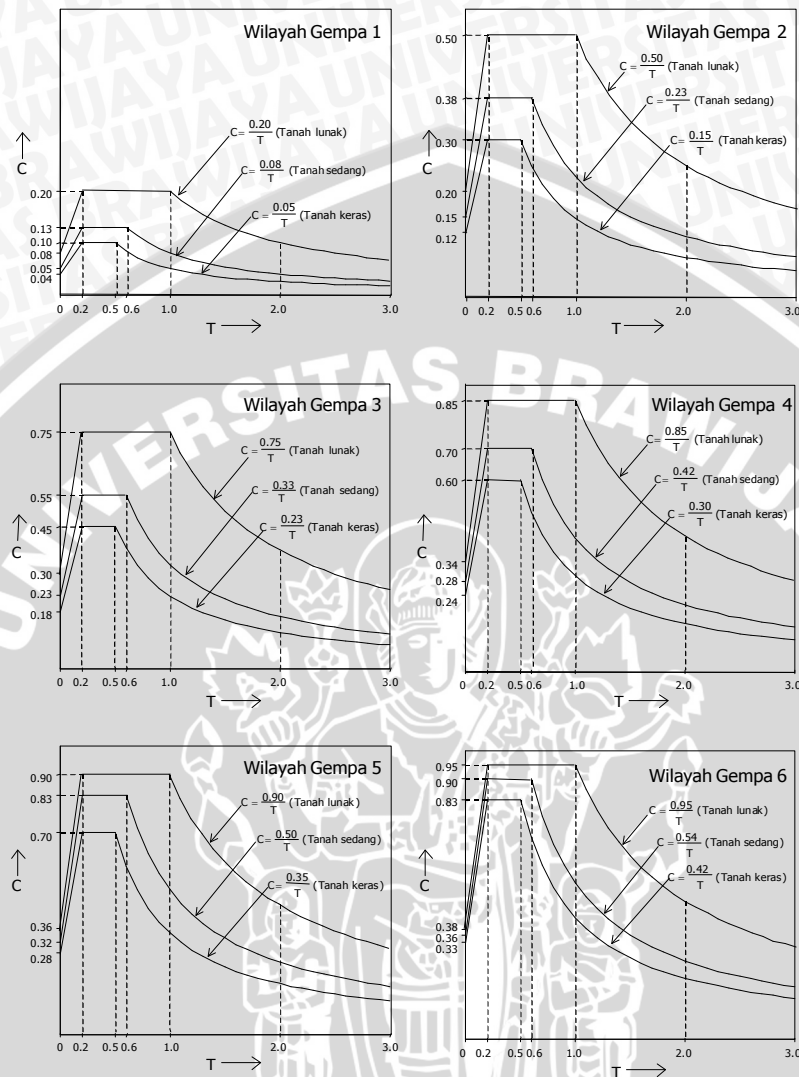
- | | |
|--------------------------------|---|
| ω_n : frekuensi natural | y : perpindahan |
| k : kekakuan struktur | T : periode |
| m : massa bangunan | A : percepatan akselogram |
| ω : frekuensi eksitasi | r : ratio antara ω dengan ω_n |

Jika $r < \sqrt{2}$, hasilnya adalah sefasa, menunjukkan bangunan mengalami perpindahan sebelum terjadinya perpindahan maksimum.

Jika $r > \sqrt{2}$, hasilnya adalah sudut fasa lebih dari 90° , menunjukkan bangunan mengalami perpindahan setelah terjadinya perpindahan maksimum.



Variabel A pada rumus 2.19c didapat dari gambar 2.9 dengan notasi C. Nilai A tersebut diambil dengan menyesuaikan wilayah gempa dan kondisi tanah dimana bangunan itu berdiri.



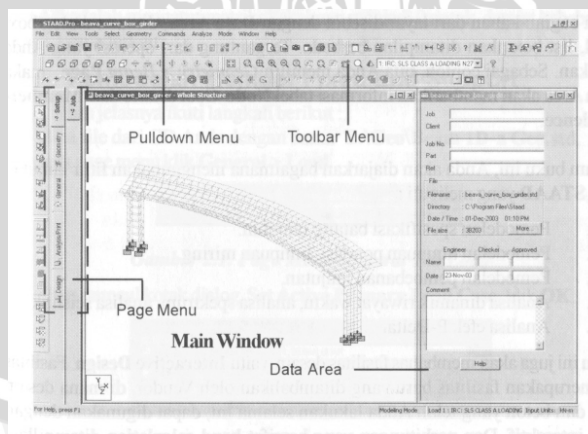
Gambar 2.9
Respons Spektrum Gempa Rencana
(Sumber : Anonimus, 2002)

2.2.4 Metode Komputasi dengan Menggunakan Software STAAD Pro 2004

STAAD adalah paket program yang digunakan untuk menganalisis dan mendesain struktur. STAAD menggunakan teknologi yang paling modern dalam rekayasa elemen hingga, dengan input data berbasis object oriented. Kelebihan dari penggunaan STAAD khususnya dan software analisis struktur pada umumnya adalah kemudahan dalam penggunaannya karena semua perintah diberikan dalam bentuk tombol-tombol menu. Pada program ini GUI (Graphical User Interface) dirancang untuk mempermudah penggunaan aplikasi oleh pemakai. Elemen mayor pada interface

STAAD sesuai dengan GUI (Graphical User Interface) dari STAAD pada gambar 2.10 yaitu : (M. Firdaus Alkaff, 2006)

- *Pulldown Menu*
Pulldown menu berguna untuk mengakses ke semua fasilitas dari STAAD.
- *Toolbar Menu*
Toolbar berguna untuk mengakses perintah yang sering digunakan. Dapat juga membuat customized toolbar sendiri.
- *Main Window*
Main window yaitu layar tempat bekerja, dimana model dan hasil analisis akan ditampilkan.
- *Page Menu*
Page menu yaitu sekumpulan tab yang letaknya paling kiri dari layar. Setiap *page control* mempunyai perintah spesifik yang akan memudahkan dalam pemodelan dan verifikasi hasil analisa. Organisasi dari tab-tab tersebut menggambarkan operasi berurutan dari atas ke bawah. Setiap tab mempunyai nama spesifik dan icon tersendiri untuk memudahkan pengerjaan.
- *Data Area*
Pada bagian kanan dari layar disebut dengan Data Area, dimana *dialog box*, *table*, *list box*, akan ditampilkan berbeda, tergantung dari operasi yang dilakukan.



Gambar 2.10. GUI dari STAAD
(Sumber : M. Firdaus Alkaff, 2006)

2.2.4.1 Input

Input file merupakan sekumpulan perintah dan data yang digunakan dalam memodelkan dan menganalisa suatu struktur. STAAD memiliki dua metode dalam membuat input file, yaitu dengan menggunakan fasilitas modelling GUI (Graphical

User Interface), dimana input data dibuat melalui text editor yang mengandung serangkaian perintah dan data dalam mendesain dan menganalisa suatu struktur. Ketika suatu model struktur dibuat dengan metode GUI, perintah-perintah dan data dalam text editor secara otomatis terbentuk dan ketika perintah dan data dalam text editor diubah maka GUI juga akan mengalami perubahan. (M. Firdaus Alkaff, 2006)

2.2.4.2 Output

Setelah mendesain dan menganalisa, STAAD membuat output file yang mengandung input data yang telah dimasukkan, hasil analisa yang merupakan penyelesaian dari berbagai macam perintah yang diberikan selama proses analisa dan juga informasi jika terdapat kesalahan selama proses analisa atau jika analisa dan desain yang dilakukan berhasil dengan sempurna. STAAD menampilkan output file dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk format teks dan dalam bentuk grafis atau gambar. (M. Firdaus Alkaff, 2006)

2.3 Konsep Perencanaan

2.3.1 Metode Tegangan Kerja (*Working Stress*)

Di dalam metode tegangan kerja (*working stress*), suatu unsur struktur direncanakan sedemikian hingga tegangan yang diakibatkan oleh aksi dari beban layan (*service load*) (juga dinamakan beban kerja) yang dihitung secara mekanika dari unsur-unsur yang elastis, tidak melampaui suatu harga izin yang ditetapkan terlebih dahulu. Beban layan adalah beban, seperti beban mati, beban hidup, beban salju, beban angin, dan beban gempa, yang dimisalkan benar-benar terjadi ketika masa kerja dari struktur. Metode tegangan kerja dapat dinyatakan sebagai berikut : (Wang dan Salmon, 1994)

$$f \leq [\text{tegangan diizinkan, } f \text{ izin}]$$

Keterangan :

f : tegangan yang dihitung secara elastis, misalnya dengan menggunakan rumus lentur $f = Mc/I$ untuk balok

f izin : suatu tegangan pembatas yang ditetapkan oleh peraturan sebagai suatu persentase dari kekuatan tekan f_c' untuk beton, atau dari tegangan leleh f_y dari baja tulangan.

Saat ini perencanaan dengan metode tegangan kerja sudah tidak relevan dipakai sebab angka keamanannya terlalu kecil sehingga beresiko tinggi mengalami runtuh akibat beban gempa.

2.3.2 Metode Kekuatan (*Strength Design Method*)

Di dalam perencanaan kekuatan (*strength design method*, yang terlebih dahulu dinamakan *ultimate strength method*), beban kerja dinaikkan secukupnya dengan beberapa faktor untuk mendapatkan beban dimana keruntuhan dinyatakan “telah diambang pintu”. Beban ini dinamakan beban terfaktor (*factored load*). Struktur atau unsurnya diproporsikan sedemikian hingga mencapai kekuatannya pada saat bekerjanya beban terfaktor. Perhitungan dari kekuatan ini memperhitungkan sifat hubungan yang tidak linear antara tegangan dan regangan dari beton. (Wang dan Salmon, 1994)

Metode Kekuatan dapat dinyatakan sebagai : kekuatan yang tersedia \geq kekuatan yang diperlukan untuk memikul beban terfaktor. Dimana “kekuatan yang tersedia” (seperti kekuatan momen) dihitung sesuai dengan peraturan dan pemisalan dari sifat yang ditetapkan oleh suatu peraturan bangunan, sedangkan “kekuatan yang diperlukan” adalah kekuatan yang dihitung dengan menggunakan suatu analisa struktur untuk beban terfaktor. (Wang dan Salmon, 1994)

Kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor paling tidak harus sama dengan perhitungan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang diatur dalam SNI 03-2847-2002 pasal 11.2 butir 1 sampai dengan butir 9. (Rachmat Purwono, 2005)

2.4 Kinerja Struktur Gedung

2.4.1 Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh gempa nominal yang telah dibagi dengan faktor skala. Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil. (Anonimous, 2002)

2.4.2 Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah

benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah (sela dilatasi). Sesuai pasal 4.3.3 simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat dari pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali ξ sebagai berikut : (Anonimous, 2002)

- Untuk struktur gedung beraturan $\xi = 0,7R$
- Untuk struktur gedung tidak beraturan $\xi = 0,7R/\text{faktor}$

2.5 Kriteria Perencanaan

2.5.1 Pembebanan

Pada prinsipnya pembebanan yang diperhitungkan secara garis besar digolongkan dalam empat jenis pembebanan yaitu sebagai berikut : (Anonimous, 1983)

- **Beban Mati**
 - Mencakup semua beban yang disebabkan oleh berat sendiri struktur yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin, serta peralatan yang merupakan bagian yang sifatnya tidak terpisahkan oleh gedung.
 - Beban mati untuk gedung diatur dalam Bab 2.
- **Beban Hidup**
 - Mencakup semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan gedung, termasuk di dalamnya beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung tersebut, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan.
 - Beban hidup untuk gedung diatur dalam Bab 3.
- **Beban Angin**
 - Mencakup semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekan udara.
 - Beban angin untuk gedung diatur dalam Bab 4.
- **Beban Gempa**
 - Mencakup semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu

analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Perencanaan suatu struktur harus memperhatikan pengaruh-pengaruh dari aksi sebagai akibat beban-beban yang bekerja pada struktur, seperti beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban-beban khusus lainnya. Berdasarkan beban-beban tersebut maka struktur beton betulang harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut ini : (Anonimous, 2002)

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2.20.a)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.20.b)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2.20.c)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots (2.20.d)$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.20.e)$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2.20.f)$$

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.

2.5.2 Kategori Gedung

Pada setiap perencanaan gedung perlu dilakukan pengelompokan kategori gedung yang diatur sesuai dengan pola pemakaian dan usia bangunan. Kategori gedung diatur menjadi lima jenis sesuai dengan tabel 1 SNI 03-1726-2002. Setelah mengetahui jenis kategori gedung, maka dapat ditentukan faktor keutamaan (I) untuk perhitungan beban gempa nominal. (Rachmat Purwono, 2005)

2.5.3 Konfigurasi Gedung

Bentuk struktur bangunan gedung sangat bervariasi. Konfigurasi struktur gedung menentukan kinerja gedung atau respon pada saat mengalami gempa rencana. SNI 03-1726-2002 mengatur kelompok konfigurasi gedung menjadi dua bagian yaitu gedung beraturan dan gedung tidak beraturan. Gedung yang beraturan diatur dalam SNI 03-1726-2002 pasal 4.2.1 dengan menyesuaikan struktur bangunan pada sembilan tipe struktur gedung yang ada didalamnya. Selain dari sembilan tipe struktur yang diatur

maka dianggap struktur bangunan gedung adalah gedung tak beraturan. (Rachmat Purwono, 2005)

Konfigurasi struktur (beraturan atau tidak beraturan) menentukan analisis respons gempa struktur bangunan gedung. Hal ini diatur dalam SNI 03-1726-2002 pasal 4.2. Struktur gedung yang beraturan dapat dianalisis respons gempanya dengan cara beban statis ekuivalen. Sedangkan pada gedung yang tidak beraturan dilakukan analisis dinamis. (Rachmat Purwono, 2005)

2.6 Persyaratan Pendetailan

Konsep desain kapasitas hanya akan berhasil menjamin struktur berperilaku aman saat terjadi gempa kuat apabila disertai dengan pendetailan yang baik pada elemen-elemen struktur dan join-joinnya. Daerah-daerah sendi plastis perlu didetail secara khusus agar mampu berdeformasi inelastik cukup besar sesuai dengan daktilitas yang ditentukan. Namun daerah-daerah di luar sendi plastis harus tetap dalam kondisi elastis, tergantung dari intensitas gempa yang terjadi. Pada daerah-daerah di luar sendi plastis tidak perlu dilakukan pendetailan khusus. (Gideon Kusuma, 1993).

2.6.1 Komponen Lentur

Komponen-komponen lentur harus memenuhi persyaratan pada SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(1(1)) sampai dengan pasal 23.3(1(4)) agar penampangnya terbukti berkinerja baik. Tiap komponen harus cukup daktil dan cukup efisien mentransfer momen ke kolom. Kolom-kolom yang terkena momen dan hanya terkena beban aksial

terfaktor kurang dari $\frac{A_g f_c'}{10}$ boleh didesain sebagai komponen lentur. Syarat momen nominal minimal disebarkan penampang komponen lentur dinyatakan dalam momen nominal pada muka kolom. Syarat ini menjamin kekuatan dan daktilitas bila terjadi lateral displacement besar. (Rachmat Purwono, 2005)

Tabel 2.1 Persyaratan Komponen Lentur SRPMM

Keterangan	Peraturan	Uraian
Umum	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.8(2)	Beban aksial tekan terfaktor $\leq Ag f_c' / 10$
Penulangan	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.3(2(1))	Tulangan minimal harus sedikitnya $\frac{b_w d}{4 f_y} \sqrt{f_c'}$ dan $\frac{1,4 b_w d}{f_y}$ Pada tiap potongan atas dan bawah, kecuali ketentuan Ps. 12.5 (3) dipenuhi
	SNI 03-2847-2002 Pasal 12.5	Tulangan minimal hanya diadakan di potongan yang perlu tulangan tarik dari perhitungan analitis, kecuali sebagaimana ditentukan di Ps. 12.5(2), 12.5(3), dan 12.5(4)
	SNI 03-2847-2002 Pasal 12.3(3)	Rasio tulangan $\leq 0,75$
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(1))	Kuat momen positif di muka kolom $\geq 1/3$ kuat momen negatif di muka kolom.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 9.13	Pasang penulangan integritas struktur.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(1))	Di tiap potongan sepanjang komponen tidak boleh ada kuat momen negatif maupun positif yang kurang dari $1/5$ kuat momen maksimum yang terpasang di kedua muka kolom.
Sambungan lewatan (SL)	SNI 03-2847-2002 Pasal 9.11	SL harus diikat oleh sengkang sesuai Ps. 9.10(5)
Penulangan Pengekangan (<i>confinement</i>)	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(2))	Begel diperlukan sepanjang $2 d$ dari muka kolom pada dua ujung komponen lentur, dengan meletakkan begel pertama sejarak 50 mm dari muka kolom.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(2))	Begel juga diperlukan sepanjang $2 \times d$ di dua sisi potongan yang momen leleh mungkin timbul berkenaan dengan lateral displacement inelastic dari rangka.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(2))	Jarak maksimum s harus tidak melampaui $d/4$; $8 \times$ terkecil tulangan memanjang ; $24 \times$ begel ; dan 300 mm
	SNI 03-2847-2002 Pasal 9.13	Harus memenuhi tulangan khusus untuk integritas struktur biasa.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(4(3))	Begel harus dipasang dengan $s \leq d/2$ di sepanjang komponen.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(3)	Tulangan transversal harus pula dipasang untuk menahan gaya geser desain yang ditentukan pada pasal 23.10(3).

(Sumber : Rachmat Purwono, 2005)

2.6.2 Komponen Terkena Beban Lentur Aksial

Persyaratan berikut berlaku untuk kolom dari suatu rangka dan komponen lentur lainnya yang terkena beban aksial terfaktor $P_u > A_g f_c' / 10$. (Rachmat Purwono, 2005)

Tabel 2.2 Komponen Rangka Terkena Beban Lentur dan Aksial

Keterangan	Peraturan	Uraian
Umum	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10 (2)	Komponen rangka dalam klasifikasi ini harus memenuhi persyaratan berikut : Gaya aksial berfaktor $> \frac{A_g f_c'}{10}$
Penulangan Lentur	SNI 03-2847-2002 Pasal 12.9	Rasio tulangan harus : $0,01 \leq \rho_g \leq 0,08$
Sambungan Lewatan (SL)	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4(3(2))	Tidak ada pembatasan untuk lokasi SL, yang biasanya diletakkan di atas lantai untuk kesederhanaan pelaksanaan. Namun boleh saja diletakkan di lokasi seperti wilayah gempa 5 dan 6. Sambungan boleh klas A atau B dan harus menggunakan Tulangan transversal bila diantisipasi terkena beban bolak-balik.
Tulangan Transversal (TT)	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(5)	Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang l_o dari muka hubungan balok-kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi $\frac{1}{2}$ dimensi penampang terkecil ; $8 \times$ diameter terkecil tulangan longitudinal ; $24 \times$ diameter sengkang ikat (TT) ; dan 300 mm.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 12.9(3)	Rasio tulangan spiral harus tak boleh kurang dari : $\rho_s \geq 0,45 \left[\frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{f_c'}{f_{yh}}$, dan harus sesuai dengan ketentuan pasal 9.10(4).
	SNI 03-2847-2002 Pasal 9.10(5) dan Pasal 13.1	Tulangan transversal harus dipasang untuk memenuhi baik untuk persyaratan geser dan pendukung lateral untuk tulangan memanjang.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 9.10(5(3))	Tulangan vertikal tidak boleh berjarak lebih dari 150 mm dari tulangan yang didukung secara lateral.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 23.10(5(4))	Spasi sengkang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi 2 kali jarak (s_o) yang ditentukan pada pasal 23.10(5(1)) tersebut di atas.
	SNI 03-2847-2002 Pasal 13.5(4)	TT harus direncanakan untuk menahan kuat geser yang ditentukan pada pasal 23.10(3)

(Sumber : Rachmat Purwono, 2005)

2.6.3 Dinding Struktural Beton

Pada tabel 2.4 dimuat persyaratan untuk Dinding Struktural Beton yang berada pada wilayah gempa 3 dan 4, dimana dinding struktural beton yang berada pada wilayah gempa 3 dan 4 cukup didesain dengan ketentuan umum saja. (Rachmat Purwono, 2005)

Tabel 2.3 Persyaratan Dinding Struktural Beton (DSB)

Keterangan	Peraturan	Uraian
Penulangan	SNI 03-2847-2002 Pasal 16.3	Rasio minimum penulangan vertikal haruslah : - 0,0012 untuk batang \leq D16 - 0,0015 untuk batang ulir lainnya Rasio minimum penulangan horizontal haruslah : - 0,0020 untuk batang \leq D16 - 0,0025 untuk batang ulir lainnya
Komponen Batas	SNI 03-2847-2002 Pasal 16.3(4)	Pada dinding dengan ketebalan $>$ 250 mm perlu dipasang dua lapis tulangan, kecuali pada dinding ruang bawah tanah
	SNI 03-2847-2002	l_d , s, dan penjangkaran penulangan harus sesuai pasal 21.12, 21.14, dan 21.15

(Sumber : Rachmat Purwono, 2005)

2.6.4 Diafragma

Persyaratan diafragma adalah sama seperti pada persyaratan Dinding Struktural Beton. Rasio penulangan minimum untuk diafragma ditentukan pada pasal 9.12 SNI 03-2847-2002, dengan s maksimum 450 mm (pasal 23.6(2(1))). Ketentuan umum desain diafragma dicantumkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.7. (Rachmat Purwono, 2005)

2.6.5 Komponen Struktur yang Tidak Direncanakan untuk Memikul Beban Gempa

Komponen-komponen rangka perlu dijamin kestabilannya untuk memikul beban gravitasi akibat pergeseran lateral oleh beban gempa rencana. Persyaratan peendetailan untuk komponen struktur yang tidak direncanakan untuk memikul beban gempa tercantum pada SNI 03-2847-2002, yaitu : (Rachmat Purwono, 2005)

1. Jika memenuhi Pasal 23.9(2), maka berlaku ketentuan berikut

- Pada balok, yaitu komponen rangka dengan beban aksial berfaktor akibat beban gravitasi $\leq \frac{A_g f_c'}{10}$, harus memenuhi pasal 23.3(2(1)) dan harus dipasang sengkang dengan $s \leq d/2$ pada seluruh bentang (pasal 23.9(1(1))).
- Pada kolom, yaitu komponen rangka dengan beban aksial terfaktor akibat beban gravitasi $> \frac{A_g f_c'}{10}$, harus memenuhi pasal 23.4(3), 21.4(4(1c)),

21.4(4.3), dan 21.4(5). Spasi maksimum s_0 sepanjang tinggi kolom tidak boleh melebihi 6 diameter tulangan longitudinal terkecil dan 150 mm.

- Pada komponen struktur dengan gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi $> 0,35 P_0$ harus memenuhi pasal 23.9(2(2)) dan juga jumlah tulangan transversal \geq ketentuan pasal 23.4(4(1)) dan $s \leq s_0$ pada seluruh batangnya.

2. Jika memenuhi Pasal 23.9(2), maka berlaku ketentuan berikut

- Material harus memenuhi pasal 23.2(4) dan 21.2(5), sedangkan untuk sambungan harus memenuhi pasal 23.2(6) dan 23.2(7(1)).
- Pada balok harus dipenuhi ketentuan pasal 23.3(2(1)) dan 21.3(4). Selanjutnya s sepanjang balok tidak boleh $> d/2$.
- Pada kolom harus dipenuhi pasal 23.4(4), 21.4(5), dan (21.5(2(1)))

2.7 Gedung Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya

Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang merupakan struktur bangunan tinggi dengan dua bagian bangunan yang mempunyai ketinggian yang berbeda yaitu podium dan tower. Podium dibangun dengan ketinggian 4 lantai sedangkan tower dibangun 7 lantai. Pada dua bagian bangunan tidak dilakukan dilatasi sehingga dihubungkan menjadi satu kesatuan bangunan dengan balok ikat (connector beam). Untuk menjamin kekakuan bangunan agar dapat bekerja sesuai dengan perilaku yang diinginkan maka lantai bangunan diperkaku. (Anonimous, 2006)

Sistem struktur yang digunakan merupakan sistem ganda yang terdiri atas dinding geser dan portal terbuka. Portal direncanakan sebagai pemikul beban gravitasi serta maksimal 20% beban lateral (gempa). Sedangkan dinding geser direncanakan sebagai pemikul beban lateral yang dominan. Analisa beban gempa yang digunakan adalah analisa statik ekuivalen. (Anonimous, 2006)

2.8 Kesimpulan

Sistem ganda terdiri dari sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dan dinding geser beton bertulang. Penggabungan dua elemen struktur tersebut harus mampu menahan beban bersama-sama, terutama untuk menahan beban gempa yang dianalisis menggunakan analisis dinamis ragam spektrum respon. Sedangkan untuk beban gravitasi ditahan seluruhnya oleh SRPMM. Berdasarkan uraian diatas dengan menggunakan sistem ganda diharapkan mendapatkan dimensi yang lebih ekonomis

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Data Perencanaan

3.1.1 Data Umum Bangunan

Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang merupakan gedung perkuliahan yang berfungsi menambah sarana dan prasarana penelitian dalam bidang kedokteran sehingga dapat membantu para mahasiswa maupun dosennya untuk melakukan penelitian. Data-data lain mengenai gedung adalah sebagai berikut :

Nama Gedung : Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang

Lokasi : Jalan Veteran Malang

Fungsi : Gedung Perkuliahan

3.1.2 Data Teknis Bangunan

Struktur Gedung : Lantai 1 sampai dengan lantai 7 struktur beton bertulang, sedangkan atap menggunakan struktur baja.

Zone : Zone 4 (Malang)

Kondisi tanah : Tanah Lunak

Jumlah Lantai : 7 Lantai

Tinggi Bangunan : ± 37 m

3.1.3 Mutu Bahan yang digunakan

Tulangan yang dipakai direncanakan menggunakan tulangan deform yaitu tulangan yang memiliki bentuk permukaan tidak halus (bergerigi, berulir, dan lain-lain) yang diharapkan mampu memiliki daya lekat yang baik terhadap beton bila dibandingkan dengan tulangan polos. Adapun mutu bahan untuk konstruksi beton bertulang yang dipakai adalah sebagai berikut :

Mutu beton ($f'c$) = 20 MPa

Mutu tulangan polos (f_y) = U-24

Mutu tulangan ulir (f_y) = U-32

3.2 Tahapan Perencanaan

Secara garis besar perencanaan struktur Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang yang merupakan bangunan tahan gempa meliputi hal-hal sebagai berikut :

3.2.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan pada perencanaan Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Beban mati
- Beban hidup
- Beban gempa

Beban gempa untuk wilayah Malang berdasarkan SNI 03-1726-2002 termasuk dalam wilayah zona gempa 4.

Berdasarkan beban-beban tersebut maka struktur beton bertulang pada Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut ini :

$$U = 1,4 D$$

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

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

Keterangan :

D : beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen.

L : beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung.

A : beban atap.

R : beban hujan.

E : beban gempa.

3.2.2 Analisis Statika

Untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang (momen, gaya aksial, dan gaya geser) digunakan program STAAD Pro 2004.

3.2.3 Analisis Respon Dinamis

Kondisi Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang adalah sebagai berikut :

- Mempunyai loncatan bidang muka pada lantai 4 yang melebihi 0,25 kali ukuran terbesar bagian inti dari denah struktur.
- Denah struktur adalah persegi panjang, tetapi terdapat tonjolan yang melebihi 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.

Karena batasan-batasan di atas maka dalam perencanaan Tugas Akhir ini digunakan analisis dinamis untuk menghitung gaya pada struktur akibat gaya gempa. Adapun cara menganalisisnya yaitu dengan menggunakan Analisis Dinamis Ragam Spektrum Respon dengan menggunakan program bantu software STAAD Pro 2004.

3.2.4 Desain Penampang Beton Bertulang

Prinsip dasar yang digunakan untuk mendesain penampang beton bertulang pada Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang adalah dengan menggunakan metode kekuatan (strength design method) yaitu bahwa :

$$U \leq \phi R_n$$

Keterangan :

- Ø : faktor reduksi
U : Momen dan Beban Ultimit
R_n : Kapasitas Penampang

3.2.5 Gambar Struktur

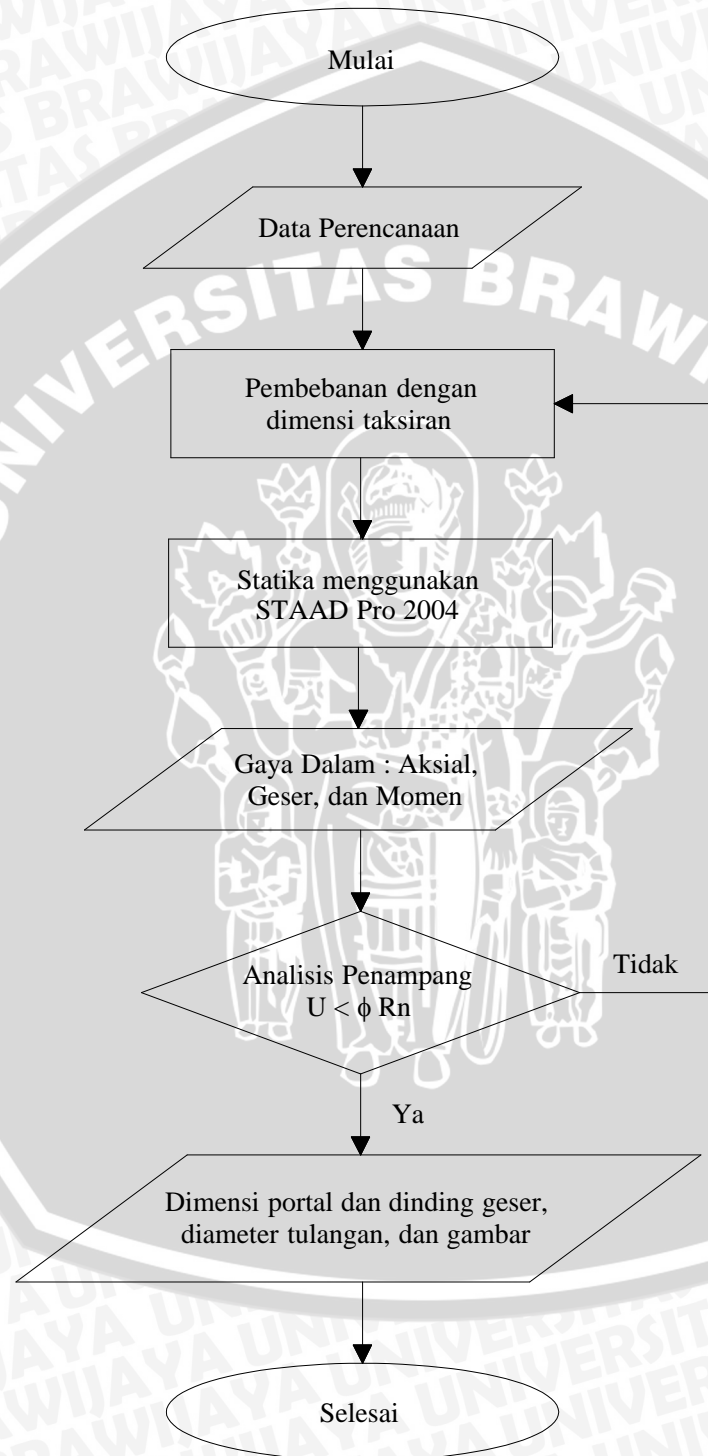
Portal yang didetail yaitu portal melintang Line 13 dan Line 17 serta portal memanjang Line H. Gambar detail desain struktur balok, kolom, dan dinding geser.

3.3 Hasil Perencanaan

Adapun besaran perencanaan yang diamati sebagai berikut :

1. Dimensi dan penulangan elemen struktur yang meliputi balok, kolom dan dinding geser pada portal melintang sistem ganda Line 17.
2. Dimensi dan penulangan elemen struktur yang meliputi balok dan kolom pada portal melintang SRPMM Line 13 dan portal memanjang SRPMM Line H.

3.4 Diagram Alir Perencanaan







BAB IV HASIL PERHITUNGAN

4.1 Data Struktur

4.1.1 Data Bangunan

- Nama Gedung : Gedung Pusat Pendidikan Fakultas Kedokteran
Universitas Brawijaya Malang
- Lokasi Gedung : Jalan Veteran Malang
- Fungsi Bangunan : Gedung Kuliah
- Jumlah Lantai : 7 lantai
- Bentang Melintang : ± 40 meter
- Bentang Memanjang : ± 60 meter
- Zona Gempa : Zona 4

4.1.2 Data Pembebanan

4.1.2.1 Data Beban Mati

Sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987 maka beban mati diatur sebagai berikut :

- Berat spesi per cm tebal = 21 kg/m^2
- Berat tegel per cm tebal = 13 kg/m^2
- Berat plafond + rangka penggantung = $(11 + 7) = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat pasangan bata merah $\frac{1}{2}$ batu = 250 kg/m^2
- Berat isi beton = 2400 kg/m^3

4.1.2.2 Data Beban Hidup

Sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1987 maka beban hidup diatur sebagai berikut :

- Ruang Kuliah = 250 kg/m^2
- Ruang Rapat / Ruang Pagelaran = 400 kg/m^2
- Tangga den Lorong Ruang Kuliah = 300 kg/m^2
- Tangga den Lorong Ruang Pagelaran = 500 kg/m^2
- Ruang Pelengkap = 250 kg/m^2
- Ruang Alat – Alat dan Mesin = 400 kg/m^2
- Balkon = 300 kg/m^2

- Beban Guna Atap = 100 kg/m²

4.1.3 Data Material

Dalam perencanaan gedung kedokteran ini digunakan mutu bahan sebagai berikut :

- Kuat tekan beton (f_c') = 20 MPa
- Modulus elastisitas baja (E_{baja}) = 200000 MPa
- Tegangan leleh tulangan Ulir (f_y) = 320 MPa
- Tegangan leleh tulangan Polos (f_y) = 240 MPa

4.2 Perencanaan Dimensi

4.2.1 Dimensi Pelat

- Pelat Atap = 10 cm
- Pelat Lantai = 12 cm

4.2.2 Dimensi Balok

4.2.2.1 Balok Tipe 1

Bentang $L = 8 \text{ m} = 800 \text{ cm}$

- $h_{\max} = 1/10 L = 1/10 \times 800 = 80 \text{ cm}$
- $h_{\min} = 1/15 L = 1/15 \times 800 = 53 \text{ cm}$

Diambil $h = 60 \text{ cm}$

- $b_{\max} = 2/3 h = 2/3 \times 60 = 40 \text{ cm}$
- $b_{\min} = 1/2 h = 1/2 \times 60 = 30 \text{ cm}$

Diambil $b = 40 \text{ cm}$

Maka dimensi balok tipe 1 untuk bentang 8 m direncanakan 40/60

- $b_{\text{eff}} = 1/4 L = 1/4 \cdot 8000 = 2000 \text{ mm}$
- $b_{\text{eff}} = b_w + (8 \times hf_{\text{kiri}}) + (8 \times hf_{\text{kanan}})$
 $= 400 + (8 \times 120) + (8 \times 120) = 2320 \text{ mm}$
- $b_{\text{eff}} = b_w + (1/2 \times L_{n_{\text{kiri}}}) + (1/2 \times L_{n_{\text{kanan}}})$
 $= 400 + (1/2 \times 4000) + (8 \times 4000) = 4400 \text{ mm}$

dipakai nilai b_{eff} terkecil yaitu = 2000 mm

4.2.2.2 Balok Tipe 2

Bentang $L = 5 \text{ m} = 500 \text{ cm}$

- $h_{\max} = 1/10 L = 1/10 \times 500 = 50 \text{ cm}$
- $h_{\min} = 1/15 L = 1/15 \times 500 = 33 \text{ cm}$

Diambil $h = 50$ cm

$$- b_{\max} = 2/3 h = 2/3 \times 50 = 33 \text{ cm}$$

$$- b_{\min} = 1/2 h = 1/2 \times 50 = 25 \text{ cm}$$

Diambil $b = 30$ cm

Maka dimensi balok tipe 2 untuk bentang 5 m direncanakan 30/50

$$- b_{\text{eff}} = 1/4 L = 1/4 \cdot 5000 = 1250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} - b_{\text{eff}} &= b_w + (8 \times hf_{\text{kiri}}) + (8 \times hf_{\text{kanan}}) \\ &= 300 + (8 \times 120) + (8 \times 120) = 2220 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - b_{\text{eff}} &= b_w + (1/2 \times L_{n_{\text{kiri}}}) + (1/2 \times L_{n_{\text{kanan}}}) \\ &= 300 + (1/2 \times 4000) + (8 \times 4000) = 4300 \text{ mm} \end{aligned}$$

dipakai nilai b_{eff} terkecil yaitu = 1250 mm

4.2.2.3 Balok Tipe 3

Bentang $L = 4$ m = 400 cm

$$- h_{\max} = 1/10 L = 1/10 \times 400 = 40 \text{ cm}$$

$$- h_{\min} = 1/15 L = 1/15 \times 400 = 27 \text{ cm}$$

Diambil $h = 40$ cm

$$- b_{\max} = 2/3 h = 2/3 \times 40 = 27 \text{ cm}$$

$$- b_{\min} = 1/2 h = 1/2 \times 40 = 20 \text{ cm}$$

Diambil $b = 25$ cm

Maka dimensi balok tipe 3 untuk bentang 4 m direncanakan 25/40

$$- b_{\text{eff}} = 1/4 L = 1/4 \cdot 4000 = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} - b_{\text{eff}} &= b_w + (8 \times hf_{\text{kiri}}) + (8 \times hf_{\text{kanan}}) \\ &= 250 + (8 \times 120) + (8 \times 120) = 2170 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - b_{\text{eff}} &= b_w + (1/2 \times L_{n_{\text{kiri}}}) + (1/2 \times L_{n_{\text{kanan}}}) \\ &= 250 + (1/2 \times 3000) + (8 \times 3000) = 3250 \text{ mm} \end{aligned}$$

dipakai nilai b_{eff} terkecil yaitu = 1000 mm

4.2.3 Dimensi Kolom

Syarat dimensi kolom : $b_{\text{kolom}} \geq b_{\text{balok}}$

$$- \text{Kolom 1 (K1) direncanakan} : \varnothing 60 \text{ cm}$$

$$- \text{Kolom 2 (K2) direncanakan} : 60/140 \text{ cm}$$

$$- \text{Kolom 3 (K3) direncanakan} : 50/70 \text{ cm}$$

$$- \text{Kolom 4 (K4) direncanakan} : 30/30 \text{ cm}$$

4.2.4 Dimensi Dinding Geser

- Tebal Dinding Geser 1 (lantai 1 & 2) direncanakan : 25 cm
- Tebal Dinding Geser 2 (lantai 3 & 4) direncanakan : 22,5 cm
- Tebal Dinding Geser 3 (lantai 5, 6 & 7) direncanakan : 20 cm

4.3 Perhitungan Pembebanan

4.3.1 Pembebanan Rangka Atap Baja

4.3.1.1 Beban Mati

- Reng + Usuk = 50 kg/m²
- Genteng Beton = 30 kg/m²

4.3.1.2 Beban Hidup

- Beban Guna Atap = 100 kg

4.3.1.3 Reaksi pada Rangka Atap

Dari perhitungan program bantu *STAAD Pro* didapatkan reaksi sebagai berikut :

- Tumpuan sendi A = 18677 kg
- Tumpuan sendi B = 7665,183 kg
- Tumpuan sendi C = 11210,09 kg
- Tumpuan sendi D = 11597,74 kg
- Tumpuan rol = 18671,95 kg

4.3.2 Pembebanan Pelat

4.3.2.1 Beban Mati Pelat Lantai

- Berat sendiri = $0,12 \times 2400$ = 288 kg/m²
- Berat spesi = 2×21 = 42 kg/m²
- Berat keramik = 1×13 = 13 kg/m²
- Berat plafond & eternit = 18 kg/m²
- = 361 kg/m²

4.3.2.2 Beban Mati Pelat Atap

- Berat sendiri = $0,10 \times 2400$ = 240 kg/m²
- Berat plafond & eternit = 18 kg/m²
- = 258 kg/m²

4.3.2.3 Beban Hidup Pelat Lantai dan Pelat Atap

Beban Hidup pelat lantai dan pelat atap diatur dalam bab 4.1.2.2

4.4 Perhitungan Massa dan Pusat Massa Bangunan

4.4.1 Massa Bangunan

Perhitungan massa bangunan digunakan sebagai beban gempa yang akan bekerja pada pusat massa bangunan.

Tabel 4.1. Massa Bangunan

	Beban Mati (kg)	Beban Hidup (kg)	Reduksi Beban Hidup 50%	Beban Kombinasi 1,2 D + 1,6 L
LANTAI 2	1829430.217	359605.54	179802.77	2483000.693
LANTAI 3	1487486.714	391975.54	195987.77	2098564.489
LANTAI 4	1465880.314	378529.92	189264.96	2061880.313
LANTAI 5	1362455.094	327744.86	163872.43	1897142
LANTAI 6	1176595.057	457544.7	228772.35	1777949.828
LANTAI 7	1047986.365	75870	37935	1318279.638
ATAP	166996.698	17600	8800	214476.0376

4.4.2 Pusat Massa Bangunan

Pusat massa bangunan merupakan pusat dimana beban gempa akan bekerja. Pusat massa tiap lantai biasanya letaknya berbeda – beda sesuai dengan fungsi dari tiap lantai tersebut.

Tabel 4.2. Pusat Massa Bangunan

	Arah Memanjang dari Sumbu Y (line 12)	Arah Melintang dari Sumbu X (antara line I dan line H)
LANTAI 2	0,535 m	2,7085 m
LANTAI 3	0,535 m	2,331 m
LANTAI 4	0,535 m	3,097 m
LANTAI 5	0,0222 m	2,116 m
LANTAI 6	- 0,616 m	0,616 m
LANTAI 7	-2,57 m	1,753 m
ATAP	0	6,707 m

4.5 Perhitungan Kekakuan Struktur

Perhitungan kekakuan struktur dilakukan untuk mengetahui berapa persen beban gempa yang ditahan oleh sistem ganda dan berapa persen beban gempa yang ditahan oleh sistem rangka pemikul momen.

4.5.1 Arah Melintang Bangunan

Tabel 4.3. Kekakuan Struktur Arah Melintang Bangunan

	Prosentase (%)	
	SG	SRPMM
Lantai 1	76.401	23.599
Lantai 2	76.549	23.451
Lantai 3	77.480	22.549
Lantai 4	77.864	22.136
Lantai 5	77.480	22.520
Lantai 6	77.451	22.549
Lantai 7	99.511	0.489

4.5.2 Arah Memanjang Bangunan

Tabel 4.4. Kekakuan Struktur Arah Memanjang Bangunan

	Prosentase (%)	
	SG	SRPMM
Lantai 1	80.242	19.758
Lantai 2	80.884	19.116
Lantai 3	81.910	18.090
Lantai 4	81.910	18.090
Lantai 5	84.196	15.804
Lantai 6	85.421	14.579
Lantai 7	98.073	1.927

4.6 Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit

Batas :

$$\zeta = 0,17 \quad (\text{wilayah gempa 4})$$

$$R = 6,5 \quad (\text{Dinding geser beton bertulang dengan SRPMM Beton bertulang})$$

$$h_i = 4200 \text{ mm} \quad (\text{jarak antar lantai})$$

$$\begin{aligned} \text{Drift } \Delta_s &= (0,03 / R) \times h_i \\ &= (0,03 / 6,5) \times 4200 \\ &= 19,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Drift } \Delta m &= 0,02 \times h_i \\
 &= 0,02 \times 4200 \\
 &= 84 \text{ mm} \\
 \Delta m &= \zeta \times R \times \Delta s
 \end{aligned}$$

Tabel 4.5. Kinerja Batas Layan dan Batas Ultimit

Lantai	Arah U - S dan Arah B - T					
	Δs	Drift Δs	Cek	Δm	Drift Δm	Cek
Atap	12.61	2.591	OK	13.93	2.86306	OK
7	10.019	-2.63	OK	11.07	-2.90615	OK
6	12.649	5.603	OK	13.98	6.19132	OK
5	7.046	-1.767	OK	7.786	-1.95254	OK
4	8.813	2.395	OK	9.738	2.64648	OK
3	6.418	0.75	OK	7.092	0.82875	OK
2	5.668	5.668	OK	6.263	6.26314	OK

4.7 Desain Penulangan Struktur

4.7.1 Arah Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17)

4.7.1.1 Balok

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem ganda pada balok lantai 2 line C - H

$$\text{Momen Tumpuan (Mu)} = -14900 \text{ kgm} = -149000000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen Lapangan (Mu)} = 6890 \text{ kgm} = 68900000 \text{ Nmm}$$

$$V_u \text{ max}^+ = 10900 \text{ kg} = 109000 \text{ N}$$

$$V_u \text{ max}^- = 976,54 \text{ kg} = 9765,4 \text{ N}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 300 \times 500 \text{ mm}$$

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

$$B_{eff} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (p)} = 40 \text{ mm}$$

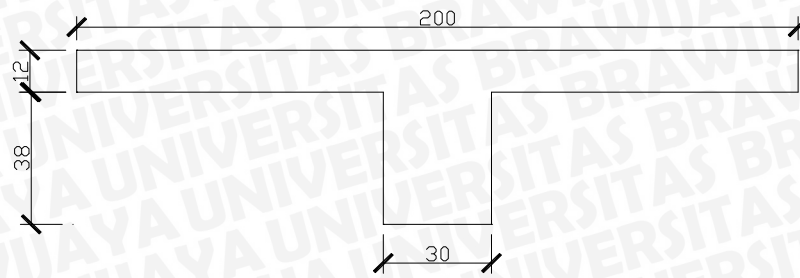
$$\text{Bentang bersih (Ln)} = 8000 \text{ mm}$$

$$E \text{ baja} = 200000 \text{ MPa}$$

Tulangan direncanakan

$$\text{- tulangan utama} = D - 16 \text{ mm}$$

$$\text{- tulangan geser} = D - 8 \text{ mm}$$



Gambar 4.1. Penampang Balok T portal melintang sistem ganda line C-H

Tinggi efektif balok

$$\begin{aligned} d &= h - p - d \text{ tul.geser} - 1/2 d \text{ tul.utama} \\ &= 500 - 40 - 8 - 0.5 \times 16 \\ &= 444 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = 56 \text{ mm}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{68900000}{0,8} = 86125000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{86125000}{0,8 \times 300 \times 444^2}$$

$$= \frac{86125000}{47312640}$$

$$= 1,82 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{\phi f_c'}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 20}$$

$$= 18.82352941$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0.004375$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,022087296$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 1,82}{320}} \right)$$

$$= 0,00603 > 0,004375$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00603 \times 300 \times 444$$

$$= 803,313 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 803,313$$

$$= 401,656 \text{ mm}^2$$

Coba :

Maka digunakan

$$\begin{aligned} \text{- Tulangan bawah} &= 4 D - 16 (A_s = 804,25 \text{ mm}^2) \\ \text{- Tulangan atas} &= 2 D - 16 (A_s' = 402,12 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Cek Momen kapasitas

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f'_c b a \\ &= 0,85 \times 20 \times 2000 \times a \\ &= 28900 c \\ C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= A_s' \times \epsilon_s \times E_s \\ &= A_s' \times 0,003 \times \frac{c - d'}{c} \times 200000 \\ &= 402,12 \times 0,003 \times \frac{c - 56}{c} \times 200000 \\ &= 241274,3158 \times \frac{c - 56}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 804,25 \times 320 \\ &= 257359,2702 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$257359,27 = 28900 c + 241274,3158 \times \frac{c-56}{c}$$

$$257359,27 = 28900 c + 241274,3158 - \frac{13511361,68}{c}$$

$$0 = 28900 c^2 + -16084,95439 c - 13511361,68$$

Maka didapat $c = 21,9 < 56 \text{ mm}$

(karena $c < d'$, maka hanya dilakukan analisa pada tulangan tarik saja)

$$T = C_c$$

$$257359,27 = 28900 c$$

$$c = 8,905 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times 8,905$$

$$= 7,569 \text{ mm}$$

$$M_n = T (d - a/2)$$

$$= 257359,27 \times 444 - 3,785$$

$$= 113293489,6 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 90634791,66 \text{ Nmm} > 68900000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{68900000}{90634791,66} = 0,76$$

Analisa Tulangan Tumpuan

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{149000000}{0,8} = 186250000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{186250000}{0,8 \times 300 \times 444^2}$$

$$= \frac{186250000}{47312640}$$

$$= 3,937 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{\phi f_c'}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 20}$$

$$= 18,82352941$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320} \\ &= 0,022087296 \end{aligned}$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 3,936}{320}} \right) \\ &= 0,0142 > 0,004375 \end{aligned}$$

$A_s = \rho \times b \times d$

$$\begin{aligned} &= 0,0142 \times 300 \times 444 \\ &= 1891,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s' = 0,5 \times A_s$

$$\begin{aligned} &= 0,5 \times 1891,37 \\ &= 945,648 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Coba :

- Tulangan atas $= 10 D - 16$ ($A_s = 2010,62 \text{ mm}^2$)
- Tulangan bawah $= 5 D - 16$ ($A_s' = 1005,31 \text{ mm}^2$)

Cek Momen kapasitas

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' b a \\ &= 0,85 \times 20 \times 300 \times a \\ &= 4335 c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= A_s' \times \epsilon_s \times E_s \\ &= A_s' \times 0,003 \times \frac{c-d'}{c} \times 200000 \\ &= 1005,31 \times 0,003 \times \frac{c-56}{c} \times 200000 \end{aligned}$$

$$= 603186 \times \frac{c-56}{c}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 2010,62 \times 320 \\ &= 643398 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$643398 = 4335 c + 603186 \times \frac{c-56}{c}$$

$$643398 = 4335 c + 603186 - \frac{33778404,21}{c}$$

$$0 = 4335 c^2 + -40212,39 c - 33778404,21$$

$$\text{Maka didapat } c = 93,0323 < 56 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \times 93,0323 \\ &= 79,0774 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T (d - a/2) \\ &= 643398 \times (444 - 79,0774/2) \\ &= 260229647,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 260229647,8 \text{ Nmm} > 149000000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{Mu}{\phi Mn} = \frac{149000000}{90634791,66} = 0,716$$

Analisa Tulangan Geser

Pada perhitungan tulangan geser untuk struktur tahan gempa ada 2 macam, yaitu tulangan geser yang berada di dalam sendi plastis dan tulangan geser yang berada diluar sendi plastis. Daerah yang memiliki kemungkinan terjadinya sendi plastis adalah daerah sejauh 2h dari ujung balok yang ditinjau.

Tulangan geser di dalam sendi plastis

Gaya geser sejauh 2h yaitu :

$$\begin{aligned} V_u (2h) &= \frac{1000}{5000} \times 109000 \\ &= 21800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 1/6 \sqrt{20} \times 300 \times 444 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 99281,4182 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,6 \times 99281,4182 \\
 &= 59568,85092 \text{ N} \\
 V_u (2h) \text{ pakai} &= 27250 \text{ N} < \phi V_c \\
 &\text{maka dipasang sengkang praktis } \phi 8 - 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan geser di luar sendi plastis

Gaya geser sejauh ln-2h yaitu :

$$\begin{aligned}
 V_u (2h) &= 9765,4 \text{ N} \\
 V_c &= 1/6 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 1/6 \sqrt{20} \times 300 \times 444 \\
 &= 99281,42 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,6 \times 99281,42 \\
 &= 59568,85 \text{ N} \\
 V_u (2h) \text{ pakai} &= 9765,4 \text{ N} < \phi V_c \\
 &\text{maka dipasang sengkang praktis } \phi 8 - 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

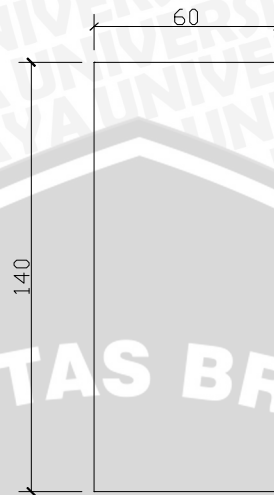
4.7.1.2 Kolom

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem ganda pada kolom lantai 1 line U

$$\begin{aligned}
 \text{Muxa} &= 133000000 \text{ Nmm} \\
 \text{Muza} &= 57600000 \text{ Nmm} \\
 \text{Mua} &= 144937089,8 \text{ Nmm} \\
 P_u &= 3520000 \text{ N} \\
 V_{ux} &= 2560 \text{ N} \\
 V_{uz} &= 5880 \text{ N} \\
 V_u &= 64131,2 \text{ N} \\
 \text{Dimensi Kolom} &= 600 \times 1400 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton (p)} &= 40 \text{ mm} \\
 L \text{ kolom} &= 4500 \text{ mm} \\
 E \text{ baja} &= 200000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tulangan direncanakan

- tulangan utama = D - 20 mm
- tulangan geser = D - 10 mm



Gambar 4.2. Penampang Kolom portal melintang sistem ganda line U

Analisa Tulangan Utama Kolom

Digunakan kolom pendek 4 sisi

$$A_{gr} = 600 \times 1400 = 840000 \text{ mm}^2$$

Coba Ratio luas tulangan : $A_{st \text{ min}} = 1\%$ (SNI 2847 pasal 12.9)

$$\begin{aligned} A_s = A_s' &= 0,01 \times A_{gr} \\ &= 0,01 \times 840000 \\ &= 8400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 28 D - 20 (8796,46 mm²)

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{0,85 f_c' \phi A_{gr}} &= \frac{3520000}{0,85 \times 20 \times 0,65 \times 840000} \\ &= 0,379 > 0,1 \text{ dipakai nilai } \phi = 0,65 \end{aligned}$$

$$P_n = \frac{3520000}{0,65} = 5415384,615 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{144937089,8}{0,8} = 181171362,3 \text{ Nmm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{181171362,3}{5415384,615} = 33,45 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= 15 + 0,03 h \\ &= 15 + 0,03 \times 1400 \end{aligned}$$

$$= 57 \text{ mm}$$

$$\text{Cek} : 57 > 13,65$$

karena $e < e_{\min}$ maka seluruh tulangan mengalami tekan

$$\begin{aligned} \phi P_n(\text{maks}) &= 0,8 \phi 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (\text{SNI 2847 pasal 12.3.5.1}) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 20 \times (840000 - 8796,46) + (320 \times 796,46) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 16945327,21 \\ &= 9362293,282 \text{ N} > 3520000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = \frac{3520000}{9362293,282} = 0,399$$

Analisa Tulangan Geser Kolom

Jarak untuk lokasi sengkang pada sendi plastis

$$l_o < h = 1400 \text{ mm}$$

$$l_o < 1/6 l_n = 750 \text{ mm}$$

$$l_o < 500 \text{ mm}$$

Maka dipakai l_o yang terbesar = 1400 mm

Gaya geser rencana (V_e) gunakan rumus :

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{2 \times M_{u_a}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 59115565}{4500} \\ &= 26273,58435 \text{ N} < 64131 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser rencana (V_u) gunakan rumus :

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_n} \\ &= \frac{90947022,75 + 90947023}{4500} \\ &= 40420,899 \text{ N} > 26274 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka dipakai $V_u = 40420,899 \text{ N}$

Kontrol beban aksial terfaktor $> 3520000 \text{ N}$

$$\begin{aligned} A_g \cdot f_c / 10 &= 840000 \times 2 \\ &= 1680000 \text{ N} < 3520000 \text{ N} \end{aligned}$$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh beton $V_c = 0$

Tulangan geser pada sendi plastis

Syarat spasi minimum

$$- 6 \times \text{Diameter tul. Utama} = 6 \times 20 = 120 \quad \text{mm}$$

$$- 1/4 \times h = 0,25 \times 1400 = 350 \quad \text{mm}$$

$$= 150 \quad \text{mm}$$

Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 100$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh baja :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 1340}{100}$$

$$= 252456 \text{ N}$$

Kontrol :

$$V_u \leq \varnothing (V_c + V_s)$$

$$40420,899 \leq 0,75 (0 + 210380)$$

$$40420,899 \leq 189342 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi sengkang $\varnothing 10 - 100$ dapat dipakai**Tulangan geser diluar sendi plastis**Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 200$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 A_g}\right) \times \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b d\right)$$

$$= \left(1 + \frac{3520000}{14 \times 840000}\right) \times \left(\frac{1}{6} \sqrt{20} \times 600 \times 1344\right)$$

$$= 778638,4193 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 1344}{200}$$

$$= 126228 \text{ N}$$

Kontrol :

$$V_u \leq \varnothing (V_c + V_s)$$

$$40420,899 \leq 0,75 (778638.4193 + 126228)$$

$$40420,899 \leq 678649,8 \dots\dots\text{Ok}$$

Jadi sengkang $\varnothing 10 - 200$ dapat dipakai

4.7.1.3 Dinding Geser

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem ganda pada dinding geser lantai 1

$$M_{ux} = 236,855 \text{ kgm/m}$$

$$M_{uy} = 43,932 \text{ kgm/m}$$

$$M_{ux} = 1894,84 \text{ kgm} = 18948400 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 351,46 \text{ kgm} = 3514560 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 19271585,16 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{vu} = 5,785 \text{ kg/cm}^2 = 0,5785 \text{ N/mm}^2$$

$$V_u = 1157000 \text{ N}$$

$$\sigma_{p_{ux}} = 40,696 \text{ kg/cm}^2 = 4,0696 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{p_{uz}} = 5,628 \text{ kg/cm}^2 = 0,5628 \text{ N/mm}^2$$

$$P_u = 8182886,433 \text{ N}$$

$$\text{Dimensi Dinding Geser} = 250 \times 8000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (p)} = 40 \text{ mm}$$

$$L \text{ dinding geser} = 4500 \text{ mm}$$

$$E \text{ baja} = 200000 \text{ MPa}$$

Tulangan direncanakan

$$- \text{ tulangan utama} = D - 20 \text{ mm}$$

$$- \text{ tulangan geser} = D - 10 \text{ mm}$$

Cek ketebalan dinding

$$d = 0,81 l_w$$

$$= 0,81 \times 8000 = 6480 \text{ mm}$$

$$Ac_v = 250 \times 6480 = 1620000 \text{ mm}^2$$

Ketentuan khusus untuk dinding SNI 2847 pasal 13.10

Batas kuat geser DS adalah sebesar :

$$V_n = 5/6 \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 5/6 \times 4,472 \times 250 \times 6480$$

$$= 6037383,54 \text{ N} > 1157000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 1/4 \sqrt{f_c'} x b x d + \left(\frac{P_u d}{4 l w} \right) \\
 &= 1/4 \sqrt{20} x 250 x 6480 + \left(\frac{8182886,43 x 6480}{4 x 8000} \right) \\
 &= 3468249,564 \text{ N} \\
 \phi V_c / 2 &= 953768,6302 \text{ N} < 1157000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan geser dihitung sesuai dengan pasal 13.10(9)

Diperlukan 2 lapis tulangan dinding ini. Dan harus diatur bahwa s tulangan diarah vertikal dan horisontal harus tidak boleh kurang dari $s \leq 450 \text{ mm}$

Analisis tulangan geser horisontal

$$\begin{aligned}
 \text{Dicoba:} & 2 \phi 10 - 450 \text{ mm} \\
 A_h &= 2 x 1/4 x 3,14 x 10^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 V_s &= \frac{A_h x f_y x d}{s} \\
 &= \frac{0,25 x 3,14 x 10^2 x 240 x 6480}{450} \\
 &= 542867,2105 \text{ N} \\
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 3468249,564 + 542867,2105 \\
 &= 4011116,775 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 2206114,226 \text{ N} > 1157000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Analisis tulangan geser vertikal

$$\begin{aligned}
 \text{Dicoba:} & 2 \phi 10 - 450 \text{ mm} \\
 \rho_n &= \frac{2 x 1/4 x 3,14 x 10^2}{250 x 450} \\
 &= 0,000698 < 0,0025 \\
 \rho_n &= 0,0025 \text{ (SNI 2847 pasal 13.10.9.2)} \\
 V_n &= A_{cv} \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1620000 \left(\frac{1}{6} \sqrt{20} + 0,0025 \times 240 \right) \\
 &= 2179476,708 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 1198712,189 \text{ N} > 1157000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Analisis tulangan lentur vertikal

$$\begin{aligned}
 b_l &= 0,1 l_w \\
 &= 800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_{gr} = 250 \times 800 = 2000000 \text{ mm}^2$$

Coba Ratio luas tulangan : Ast min = 1 % (SNI 2847 pasal 12.9)

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_s' = 0,01 \times A_{gr} \\
 &= 0,01 \times 20000000 \\
 &= 20000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 68 D - 20 (21362,83 mm²)

$$\begin{aligned}
 \frac{P_u}{0,85 f_c' \phi A_{gr}} &= \frac{8182886,433}{0,85 \times 20 \times 0,65 \times 2000000} \\
 &= 0,37 > 0,1 \text{ maka dipakai nilai } \phi = 0,65
 \end{aligned}$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{8182886,433}{0,65} = 12589056,1 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{19271585,16}{0,65} = 29648592,6 \text{ Nmm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{29648592,6}{12589056,1} = 2,355 \text{ mm}$$

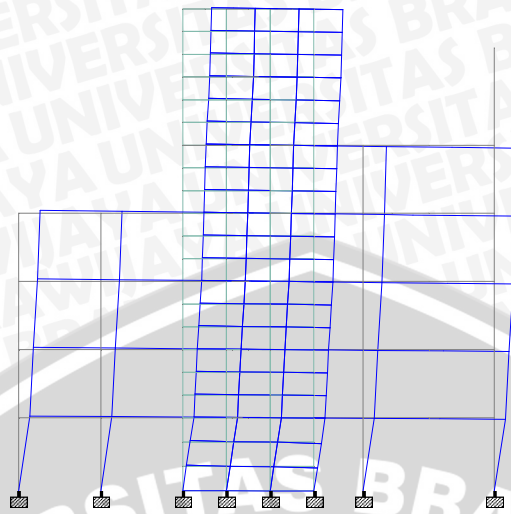
$$\begin{aligned}
 e_{\min} &= 15 + 0,03 l_w \\
 &= 15 + 0,03 \times 8000 \\
 &= 255 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } 255 > 2,355$$

karena $e < e_{\min}$ maka seluruh tulangan mengalami tekan

$$\begin{aligned}
 \phi P_n(\text{maks}) &= 0,8 \phi 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \text{ (SNI 2847 pasal 12.3.5.1)} \\
 &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 20 \times (2000000 - 20000) + (320 \times 20000) \\
 &= 20847931,77 \text{ N} > 8182886,433 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{8182886,433}{20847931,77} = 0,39$$



Gambar 4.3. Contoh Mode Getar Portal Line 17

4.7.2 Arah Melintang Portal Sistem Rangka Pemikul Momen (Line 13)

4.7.2.1 Balok

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem rangka pemikul momen menengah pada balok lantai 4 line U – R

$$\text{Momen Tumpuan (Mu)} = -40300 \text{ kgm} = -403000000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen Lapangan (Mu)} = 18700 \text{ kgm} = 187000000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Vu max}^+ = 26300 \text{ kg} = 263000 \text{ N}$$

$$\text{Vu max}^- = 26300 \text{ kg} = 263000 \text{ N}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

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

$$\text{Beff} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (p)} = 40 \text{ mm}$$

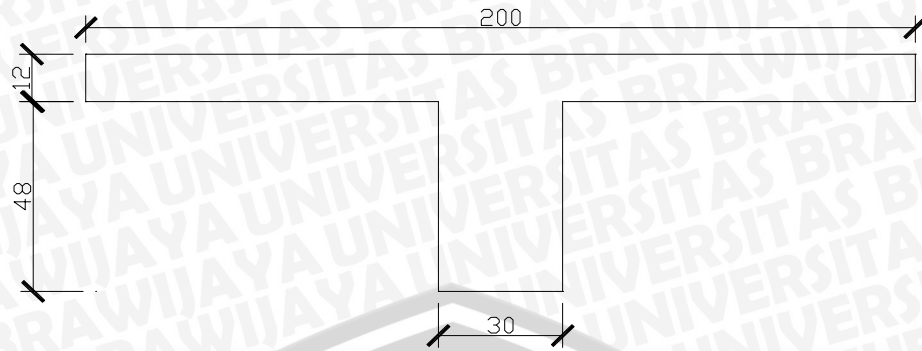
$$\text{Bentang bersih (Ln)} = 10000 \text{ mm}$$

$$\text{E baja} = 200000 \text{ MPa}$$

Tulangan direncanakan

$$\text{- tulangan utama} = D - 20 \text{ mm}$$

$$\text{- tulangan geser} = D - 8 \text{ mm}$$



Gambar 4.4. Penampang Balok T portal melintang SRPMM line U-R

Tinggi efektif balok

$$d = h - p - d \text{ tul.geser} - 1/2 d \text{ tul.utama}$$

$$= 600 - 40 - 8 - 0,5 \times 20 = 542 \text{ mm}$$

$$d' = 58 \text{ mm}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{187000000}{0,8} = 233750000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{233750000}{0,8 \times 400 \times 542^2}$$

$$= \frac{233750000}{94004480}$$

$$= 2,487 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{\phi fc'}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 20}$$

$$= 18,82352941$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot fc'}{fy} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + fy}$$



$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,022087296$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 2,487}{320}} \right)$$

$$= 0,00844 > 0,004375$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00844 \times 400 \times 542$$

$$= 1830,05 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 1830,05$$

$$= 915,026 \text{ mm}^2$$

Coba :

Maka digunakan

$$\begin{aligned} \text{- Tulangan bawah} &= 6 D - 20 \text{ (} A_s = 1884,96 \text{ mm}^2 \text{)} \\ \text{- Tulangan atas} &= 3 D - 20 \text{ (} A_s' = 942,48 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Cek Momen kapasitas

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c b a \\ &= 0,85 \times 20 \times 2500 \times a \\ &= 36125 c \\ C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= A_s' \times \epsilon_s \times E_s \\ &= A_s' \times 0,003 \times \frac{c - d'}{c} \times 200000 \\ &= 942,48 \times 0,003 \times \frac{c - 58}{c} \times 200000 \\ &= 565487 \times \frac{c - 58}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 1884,96 \times 320 \\ &= 603186 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$603186 = 36125 c + 565487 x \frac{c-58}{c}$$

$$603186 = 36125 c + 565487 - \frac{32798227,3}{c}$$

$$0 = 36125 c^2 + -37699,11 c - 32798227,3$$

Maka didapat $c = 30,6578 < 58 \text{ mm}$

(karena $c < d'$, maka hanya dilakukan analisa pada tulangan tarik saja)

$$T = Cc$$

$$603186 = 36125 c$$

$$c = 16,6972 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \times 16,6972$$

$$= 14,19 \text{ mm}$$

$$Mn = T (d - a/2)$$

$$= 603186 \times (542 - 7,1)$$

$$= 322646308,5 \text{ Nmm}$$

$$\phi Mn = 258117046,8 \text{ Nmm} > 187000000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{Mu}{\phi Mn} = \frac{258117046,8}{187000000} = 0,72$$

Analisa Tulangan Tumpuan

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{403000000}{0,8} = 503750000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{503750000}{0,8 \times 400 \times 542^2}$$

$$= \frac{186250000}{94004480}$$

$$= 5,36 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{\phi fc'}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 20}$$

$$= 18,82352941$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320} \\ &= 0,022087296\end{aligned}$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 5,36}{320}} \right) \\ &= 0,02083 > 0,004375\end{aligned}$$

$A_s = \rho \times b \times d$

$$= 0,02083 \times 400 \times 542$$

$$= 4515,9 \text{ mm}^2$$

$A_s' = 0,5 \times A_s$

$$= 0,5 \times 4515,9$$

$$= 2257,95 \text{ mm}^2$$

Coba :

- Tulangan atas $= 15 D - 20$ ($A_s = 4712,39 \text{ mm}^2$)

- Tulangan bawah $= 8 D - 20$ ($A_s' = 2356,19 \text{ mm}^2$)

Cek Momen kapasitas

$$C_c = 0,85 f_c' b a$$

$$= 0,85 \times 20 \times 400 \times a$$

$$= 4335 c$$

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

$$= A_s' \times e_s \times E_s$$

$$= A_s' \times 0,003 \times \frac{c-d'}{c} \times 200000$$

$$= 2356,19 \times 0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000$$

$$= 1413717 \times \frac{c-58}{c}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 4712,39 \times 320 \\ &= 1507964 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$1507964 = 5780 c + 1413716,7 \times \frac{c-58}{c}$$

$$1507964 = 5780 c + 1413716,7 - \frac{81995568,26}{c}$$

$$0 = 5780 c^2 + -94246,78 c - 81995568,26$$

Maka didapat $c = 127,537 \text{ mm} < 56 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \times 127,537 \\ &= 108,406 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T (d - a/2) \\ &= 1507964 \times (542 - 108,406/2) \\ &= 735580216,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 588464173,1 \text{ Nmm} > 403000000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{403000000}{588464173,1} = 0,68$$

Analisa Tulangan Geser

Pada perhitungan tulangan geser untuk struktur tahan gempa ada 2 macam, yaitu tulangan geser yang berada di dalam sendi plastis dan tulangan geser yang berada diluar sendi plastis. Daerah yang memiliki kemungkinan terjadinya sendi plastis adalah daerah sejauh $2h$ dari ujung balok yang ditinjau.

Tulangan geser di dalam sendi plastis

Gaya geser sejauh $2h$ yaitu :

$$\begin{aligned} V_u (2h) &= \frac{1000}{5000} \times 236000 \\ &= 56640 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1/6 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 1/6 \sqrt{20} \times 400 \times 542 \\ &= 161593 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,6 \times 161593 \\ &= 96955,9 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u (2h) \text{ pakai} &= 56640 \text{ N} < \phi V_c \\ &\text{maka dipasang sengkang praktis } \phi 8 - 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tulangan geser di luar sendi plastis

Gaya geser sejauh ln-2h yaitu :

$$V_u (ln - 2h) = 0 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 1/6 \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 1/6 \sqrt{20} \times 400 \times 542 \\ &= 161539 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,6 \times 161539 \\ &= 96955,9 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u (ln - 2h) \text{ pakai} &= 0 \text{ N} < \phi V_c \\ &\text{maka dipasang sengkang praktis } \phi 8 - 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

4.7.2.2 Kolom

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem rangka pemikul momen menengah pada kolom lantai 1 line U

$$M_{ux} = 13200000 \text{ Nmm}$$

$$M_{uz} = 49300000 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 140905961,5 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 3240000 \text{ N}$$

$$V_{ux} = 21900 \text{ N}$$

$$V_{uz} = 57900 \text{ N}$$

$$V_u = 61903,3117 \text{ N}$$

$$\text{Dimensi Kolom} = 600 \times 1400 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (p)} = 40 \text{ mm}$$

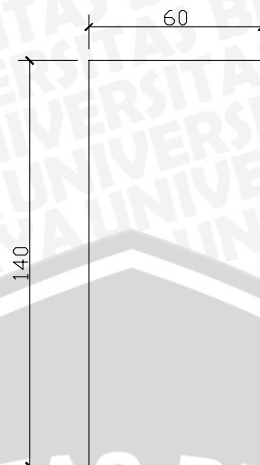
$$L \text{ kolom} = 4500 \text{ mm}$$

$$E \text{ baja} = 200000 \text{ MPa}$$

Tulangan direncanakan

$$\text{- tulangan utama} = D - 20 \text{ mm}$$

- tulangan geser = D - 10 mm



Gambar 4.5. Penampang Kolom portal melintang SRPMM line U

Analisa Tulangan Utama Kolom

Digunakan kolom pendek 4 sisi

$$A_{gr} = 600 \times 1400 = 840000 \text{ mm}^2$$

Coba Ratio luas tulangan : $A_{st \text{ min}} = 1\%$ (SNI 2847 pasal 12.9)

$$\begin{aligned} A_s = A_s' &= 0,01 \times A_{gr} \\ &= 0,01 \times 840000 \\ &= 8400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 28 D – 20 (8796,46 mm²)

$$\begin{aligned} \frac{P_u}{0,85 f_c' \phi A_{gr}} &= \frac{3240000}{0,85 \times 20 \times 0,65 \times 840000} \\ &= 0,349 > 0,1 \text{ dipakai nilai } \phi = 0,65 \end{aligned}$$

$$P_n = \frac{3240000}{0,65} = 4984615,385 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{140905962}{0,8} = 176132451,9 \text{ Nmm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{176132451,9}{4984615,385} = 35,33 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= 15 + 0,03 h \\ &= 15 + 0,03 \times 1400 \\ &= 57 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek : $57 > 35,33$



karena $e < e_{\min}$ maka seluruh tulangan mengalami tekan

$$\begin{aligned}\phi P_n(\text{maks}) &= 0,8 \phi 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (\text{SNI 2847 pasal 12.3.5.1}) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 20 \times (840000 - 8796,46) + (320 \times 8796,46) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 16945327,21 \\ &= 9362293,282 \text{ N} > 3240000 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_u = \frac{3240000}{9362293,282} = 0,346$$

Analisa Tulangan Geser Kolom

Jarak untuk lokasi sengkang pada sendi plastis

$$l_o < h = 1400 \text{ mm}$$

$$l_o < 1/6 l_n = 750 \text{ mm}$$

$$l_o < 500 \text{ mm}$$

Maka dipakai l_o yang terbesar = 1400 mm

Gaya geser rencana (V_e) gunakan rumus :

$$\begin{aligned}V_e &= \frac{2 \times M_{u_a}}{L_n} \\ &= \frac{2 \times 140905962}{4500} \\ &= 62624,87 \text{ N} < 62625 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya geser rencana (V_u) gunakan rumus :

$$\begin{aligned}V_u &= \frac{M_{n1} + M_{n2}}{L_n} \\ &= \frac{216778402 + 216778402}{4500} \\ &= 96345,96 \text{ N} > 62624,87 \text{ N}\end{aligned}$$

Maka dipakai $V_u = 96345,96 \text{ N}$

Kontrol beban aksial terfaktor $> 3520000 \text{ N}$

$$\begin{aligned}A_g \cdot f_c / 10 &= 840000 \times 2 \\ &= 1680000 \text{ N} < 3240000 \text{ N}\end{aligned}$$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh beton $V_c = 0$

Tulangan geser pada sendi plastis

Syarat spasi minimum

$$\begin{aligned}
 - 6 \times \text{Diameter tul. Utama} &= 6 \times 20 = 120 \text{ mm} \\
 - 1/4 \times h &= 0,25 \times 1400 = 350 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 100$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh baja :

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 1340}{100} \\
 &= 252456 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \varnothing (V_c + V_s) \\
 96345,96 &\leq 0,75 (0 + 252456) \\
 96345,96 &\leq 189342 \dots\dots\dots \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Jadi sengkang $\varnothing 10 - 100$ dapat dipakai

Tulangan geser diluar sendi plastis

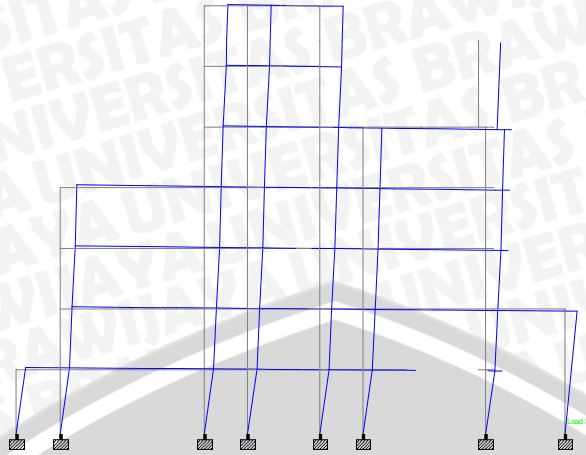
Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 200$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{3240000}{14 \times 840000} \right) \times \left(\frac{1}{6} \sqrt{20} \times 600 \times 1344 \right) \\
 &= 1,2755 \times 599266,218 = 764370,176 \text{ N} \\
 V_s &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 1344}{200} \\
 &= 126228 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq \varnothing (V_c + V_s) \\
 96345,96 &\leq 0,75 (764370 + 126228) \\
 96345,96 &\leq 667948,632 \dots\dots\dots \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Jadi sengkang $\varnothing 10 - 200$ dapat dipakai



Gambar 4.6. Contoh Mode Getar Portal Line 13

Kontrol Dinamis

$f_n = 3,919 \text{ Hz}$ (dari hasil STAAD Pro)

$y = (T/2\pi)^2 \times A$

$6.778 = (T/6,28)^2 \times 0,85$

$T = 0,449 \text{ detik}$

$\omega = 2\pi / T$

$= 6,28 / 0,449 = 13,98$

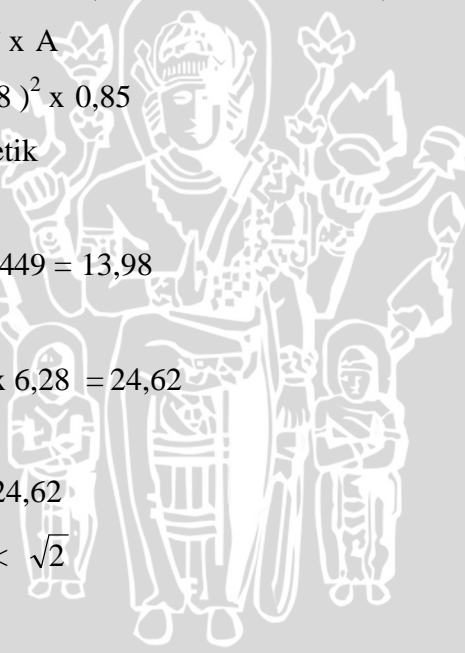
$\omega_n = f_n \times 2\pi$

$= 3,919 \times 6,28 = 24,62$

$r = \omega / \omega_n$

$r = 13,98 / 24,62$

$r = 0,567 < \sqrt{2}$



4.7.3 Arah Memanjang Portal Sistem Rangka Pemikul Momen (Line H)

4.7.3.1 Balok

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem rangka pemikul momen pada balok lantai 3 line 6 - 11

$$\text{Momen Tumpuan (Mu)} = -36971 \text{ kgm} = -369710000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen Lapangan (Mu)} = 17311 \text{ kgm} = 173110000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Vu max}^+ = 23335 \text{ kg} = 233350 \text{ N}$$

$$\text{Vu max}^- = 5566,2 \text{ kg} = 55662 \text{ N}$$

$$\text{Dimensi Balok} = 400 \times 600 \text{ mm}$$

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

$$\text{Beff} = 2000 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton (p)} = 40 \text{ mm}$$

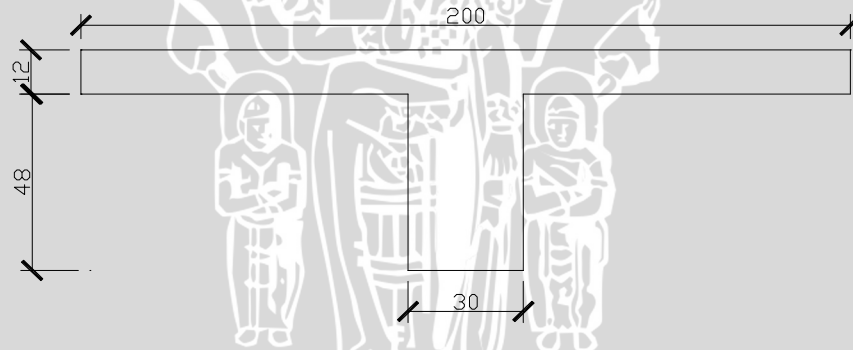
$$\text{Bentang bersih (Ln)} = 8000 \text{ mm}$$

$$\text{E baja} = 200000 \text{ MPa}$$

Tulangan direncanakan

$$\text{- tulangan utama} = D - 20 \text{ mm}$$

$$\text{- tulangan geser} = D - 8 \text{ mm}$$



Gambar 4.7. Penampang Balok T portal memanjang SRPMM line 6-11

Tinggi efektif balok

$$d = h - p - d \text{ tul.geser} - 1/2 d \text{ tul.utama}$$

$$= 600 - 40 - 8 - 0,5 \times 20$$

$$= 542 \text{ mm}$$

$$d' = 58 \text{ mm}$$

Analisa Tulangan Lapangan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{173110000}{0,8} = 216387500 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{216387500}{0,8 \times 400 \times 542^2} \\
 &= \frac{216387500}{94004480} \\
 &= 2,3 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{\phi f_c'} \\
 &= \frac{320}{0,85 \times 20} \\
 &= 18,82352941
 \end{aligned}$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320} \\
 &= 0,022087296
 \end{aligned}$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 2,3}{320}} \right) \\
 &= 0,00776 > 0,004375
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00776 \times 400 \times 542 \\
 &= 1682,4 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,5 \times A_s \\
 &= 0,5 \times 1682,4 \\
 &= 841,202 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Coba :

Maka digunakan

$$\begin{aligned}
 - \text{Tulangan bawah} &= 6 \text{ D} - 20 \quad (A_s = 1884,96 \text{ mm}^2) \\
 - \text{Tulangan atas} &= 3 \text{ D} - 20 \quad (A_s' = 942,48 \text{ mm}^2)
 \end{aligned}$$

Cek Momen kapasitas

$$\begin{aligned}
 Cc &= 0,85 f'c b a \\
 &= 0,85 \times 20 \times 2000 \times a \\
 &= 28900 c \\
 Cs &= As' \times fs' \\
 &= As' \times \epsilon_s \times Es \\
 &= As' \times 0,003 \times \frac{c-d'}{c} \times 200000 \\
 &= 942,48 \times 0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000 \\
 &= 565487 \times \frac{c-58}{c}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= As \times fy \\
 &= 1884,96 \times 320 \\
 &= 603186 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$T = Cc + Cs$$

$$\begin{aligned}
 603186 &= 28900 c + 565487 \times \frac{c-58}{c} \\
 603186 &= 28900 c + 565487 - \frac{32798227,3}{c}
 \end{aligned}$$

$$0 = 28900 c^2 + -37699,11 c - 32798227,3$$

$$\text{Maka didapat } c = 34,35 < 58 \text{ mm}$$

(karena $c < d'$, maka hanya dilakukan analisa pada tulangan tarik saja)

$$\begin{aligned}
 T &= Cc \\
 603186 &= 28900 c \\
 c &= 20,8715 \text{ mm} \\
 a &= 0,85 \times 20,8715 \\
 &= 17,74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= T (d - a/2) \\
 &= 603186 \times (542 - 8,87) \\
 &= 321576211,2 \text{ Nmm} \\
 \phi Mn &= 257260969 \text{ Nmm} > 173110000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{Mu}{\phi Mn} = \frac{257260969}{173110000} = 0,67$$

Analisa Tulangan Tumpuan

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{369170000}{0,8} = 461462500 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{461462500}{0,8 \times 400 \times 542^2}$$

$$= \frac{461462500}{94004480}$$

$$= 4,9 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{\phi f_c'}$$

$$= \frac{320}{0,85 \times 20}$$

$$= 18,82352941$$

Rasio Penulangan Keseimbangan (ρ_b)

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \frac{\beta \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 20}{320} \cdot 0,85 \cdot \frac{600}{600 + 320}$$

$$= 0,022087296$$

Rasio Penulangan perlu (ρ)

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{18,8235} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{37,647 \cdot 4,9}{320}} \right)$$

$$= 0,01859 > 0,004375$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,01859 \times 400 \times 542$$

$$= 4031,32 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 0,5 \times A_s$$

$$= 0,5 \times 4031,32$$

$$= 2015,66 \text{ mm}^2$$

Coba :

$$\text{- Tulangan atas} = 13 D - 20 \text{ (As = 408,07 mm}^2 \text{)}$$

$$\text{- Tulangan bawah} = 7 D - 20 \text{ (As' = 2042,04 mm}^2 \text{)}$$

Cek Momen kapasitas

$$\begin{aligned} C_c &= 0.85 f'_c b a \\ &= 0.85 \times 20 \times 400 \times a \\ &= 5780 c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= A_s' \times \epsilon_s \times E_s \\ &= 2042,04 \times 0,003 \times \frac{c-d'}{c} \times 200000 \\ &= 2042,04 \times 0,003 \times \frac{c-58}{c} \times 200000 \\ &= 1225221 \times \frac{c-58}{c} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \times f_y \\ &= 408,07 \times 320 \\ &= 1306903 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = C_c + C_s$$

$$1306903 = 5780 c + 1225221,1 \times \frac{c-58}{c}$$

$$1306903 = 5780 c + 1225221,1 - \frac{71062825,82}{c}$$

$$0 = 5780 c^2 + -81681,41 c - 71062825,82$$

$$\text{Maka didapat } c = 118,172 \text{ mm} < 56 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} a &= 0.85 \times 118,172 \\ &= 100,446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= T (d - a/2) \\ &= 1507964 \times (542 - 100,446/2) \end{aligned}$$

$$= 642704581,7 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 514163665,4 \text{ Nmm} > 369170000 \text{ Nmm}$$

$$\frac{M_u}{\phi M_n} = \frac{369170000}{514163665,4} = 0,71$$

Analisa Tulangan Geser

Pada perhitungan tulangan geser untuk struktur tahan gempa ada 2 macam, yaitu tulangan geser yang berada di dalam sendi plastis dan tulangan geser yang berada diluar sendi plastis. Daerah yang memiliki kemungkinan terjadinya sendi plastis adalah daerah sejauh $2h$ dari ujung balok yang ditinjau.

Tulangan geser di dalam sendi plastis

Gaya geser sejauh $2h$ yaitu :

$$\begin{aligned} V_u(2h) &= \frac{1200}{4000} \times 233350 \\ &= 70005 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{20} \times 400 \times 542 \\ &= 161593 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 161593 \\ &= 96955,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u(2h) \text{ pakai} = 70005 \text{ N} < \phi V_c$$

maka dipasang sengkang praktis $\phi 8 - 100 \text{ mm}$

Tulangan geser di luar sendi plastis

Gaya geser sejauh $l_n - 2h$ yaitu :

$$\begin{aligned} V_u(l_n - 2h) &= 55662 \text{ N} \\ V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{6} \sqrt{20} \times 400 \times 542 \\ &= 161539 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0.6 \times 161539 \\ &= 96955,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u(l_n - 2h) \text{ pakai} = 55662 \text{ N} < \phi V_c$$

maka dipasang sengkang praktis $\phi 8 - 200 \text{ mm}$

4.7.3.2 Kolom

Dari STAAD Pro didapatkan momen terbesar portal melintang sistem rangka pemikul momen menengah pada kolom lantai 1 line 4

Mux	=	374730	Nmm
Muz	=	1004640	Nmm
Mua	=	1072251,884	Nmm
Pu	=	1460000	N
Vux	=	424,24	N
Vuz	=	91,3	N
Vu	=	433,95	N
Dimensi Kolom	=	500 x 700	mm
Selimit beton (p)	=	40	mm
L kolom	=	4500	mm
E baja	=	200000	MPa
Tulangan direncanakan			
- tulangan utama	=	D - 16	mm
- tulangan geser	=	D - 10	mm



Gambar 4.8. Penampang Kolom portal memanjang SRPMM line 4

Analisa Tulangan Utama Kolom

Digunakan kolom pendek 4 sisi

$$A_{gr} = 500 \times 700 = 350000 \text{ mm}^2$$

Coba Ratio luas tulangan : Ast min = 1 % (SNI 2847 pasal 12.9)

$$\begin{aligned} A_s = A_s' &= 0,01 \times A_{gr} \\ &= 0,01 \times 350000 \end{aligned}$$

$$= 3500 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan 18 D - 16 (3619,11 mm²)

$$\frac{P_u}{0,85 f_c' \phi A_{gr}} = \frac{1460000}{0,85 \times 20 \times 0,65 \times 350000}$$

$$= 0,3775 > 0,1 \quad \text{dipakai nilai } \phi = 0,65$$

$$P_n = \frac{146000}{0,65} = 2246153,85 \text{ N}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{1072251,9}{0,8} = 1340314,855 \text{ Nmm}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{1340314,855}{2246153,85} = 0,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} e_{\min} &= 15 + 0,03 h \\ &= 15 + 0,03 \times 500 \\ &= 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } 57 > 30 \text{ mm}$$

karena $e < e_{\min}$ maka seluruh tulangan mengalami tekan

$$\begin{aligned} \phi P_n(\text{maks}) &= 0,8 \phi 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (\text{SNI 2847 pasal 12.3.5.1}) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 0,85 \times 20 \times (350000 - 3619,11) + (320 \times 3619,11) \\ &= 0,8 \times 0,65 \times 7046591,765 \\ &= 3664227,718 \text{ N} > 1460000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = \frac{1460000}{3664227,718} = 0,398$$

Analisa Tulangan Geser Kolom

Jarak untuk lokasi sengkang pada sendi plastis

$$l_o < h = 700 \text{ mm}$$

$$l_o < 1/6 l_n = 750 \text{ mm}$$

$$l_o < 500 \text{ mm}$$

Maka dipakai l_o yang terbesar = 750 mm

Gaya geser rencana (V_e) gunakan rumus :

$$V_e = \frac{2 \times M_u}{l_n}$$

$$= \frac{2 \times 1072252}{4500}$$

$$= 476,56 \text{ N} < 434 \text{ N}$$

Gaya geser rencana (V_u) gunakan rumus :

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{Mn1 + Mn2}{Ln} \\ &= \frac{1492945 + 1649618}{4500} \\ &= 698,35 \text{ N} > 477 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka dipakai $V_u = 698,35 \text{ N}$

Kontrol beban aksial terfaktor $> 1460000 \text{ N}$

$$\begin{aligned} A_g \cdot f_c' / 10 &= 350000 \times 2 \\ &= 700000 \text{ N} < 1460000 \text{ N} \end{aligned}$$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh beton $V_c = 0$

Tulangan geser pada sendi plastis

Syarat spasi minimum

$$\begin{aligned} - 6 \times \text{Diameter tul. Utama} &= 6 \times 20 = 120 \text{ mm} \\ - 1/4 \times h &= 0,25 \times 1400 = 350 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 100$

Besarnya gaya geser yang disumbangkan oleh baja :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 642}{100} \\ &= 120952,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \varnothing (V_c + V_s) \\ 698,35 &\leq 0,75 (0 + 120952,8) \\ 698,35 &\leq 90714,6 \dots\dots \text{Ok} \end{aligned}$$

Jadi sengkang $\varnothing 10 - 100$ dapat dipakai

Tulangan geser diluar sendi plastis

Direncanakan tulangan geser kolom $\varnothing 10 - 200$

$$V_c = \left(1 + \frac{1460000}{14 \times 350000} \right) \times \left(\frac{1}{6} \sqrt{20} \times 600 \times 642 \right)$$

$$= 1,298 \times 239259,27 = 310548,7714 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{0,25 \times 3,14 \times 10^2 \times 240 \times 642}{200} = 60476,4 \text{ N}$$

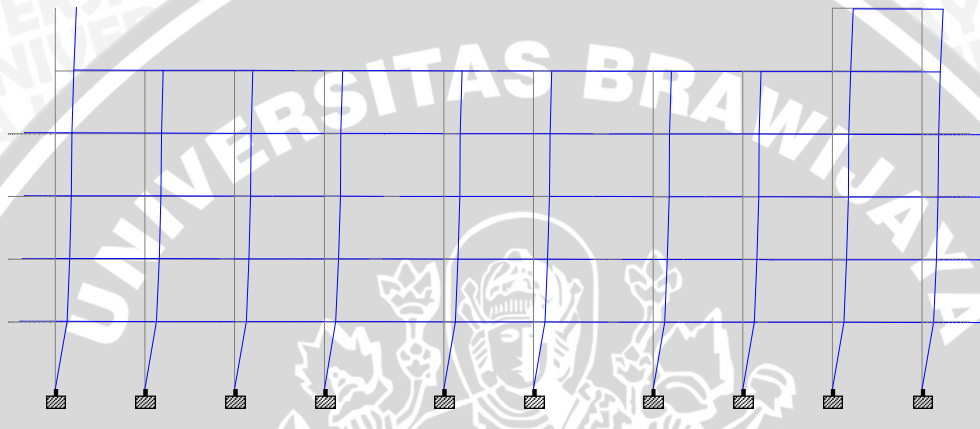
Kontrol

$$V_u \leq \phi (V_c + V_s)$$

$$698,35 \leq 0,75 (310549 + 60476)$$

$$698,35 \leq 278268,88 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi sengkang $\phi 10 - 200$ dapat dipakai



Gambar 4.9. Contoh Mode Getar Portal Line H

Kontrol Dinamis

$$f_n = 3,113 \text{ Hz (dari hasil STAAD Pro)}$$

$$y = (T/2\pi)^2 \times A$$

$$8,061 = (T/6,28)^2 \times 0,85$$

$$T = 0,49 \text{ detik}$$

$$\omega = 2\pi / T$$

$$= 6,28 / 0,49 = 12,819$$

$$\omega_n = f_n \times 2\pi$$

$$= 3,113 \times 6,28 = 19,559$$

$$r = \omega / \omega_n$$

$$r = 12,819 / 19,559$$

$$r = 0,655 < \sqrt{2}$$

Dari perhitungan diatas didapat perbandingan antara μ dengan ϕM_n sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa desain tersebut tidak ekonomis. Oleh sebab itu pada perhitungan selanjutnya dimensi diperkecil dan perhitungan telah ditabelkan pada bagian lampiran.

Pemeriksaan “Strong Column Weak Beams”

Syarat :

$$\Sigma M_e > \frac{6}{5} \Sigma M_g$$

Portal yang ditinjau Portal Melintang SG

Pu_b terkecil (kolom line U lantai 3) = 1200000 N = 1200 kN

Pu_a terkecil (kolom line U lantai 2) = 1890000 N = 1890 kN

Mn (balok line T-U lantai 2) = 107332098,22 Nmm

Short Rectangular Column Interaction Diagram

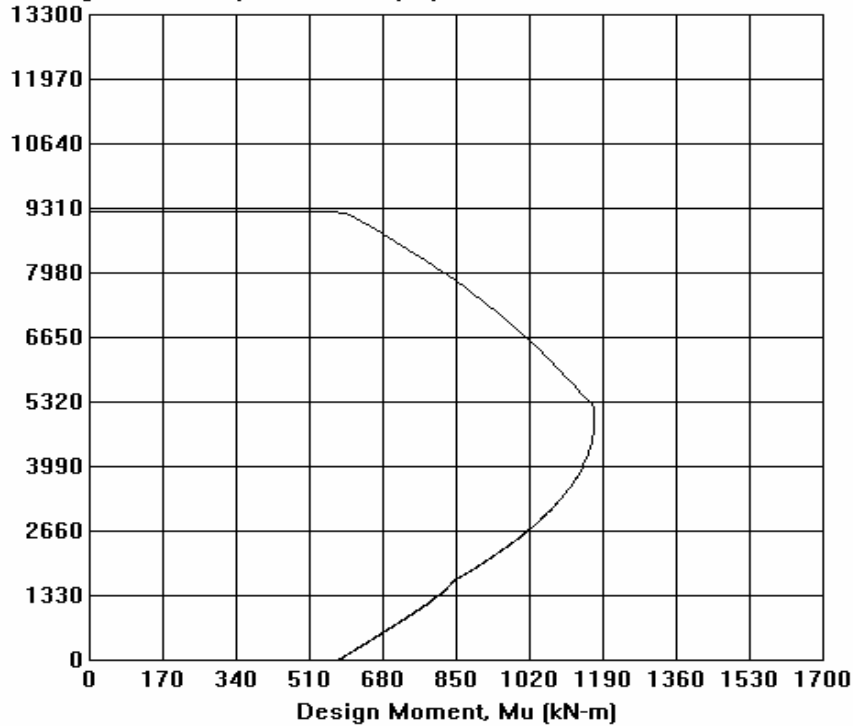
$f_y = 300 \text{ MPa}$ $f_c' = 20 \text{ MPa}$

$b = 1400 \text{ mm}$ $h = 600 \text{ mm}$

$d = 560 \text{ mm}$ $d_1 = 40 \text{ mm}$

$As_1 = 3976 \text{ sq-mm}$ $As_2 = 3976 \text{ sq-mm}$

Design Axial Compression, P_u (kN)



$$\Sigma M_e = (700000 + 870000) / 0,65$$

$$= 2415384,615 \text{ Nm} = 2415384615 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma M_g = (6/5 \times 107332098,22) / 0,8$$

$$= 160998147,3 \text{ Nmm}$$

Jadi syarat : $\Sigma M_e > \frac{6}{5} \Sigma M_g$ memenuhi

4.8 Perbandingan Penulangan Hasil Perhitungan dengan Kondisi di Lapangan

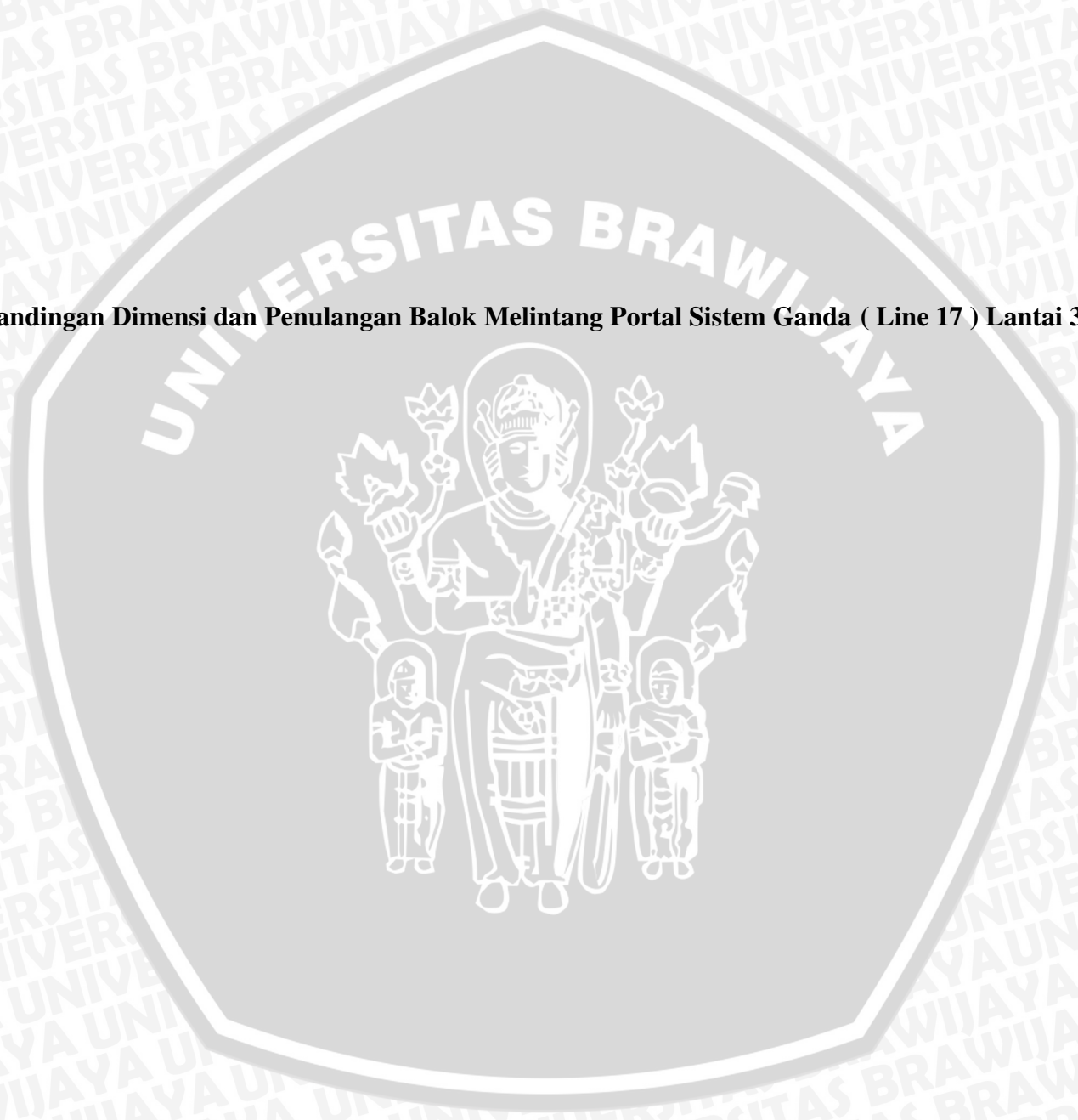
4.8.1 Arah Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17)

4.8.1.1 Balok

Tabel 4.6. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 2

BALOK	Kondisi	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan						
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		Tulangan		Senggang tepi	Senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 2														
line T-U	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22		∅10-200
line R-T	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22		∅10-200
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D - 16	1000	∅ 10 - 100		400	600	8D22	5D22	∅10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22		∅10-200
line H-I	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22		∅10-200
line C-H	Tumpuan	400	600	6 D- 16	3 D - 16	1200	∅ 10 - 100		400	600	8D22	5D22	∅10-150	
	Lapangan	400	600	4 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	7D22		∅10-200

Tabel 4.7. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 3 & 4



		Hasil Perhitungan							Kondisi di lapangan					
BALOK	Kondisi	Dimensi		Tulangan dipakai		2h	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		Tulangan		Senggang tepi	Senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 3														
line T-U	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line R-T	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line H-I	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line C-H	Tumpuan	400	600	7 D- 16	4 D - 16	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	400	600	4 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	8D22		Ø10-200
LANTAI 4														
line T-U	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line R-T	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line H-I	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line C-H	Tumpuan	400	600	7 D- 16	4 D - 16	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	400	600	4 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	8D22		Ø10-200

Tabel 4.8. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 5, 6, & 7

BALOK	Kondisi	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan						
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		Tulangan		Senggang tepi	Senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 5														
line T-U	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line R-T	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line H-I	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line C-H	Tumpuan	400	600	6 D- 20	3 D- 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200			5D22	8D22		Ø10-200
LANTAI 6														
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line H-I	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
line C-H	Tumpuan	400	600	6 D- 20	3 D- 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200			5D22	8D22		Ø10-200
LANTAI 7														
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200
ATAP														
line I-R	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	8D22	5D22	Ø10-100	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22		Ø10-200

4.8.1.2 Kolom

Tabel 4.9. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 1, 2, & 3

KOLOM	Hasil perhitungan						Kondisi di lapangan				
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	lo (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
							b	h			
LANTAI 1											
line U	300	900	20 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line T	300	400	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	300	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line H	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	300	14D25	∅10-100	∅10-200
line C	300	900	30 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200
LANTAI 2											
line U	300	900	10 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line T	300	400	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	300	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line H	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	300	14D25	∅10-100	∅10-200
line C	300	900	14 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200
LANTAI 3											
line U	300	900	10 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line T	300	400	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	300	600	16D25	∅10-100	∅10-200
line H	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	300	14D25	∅10-100	∅10-200
line C	300	900	14 D - 20	900	∅ 10 - 200	∅ 10 - 100	400	600	16D25	∅10-100	∅10-200

Tabel 4.10. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17) Lantai 4, 5, & 6

KOLOM	Hasil perhitungan						Kondisi di lapangan				
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	lo (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
							b	h			
LANTAI 4											
line U	300	900	8 D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line T	300	400	6 D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line H	400	300	6 D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	600	300	14D25	Ø10-100	Ø10-200
line C	300	900	12 D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
LANTAI 5											
line H	400	300	4 D - 16	750	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	600	300	14D25	Ø10-100	Ø10-200
line C	300	900	8 D - 20	900	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
LANTAI 6											
line C	300	900	8 D - 20	900	Ø 10 - 400	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200

4.8.1.3 Dinding Geser

Tabel 4.11. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Dinding Geser Melintang Portal Sistem Ganda (Line 17)

DS	Hasil perhitungan					Kondisi di Lapangan				
	b (mm)	bf (mm)	Tulangan utama	Tulangan horisontal	Tulangan vertikal	b (mm)	bf (mm)	tulangan utana	tulangan horisontal	tulangan vertikal
Lantai 1	250	1000	66 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	400	652.5	100D25	∅10 - 100	D13 - 175
Lantai 2	250	1000	66 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	400	507.5	80D25	∅10 - 100	D13 - 175
Lantai 3	225	930	60 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	300	390	42D25	∅10 - 100	D13 - 200
Lantai 4	225	930	60 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	300	327.5	36D25	∅10 - 100	D13 - 200
Lantai 5	200	830	54 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	200	405	28D25	∅10 - 100	D13 - 250
Lantai 6	200	830	54 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	200	203.75	16D-25	∅10 - 100	D13 - 250
Lantai 7	200	830	54 D - 20	∅ 10 - 400	D 10 - 400	200	203.75	16D-25	∅10 - 100	D13 - 250

4.8.2 Arah Melintang Portal Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Line 13)

4.8.2.1 Balok

Tabel 4.12. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 2

BALOK	Kondisi	Hasil perhitungan						Kondisi di lapangan						
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 2														
line V-U	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
line U-R	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D - 20	1200	∅ 10 - 100		400	600	15D22	5D22	∅10-50	∅10-100
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D - 20			∅ 10 - 200			12D22	5D22	∅10-50	∅10-100
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
line I-H	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
line H-E	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	∅ 10 - 100		400	600	5D22	5D22	∅10-200	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			∅ 10 - 200			15D22	5D22	∅10-200	∅10-200

Tabel 4.13. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 3 & 4

BALOK	Kondisi	Hasil perhitungan							Kondisi di lapangan					
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 3														
line U-R	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D - 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	15D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D - 20			Ø 10 - 200			12D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line I-H	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line H-C	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D - 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D - 20			Ø 10 - 200			8D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
LANTAI 4														
line U-R	Tumpuan	400	600	12 D- 20	6 D - 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	15D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
	Lapangan	400	600	5 D- 20	3 D - 20			Ø 10 - 200			12D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D - 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line I-H	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D - 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D - 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line H-C	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D - 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D - 20			Ø 10 - 200			8D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200

Tabel 4.14. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Melintang Portal SRPMM (Line 13) Lantai 5, 6, 7 & Atap



Hasil perhitungan									Kondisi di lapangan					
BALOK	Kondisi	Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 5														
line U-R	Tumpuan	400	600	6 D- 20	3 D- 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	15D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200			12D22	5D22	Ø10-50	Ø10-100
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line I-H	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line H-C	Tumpuan	400	600	6 D- 20	3 D- 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200			8D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
LANTAI 6														
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line I-H	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line H-C	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100		400	600	9D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200			8D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
LANTAI 7														
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
ATAP														
line R-O	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
line O-I	Tumpuan	300	500	3 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		400	600	5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200			5D22	5D22	Ø10-200	Ø10-200

4.8.2.2 Kolom

**Tabel 4.15. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line 13)
Lantai 1, 2 & 3**

KOLOM	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan					
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama		l _o (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	b (mm)	h (mm)	tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
LANTAI 1												
line V	300	400	12	D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	4D25	Ø10-100	Ø10-200
line U	300	900	28	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line R	400	300	12	D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line O	250	250	4	D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	8D25	Ø10-100	Ø10-200
line I	400	300	14	D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line H	Ø	500	6	D - 16	750	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	Ø	600	18D25	Ø10-150	Ø10-150
line C	300	900	28	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
LANTAI 2												
line U	300	900	12	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line R	400	300	10	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line O	250	250	4	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	8D25	Ø10-100	Ø10-200
line I	400	300	6	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line H	Ø	500	6	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	Ø	600	18D25	Ø10-150	Ø10-150
line C	300	900	20	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line AA	300	900	20	D - 20	1450	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
LANTAI 3												
line U	300	900	10	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line R	400	300	6	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line O	250	250	4	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	8D25	Ø10-100	Ø10-200
line I	400	300	6	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200
line H	Ø	500	6	D - 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	Ø	600	18D25	Ø10-150	Ø10-150
line C	300	900	20	D - 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200

Tabel 4.16. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Melintang Portal SRPMM (Line 13)

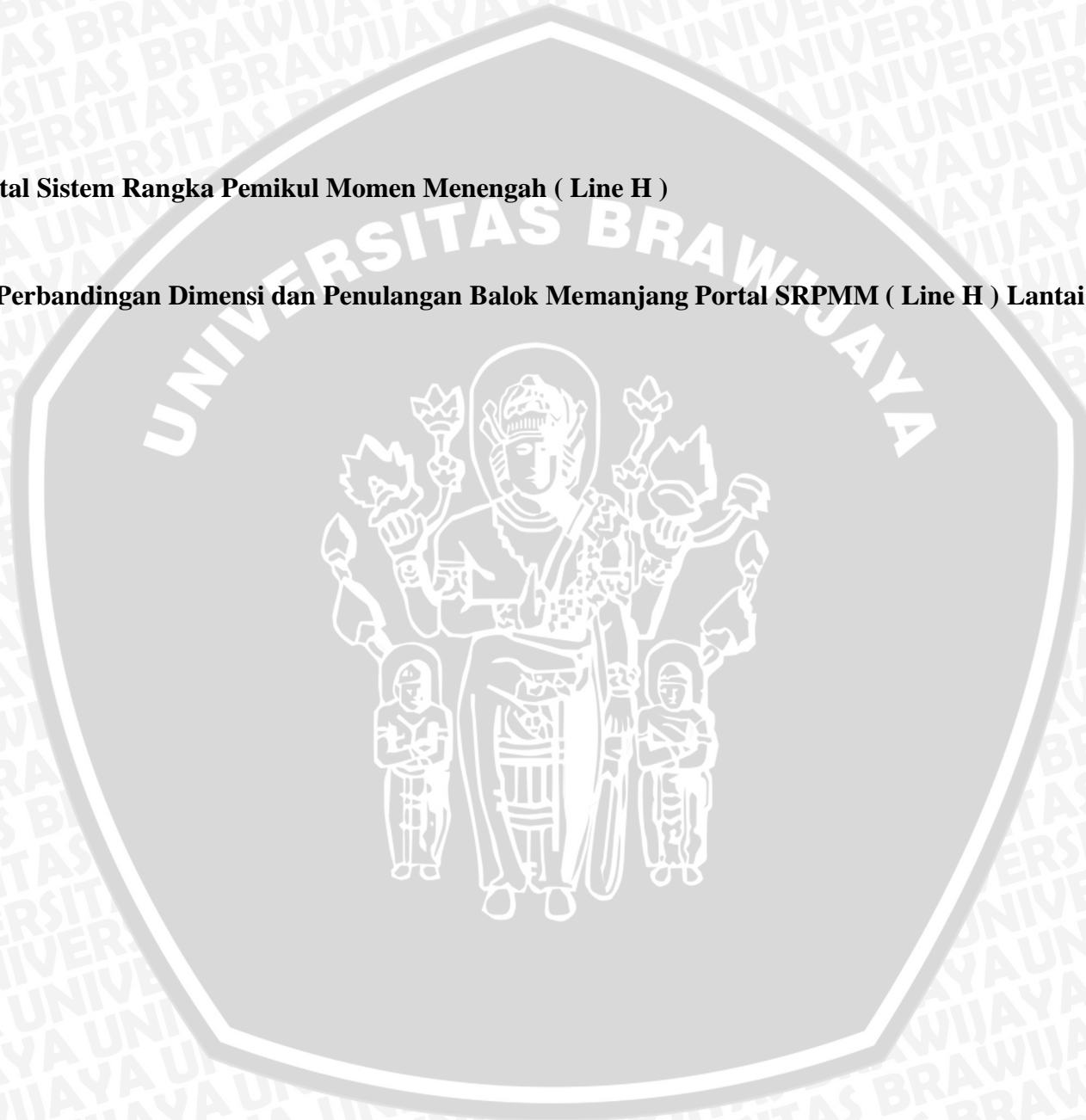
Lantai 4, 5, 6 & 7

KOLOM	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan					
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	l _o (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	b (mm)	h (mm)	tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah	
LANTAI 4												
line U	300	900	8 D- 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line R	400	300	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line O	250	250	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	8D25	Ø10-100	Ø10-200	
line I	400	300	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line H	Ø	500	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	Ø	600	18D25	Ø10-150	Ø10-150	
line C	300	900	20 D- 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
LANTAI 5												
line R	400	300	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line O	250	250	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	6D25	Ø10-100	Ø10-200	
line I	400	300	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	14D25	Ø10-100	Ø10-200	
line H	Ø	500	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	Ø	600	14D25	Ø10-150	Ø10-150	
line C	300	900	12 D- 20	900	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
LANTAI 6												
line R	400	300	6 D- 12	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line O	250	250	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	6D25	Ø10-100	Ø10-200	
line I	400	300	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	14D25	Ø10-100	Ø10-200	
line C	300	900	12 D- 20	1000	Ø 10 - 200	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
LANTAI 7												
line R	400	300	6 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	16D25	Ø10-100	Ø10-200	
line O	250	250	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	300	300	6D25	Ø10-100	Ø10-200	
line I	400	300	4 D- 16	700	Ø 10 - 300	Ø 10 - 100	400	600	14D25	Ø10-100	Ø10-200	

4.8.3 Arah Melintang Portal Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (Line H)

4.8.3.1 Balok

Tabel 4.17. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 2



BALOK	Kondisi	Hasil Perhitungan							Kondisi di lapangan					
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 2														
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 2-4	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 4-5	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 5-6	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 6-11	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	∅ 10 - 100		300	600	11D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			∅ 10 - 200	300	600	6D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 11-13	Tumpuan	300	500	6 D- 16	3 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 13-17	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	∅ 10 - 100		300	600	11D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			∅ 10 - 200	300	600	6D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 17-18	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 18-19	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
line 19-21	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	∅ 10 - 100		300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			∅ 10 - 200	300	600	5D22	5D22	∅10-150	∅10-200

Tabel 4.18. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 3

Hasil Perhitungan										Kondisi di lapangan					
BALOK	Kondisi	Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah	
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan			
LANTAI 3															
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 2-4	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 4-5	Tumpuan	300	500	7 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 5-6	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 6-11	Tumpuan	400	600	10 D- 20	5 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	400	600	5 D- 20	3 D- 20			Ø 10 - 200	300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 11-13	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 13-17	Tumpuan	400	600	10 D- 20	5 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	400	600	5 D- 20	3 D- 20			Ø 10 - 200	300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 17-18	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 18-19	Tumpuan	300	500	7 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
line 19-21	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200	

Tabel 4.19. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 4

BALOK	Kondisi	Hasil Perhitungan							Kondisi di lapangan					
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Sengkang tepi	Sengkang tengah	Dimensi		tulangan		sengkang tepi	sengkang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 4														
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 2-4	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 4-5	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 5-6	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 6-11	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20		Ø 10 - 200		300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 11-13	Tumpuan	300	500	7 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 13-17	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20		Ø 10 - 200		300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 17-18	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 18-19	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 19-21	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16		Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200

Tabel 4.20. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 5

BALOK	Kondisi	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan							
		Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah	
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan			
LANTAI 5															
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 2-4	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 4-5	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 5-6	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 6-11	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100			300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200		300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 11-13	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 13-17	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100			300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200		300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 17-18	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 18-19	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 19-21	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
balkon	Tumpuan	200	400	3 D- 16	2 D- 16	800	Ø 10 - 100			300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	200	400	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200

Tabel 4.21. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Balok Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 6 & 7



Hasil Perhitungan									Kondisi di lapangan					
BALOK	Kondisi	Dimensi		Tulangan dipakai		2h (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	Dimensi		tulangan		senggang tepi	senggang tengah
		b (mm)	h (mm)	Tulangan tarik	Tulangan tekan				b (mm)	h (mm)	tarik	tekan		
LANTAI 6														
line 2-4	Tumpuan	300	500	6 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 4-5	Tumpuan	300	500	6 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 5-6	Tumpuan	300	500	5 D- 16	3 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 6-11	Tumpuan	400	600	6 D- 20	3 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	3 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200	300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 11-13	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 13-17	Tumpuan	400	600	7 D- 20	4 D- 20	1200	Ø 10 - 100		300	600	11D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	400	600	4 D- 20	2 D- 20			Ø 10 - 200	300	600	6D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 17-18	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 18-19	Tumpuan	300	500	8 D- 16	4 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	4 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
line 19-21	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
LANTAI 7														
line 19-21	Tumpuan	300	500	4 D- 16	2 D- 16	1000	Ø 10 - 100		300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200
	Lapangan	300	500	3 D- 16	2 D- 16			Ø 10 - 200	300	600	5D22	5D22	Ø10-150	Ø10-200

4.8.3.2 Kolom

Tabel 4.22. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 1 & 2

KOLOM	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan				
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	lo (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	b (mm)	h (mm)	tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
LANTAI 1											
line 2	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
line 4	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 5	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 6	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 11	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 13	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 17	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 18	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 19	400	300	14 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
LANTAI 2											
line 2	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
line 4	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 5	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 6	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 11	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 13	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 17	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 18	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 19	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150

Tabel 4.23. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 3 & 4

KOLOM	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan				
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	lo (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	b (mm)	h (mm)	tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
LANTAI 3											
line 2	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
line 4	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 5	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 6	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 11	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 13	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 17	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 18	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 19	400	300	10 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
LANTAI 4											
line 2	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150
line 4	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 5	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 6	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 11	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 13	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	14D25	∅10-150	∅10-150
line 17	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 18	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 19	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	16D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	500	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	18D25	∅10-150	∅10-150

Tabel 4.24. Perbandingan Dimensi dan Penulangan Kolom Memanjang Portal SRPMM (Line H) Lantai 5 & 6

KOLOM	Hasil Perhitungan						Kondisi di lapangan				
	b (mm)	h (mm)	Tulangan utama	l _o (mm)	Senggang tepi	Senggang tengah	b (mm)	h (mm)	tulangan utama	senggang tepi	senggang tengah
LANTAI 5											
line 2	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	14D25	∅10-150	∅10-150
line 4	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	12D25	∅10-100	∅10-200
line 5	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	14D25	∅10-100	∅10-200
line 6	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	14D25	∅10-100	∅10-200
line 11	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	12D25	∅10-150	∅10-150
line 13	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	500	12D25	∅10-150	∅10-150
line 17	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	14D25	∅10-100	∅10-200
line 18	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	14D25	∅10-100	∅10-200
line 19	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	12D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	14D25	∅10-150	∅10-150
LANTAI 6											
line 2	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	14D25	∅10-150	∅10-150
line 19	400	300	8 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	600	400	12D25	∅10-100	∅10-200
line 21	∅	600	6 D - 16	750	∅ 10 - 300	∅ 10 - 100	∅	600	14D25	∅10-150	∅10-150



4.9 Pembahasan

Pada perencanaan Gedung Kedokteran ini menggunakan mutu beton 20 MPa , tulangan ulir 320 MPa dan tulangan polos 240 MPa. Dimensi awal yang digunakan pada portal yang ditinjau seluruhnya menggunakan dimensi balok 40/60, untuk kolom bulat $\varnothing 60$ cm, kolom ekterior 60/140, kolom interior 50/70 dan kolom praktis 30/30. Dinding geser lantai 1 dan 2 menggunakan tebal 25 cm, dinding geser lantai 3 dan 4 menggunakan tebal 22,5 cm, dan dinding geser lantai 5 sampai 7 menggunakan tebal 20 cm Tulangan ulir menggunakan diameter 20 mm, dan tulangan polos menggunakan diameter 8 mm. Beban yang ditinjau adalah beban gravitasi dan beban gempa. Pada perhitungan kekakuan struktur didapatkan kekakuan struktur sistem ganda sebesar 75% - 80%, sedangkan untuk struktur sistem rangka pemikul momen sebesar 20% - 25%.

Dari data diatas dilakukan perhitungan kapasitas penampang. Hasil perhitungan tersebut ternyata menghasilkan Momen Nominal yang terlalu besar, sehingga dapat dikatakan desain awal ini tidak ekonomis.

Pada perhitungan selanjutnya digunakan beberapa variasi dimensi, disesuaikan dengan kondisi lapangan. Untuk bentang 10 meter dan 8 meter digunakan dimensi balok 40/60, untuk bentang 5 meter dan 4 meter digunakan dimensi balok 30/50, sedangkan untuk bentang 3 meter dimensi balok 20/40. Dimensi kolom juga mengalami perubahan yang mendasar, untuk kolom bulat $\varnothing 50$ cm, kolom ekterior 30/90, kolom interior 30/40 dan kolom praktis 25/25, sedangkan dimensi dinding geser tidak mengalami perubahan. Dalam pemberian tulangan juga dibedakan sesuai dengan bentang, untuk bentang 10 m dan 8 m digunakan tulangan ulir diameter 20 mm, sedangkan bentang 5 m kebawah digunakan tulangan ulir diameter 16 mm. Pada penulangan sengkang dilakukan perubahan diameter, yaitu digunakan tulangan sengkang diameter 10 mm. Hal itu didasarkan pada kondisi di lapangan dan kondisi di pasaran.

Setelah dilakukan perhitungan dengan kondisi dimensi yang baru maka didapatkan momen nominal yang mendekati momen ultimit, dengan kata lain dimensi yang digunakan lebih ekonomis dari dimensi pada perhitungan awal.

Setelah perhitungan kedua dilakukan, hasil perhitungan dibandingkan dengan kondisi lapangan yang sudah ada. Ternyata hasil perhitungan didapatkan dimensi dan tulangan yang lebih kecil dari kondisi yang sudah ada.





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Portal yang ditinjau hanya portal melintang line 13 dan 17, serta portal memanjang line H, sedangkan sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda.

Pada perhitungan awal, dimensi dan tulangan yang digunakan ternyata terlalu besar, sehingga didapatkan perbandingan μ dengan ϕM_n terlalu kecil. Oleh karena itu dicoba menggunakan dimensi dan tulangan yang lebih kecil, setelah dilakukan perhitungan ulang didapatkan hasil perbandingan μ dengan ϕM_n yang lebih besar.

Perbandingan dimensi dan penulangan dari hasil perhitungan dengan kondisi di lapangan sangat berbeda, dari perhitungan didapatkan dimensi dan tulangan yang lebih kecil dari dimensi dan tulangan bangunan yang telah berdiri.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat melengkapi perencanaan ini antara lain sebaiknya untuk perhitungan tulangan akibat momen torsi juga diperhitungkan, perencanaan dilakukan pada struktur atas dan struktur bawah (pondasi), serta perlu dilakukan perencanaan lebih lanjut dengan menggunakan sistem struktur yang berbeda.