

**PERENCANAAN GEDUNG IJEN PADJAJARAN SUITES HOTEL
RESORT NIRWANA RESIDENCE MALANG DENGAN OUTRIGGER
SEBAGAI ALTERNATIF ELEMENT PENAHAN GAYA
HORIZONTAL GEMPA**

SKRIPSI

Disusun oleh :

DAFID AKBAR

09.21.030



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PERENCANAAN GEDUNG IJEN PADJAJARAN SUITES HOTEL RESORT
NIRWANA RESIDENCE MALANG DENGAN OUTRIGGER SEBAGAI
ALTERNATIF ELEMENT PENAHAN GAYA HORIZONTAL GEMPA**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

DAFID AKBAR

09.21.030

Menyetujui :

Dosen pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Ir. A. Agus Santosa, MT)



(Ir. H. Sudirman Indra, MSc.)

Mengetahui :

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1



(Ir. A. Agus Santosa, MT)

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN GEDUNG IJEN PADJAJARAN SUITES HOTEL RESORT
NIRWANA RESIDENCE MALANG DENGAN OUTRIGGER SEBAGAI
ALTERNATIF ELEMENT PENAHAN GAYA HORIZONTAL GEMPA**

*Dipertahankan dihadapan dewan penguji ujian skripsi jenjang Strata Satu (S-1)
Pada Hari Senin 23 Februari 2015
Dan diterima untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik Sipil*

Disusun Oleh :
DAFID AKBAR
09.21.030

Disahkan Oleh
Panitia Ujian Skripsi :



Ketua

(Ir. A. Agus Santosa, MT)

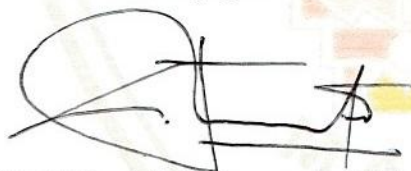
Sekretaris



(Lila Ayu Ratna Winanda, ST.,MT)

Anggota Penguji :

Penguji I



(Ir. Eding Iskak Imananto, MT)

Penguji II



(Lila Ayu Ratna Winanda, ST.,MT)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

2015



**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

Jl. Bendungan Sigura-gura no. 02 Telp. (0341) 551431 Malang 65145

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : DAFID AKBAR

NIM : 09.21.030

Program Studi : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul :

**“ PERENCANAAN GEDUNG IJEN PADJAJARAN SUITES HOTEL
RESORT NIRWANA RESIDENCE MALANG DENGAN OUTRIGGER
SEBAGAI ALTERNATIF ELEMENT PENAHAN GAYA HORIZONTAL
GEMPA ”**

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan duplikat serta mengutip atau menyadur seluruhnya dari hasil karya orang lain, kecuali yang disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Malang, Maret 2015

Yang membuat pernyataan



(Dafid Akbar)

“PERENCANAAN GEDUNG IJEN PADJAJARAN SUITES HOTEL RESORT NIRWANA RESIDENCE MALANG DENGAN OUTRIGGER SEBAGAI ALTERNATIF ELEMENT PENAHAN GAYA HORIZONTAL GEMPA ”. Oleh : Dafid Akbar, (0921030). Pembimbing I : Ir. A. Agus Santoso, MT. Pembimbing II : Ir. H. Sudirman Indra, MSc.

ABSTRAKSI

Bangunan tingkat tinggi merupakan suatu bukti perkembangan dan kemajuan dari suatu Negara . inovasi di dalam dunia teknik sipil terus mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kebutuhan dan perkembangan zaman. Sistem struktur pada bangunan tingkat tinggi juga mengalami kemajuan dan semakin beragam pula penggunaannya.

Skripsi ini menganalisa perilaku penambahan sistem struktur pengaku menggunakan *Outrigger* merupakan sejenis penebalan balok 2xh yang dalam aplikasinya tidak direncanakan di semua lantai tetapi dipasang pada 3 tempat yaitu lantai bawah,tengah dan atas pada gedung tingkat tinggi. Secara umum perencanaan struktur bangunan gedung beton bertulang tingkat tinggi berdasarkan standart peraturan gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002) dan standart peraturan beton Indonesia (SNI 03-2847-2002). Namun, untuk daerah pembangunan gedung Ijen Padjajaran Suites Hotel Resort Nirwana Residence Malang ini direncanakan dan dibangun di daerah dengan wilayah 4, maka sistem perhitungannya bangunan ini menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pembebanan gempa dihitung dengan menggunakan analisis spektrum respon gempa dinamik. Hasil dari analisis ini adalah simpangan antar tingkat, kemudian dari hasil tersebut dianalisis untuk mengontrol kinerja batas layan, kinerja batas ultimit

Portal yang dihitung dan dianalisa dari perencanaan pada laporan skripsi ini dengan menggunakan *Outrigger* sebagai alternatif sistem struktur untuk menahan gaya lateral gempa (Gempa Dinamik) diambil perhitungan balok terbesar yang didapat pada lantai 2 join 161 dan 234 (pada tumpuan), join 265 (pada lapangan) diperoleh hasil dimensi balok 40/120, tulangan tumpuan kiri 5 D 25 (atas) dan 3 D 25 (bawah), tulangan tumpuan kanan 5 D 25 (atas) dan 3 D 25 (bawah), tulangan lapangan 3 D 25 (atas) dan 4 D 25 (bawah), sedangkan untuk kolom pada daerah sendi plastis 2 kaki Ø12-100 dan yang daerah luar sendi plastis 2 kaki Ø12-200. untuk mengetahui perubahan *drift* yang terjadi. Maka di peroleh pada elevasi 54.00, simpangan X = 2.9819 dan simpangan Z = 9.8603

Kata Kunci : Outrigger, Gaya Lateral Gempa, Simpangan Horizontal (Drift)

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	
ABSTRAKSI	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Tinjauan Umum.....	1
1.2 Latar Belakang.....	2
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Maksud dan Tujuan.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II DASAR DASAR PERENCANAAN	6
2.1 tinjauan Umum.....	6
2.2 Pembebanan	10
2.2.1. Beban Vertikal.....	10
2.3 Pengaruh Beban Vertikal.....	11
2.4 Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat kekakuan	12
2.5 Balok T	14
2.6 Perencanaa Balok Dengan Tulangan Tekan dan Tarik (Rangkap)....	15
2.6.1. Balok T Tulangan Rangkap.....	15
2.6.2. Perencanaa Balok Terhadap Geser.....	22
2.7 Perencanaan Kolom.....	26
2.8 Perencana Penulangan Kolom Portal Terhadap Lentur dan Aksial...	25
2.9 Kolom Eksentrisitas Kecil.....	29

2.10 Kolom Eksentrisitas Besar.....	29
2.11 Faktor Reduksi Gempa.....	33
2.12 Analisa Beban Lateral Gempa.....	34
2.13 Kombinasi Pembebanan.....	35
2.14 Konsep Perencanaan.....	38
2.14.1. Sistem Struktur.....	38
2.15 Daktilitas.....	38
2.16 Drift Analysis.....	40
2.16.1. Sistem Struktur.....	41
2.16.2. Pengaruh P- Δ	41
2.16.3. Pembatasan Waktu Getas Alami Fundamental.....	41
2.16.4. Kinerja Batas Layan.....	43
2.16.5. Kinerja Batas Ultimit.....	43
2.17. Bagan Alir.....	45
BAB III DATA PERENCANAAN.....	46
3.1 Data Bangunan	46
3.2 Data Pembebanan	47
3.3 Data Material	48
3.4 Model Struktur	48
3.4.1. Model struktur dengan <i>Outrigger</i>	48
3.5 Pembebanan.....	50
3.5.1. Beban Mati	50
3.5.2. Perhitungan Pembebanan Plat	51
3.6 Perhitungan Pembebanan Struktur.....	52
3.7 Langkah–Langkah Pendimensian struktur 3D pada Staad Pro.....	61
3.8 Perhitungan Pusat massa dan Pusat kekakuan.....	69
3.9 Hasil Analisis Simpangan Horizontal	78
3.10 Kontrol Simpangan Antar Tingkat	78
3.11 Kinerja batas layan.....	83
3.12 Ragam Mode Shape yang terjadi pada Struktur menggunakan Sistem Pengaku Outrigger.....	88

BAB IV PERHITUNGAN PENULANGAN STRUKTUR.....	91
4.1 Perhitungan Penulangan Pada Balok.....	91
4.1.1. Perhitungan Penulangan Lentur Balok	91
4.1.2. Perhitungan Penulangan Geser Pada Balok	114
4.1.3. Pemutusan Tulangan Pada Balok	120
4.2 Perhitungan Penulangan Pada Kolom	121
4.2.1. Perhitungan Penulangan Lentur Kolom	121
4.2.2. Perhitungan Penulangan Geser Pada Kolom	138
4.2.3. Sambungan Tulangan Vertikal Kolom	141
4.3 Joint Rangka moment khusus.....	123
 BAB V PENUTUP.....	 147
5.1 Kesimpulan.....	147
5.2 Saran.....	148
 DAFTAR PUSTAKA.....	 149
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 : Perletakan Outrigger Pada Bangunan Tingkat Tinggi.....	3
Gambar 2.1 : Perilaku Dan Outrigger Dapat Dijelaskan Secara Diagramis..	9
Gambar 2.2 : Gambar Diagram tegangan Balok T.....	17
Gambar 2.3 : Diagram Gaya Geser	24
Gambar 2.4 : Diagram Regangan, Tegangan.....	27
Gambar 2.5 : Wilayah Gempa Indonesia.....	31
Gambar 2.6 : Respond Spectrum Gempa Rencana.....	32
Gambar 2.7 : Diagram Alir.....	25
Gambar 3.1 : Denah Struktur dan Denah lantai 1-15.....	49
Gambar 3.2 : Model 3 Dimensi Struktur Menggunakan Outrigger.....	49
Gambar 3.3 : Beban Gempa.....	63
Gambar 3.4 : Beban gempa Dan Spectrum Parameter	64
Gambar 3.5 : Beban gempa Dan Spectrum Parameter pairs	67
Gambar 3.6 : Portal 3D Dalam Bentuk Isometric.....	69
Gambar 3.7 : Potongan lantai 2.....	69
Gambar 3.8 : Potongan Lantai 3-15.....	70
Gambar 3.9 : Potongan Lantai 9.....	71
Gambar 3.10: Potongan Lantai Atap.....	75
Gambar 3.11: respons Spectrum Gempa rencana.....	77
Gambar 3.12: Grafik Simpangan Tingkat Arah X	81
Gambar 3.13: <i>Grafik Simpangan Tingkat Arah Z</i>	82
Gambar 4.1 : Panjang Beff	92
Gambar 4.2 : Momen Negatif Pada Penulangan Tumpuan.....	95
Gambar 4.3 : Letak Daerah Tekan Pada Plat.....	97
Gambar 4.4 : Momen Positif Pada Penulangan Lapangan.....	101
Gambar 4.5 : Letak Daerah Tekan Pada Plat.....	103
Gambar 4.6 : Momen Negatif Pada Penulangan Tumpuan.....	106
Gambar 4.7 : Momen Positif Pada Penulangan Tumpuan.....	110
Gambar 4.8 : Letak Daerah Tekan Pada Plat.....	111
Gambar 4.9 : Perataan Potal Line B.....	114

Gambar 4.10: Diagram Interaksi(10 D 28)	135
Gambar 4.11: Diagram Interaksi(12 D 28)	136
Gambar 4.10: Diagram Interaksi(16 D 28)	136

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Faktor keutamaan gempa	33
Tabel 2.2 : Koefisien situs ζ	42
Tabel 3.1 : Beban Gempa Dinamik	63
Tabel 3.2 :Berat dan Koordinat Lantai 2.....	70
Tabel 3.3 :Berat dan Koordinat Lantai 3-15.....	71
Tabel 3.4 :Berat dan Koordinat Lantai 9.....	72
Tabel 3.5 :Berat dan Koordinat Lantai Atap.....	73
Tabel 3.6 : Koordinat Perlantai	73
Tabel 3.7 :Berat Bangunan Perlantai.....	75
Tabel 3.8 :Koefisien Wilayah Gempa.....	76
Tabel 3.9 :Koordinat Perlantai.....	77
Tabel 3.10:Pembacaan Simpangan Antar Tingkat.....	78
Tabel 3.11:Kontrol Simpangan Antar Tingkat X.....	79
Tabel 3.12:Kontrol Simpangan Antar Tingkat Z.....	80
Tabel 3.11: Analisa Δs akibat gempa.....	84
Tabel 4.1 : Hasil Perhitungan Diagram Interaksi	134

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan **Skripsi** ini dengan benar. Hanya dengan pertolongan-Nya semata, Penulis dapat menyelesaikan dan menyusun laporan skripsi ini hingga selesai.

Dalam menyelesaikan laporan skripsi ini, penulis mengambil judul **” Perencanaan Gedung Ijen Padjajaran Suites Hotel Resort Nirwana Residence Malang Dengan Outrigger Sebagai Alternatif Element Penahan Gaya Horizontal Gempa ”**.

.Tak lepas dari berbagai hambatan, dan kesulitan yang muncul, namun berkat petunjuk dan bimbingan dari semua pihak yang telah membantu penulis dapat menyelesaikan Proposal ini. Sehubungan dengan hal tersebut dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA selaku Rektor ITN Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT selaku Dekan FTSP ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang. dan sebagai Koordinator Skripsi di bidang Struktur, serta Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
4. Ibu Lila Ayu Winanda, ST. MT. selaku Sekretaris Jurusan Program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.

5. Bapak Ir. H. Sudirman Indra, MSc. selaku sebagai dosen pembimbing 2 Skripsi.
6. Kedua Orang Tua dan semua keluarga besar saya yang telah memberikan kasih sayang dan doa serta Materi.
7. Semua rekan-rekan Mahasiswa-Mahasiswi Teknik Sipil S-1 ITN Malang yang selalu membantu dan memberi doa serta semangatnya dalam penyelesaian laporan ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih perlu penyempurnaan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan, Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Maret 2015

Dafid Akbar

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur atas nikmat dan karunia yang telah Allah S.W.T. berikan kepada hambamu ini sehingga mampu menyelesaikan studi di ITN Malang ini.

Sholawat serta salam hanya tercurah hanya kepada junjungan kita Rosullulah Muhammad S.A.W., atas telah memberi cahaya terang untuk hambamu ini.

SKRIPSI INI KUPERSEMBAHKAN KEPADA:

Terutama Kedua orang tua saya tercinta, saya sangat bangga atas perjuangan, pengorbanan, didikan bapak & ibu yang mendidiku dari masih kecil sampai dewasa hingga saya bisa kuliah dan Wisuda saat ini, saya sangat mengapresiasi atas dukungan penuh dari keluargaku yang tercinta baik Moral, Spiritual, Material selama saya kuliah, dan akhirnya inilah hadiah ku persembahkan untuk kalian. Saya selalu berdoa agar kasih dan karunia Allah selalu menyertai keluarga besar kita.. Amiiinn ya robbal alamin..

Kepada kedua kakak kandungku tercinta mbak Neng & mas Hanif sekeluarga entahlah terima kasih seperti apa yang harus digambarkan karena telah menjadi api semangat yang terus berkobar untuk selalu melakukan yang terbaik buat adik mu yang sedikit bandel ini dan aku harap jangan bosan-bosan mengomeli..hihihi

Kepada "The Gank Menclek" buat Raka (keceng), Tata (tacik), rizal (doel), Yoga (kipli), Epris (mbah), Samsuri (samukri), Dimas (black), Bima. Walaupun dari kalian ada yang wisuda duluan tp selalu saling mengingatkan dan komunikasi itu lah yang membuat ku jadi semangat melangkah untuk memperoleh gelar ST. terima kasih dukungan dan doanya semoga sukses trus dan rizki selalu di dekat kita..amin3x

Kepada teman-teman seangkatan 2009 dan semua teman di kampus ITN Malang, yang selalu membantu memberikan motivasi dan dukunganya sampai terselesainya skripsi ini. Terima kasih sebanyak-banyaknya Teruslah berjuang untuk mencapai cita-cita kita...semoga sukses semua dan teknik sipil kompak terus.

Buat pak trias selaku dosen bimbel selama 3 bulan lebih yang rela mengamalkan ilmu nya dan membimbing serta memberi motivasi agar selalu menjadi lebih baik untuk kedepannya

Buat Teman- Temanku kost 11D, Ais (valicuz) sepupuku yang sedikit males cepat diselesaikan kuliahnya biar kayak mas'e iki wes wisuda heheh,,faisal, nasrul, dika, david dan arek kost lawas Aan (sion), ari, Erwin, andre, dwi (unyl), arip (cupek), wintot, adi (kaconk) dkk. terima kasih banyak atas Motivasi dan Doanya semoga kita sukses semua..amiiiiinn, serta ibu kost terima kasih untuk tumpangan kamarnya yang selama 5 tahun lebih dengan penuh kenangan, moga sehat selalu ibu dan ngomelnya tolong agak di kurangi ,,hhh

Buat yushi nariswari terima kasih atas support dan inspirasi yang tak kunjung henti menyemangati ku

Buat semua saudara ku dan Teman-teman Main di rumah serta teman alumni SMA or dolor lawas, kostiaman (nyoz), anang (kliwon), musim, eddy, aji (banyack), adi (ambon) yang selalu nanyakan "kapan lulus men" dan masih banyak lagi terima kasih atas doa dan dukungannya.

Sekali Lagi buat semuanya terima kasih sebanyak-banyaknya atas semuanya doa dukungan maupun motivasinya mohon maaf sebanyak-banyaknya bila saya banyak kekurangan dan mohon di maklumi karena saya hanya manusia biasa yang tak luput dari yang namanya salah. Terimahkasih ^_^.

USAHA KERAS TAK AKAN PERNAH MENGHIANATI DAN SELALU BERSYUKUR UTAMAKAN BERUCAP HAMDALLAH SELALU BERDOA & SHOLAT.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Tinjauan Umum

Perkembangan teknologi perencanaan bangunan gedung tahan gempa terus mengalami perubahan. Perubahan-perubahan itu akan mempunyai efek yang signifikan pada desain dan pendetailan komponen-komponen struktur terutama yang terletak pada wilayah gempa yang beresiko tinggi. hal ini perlu diamati dan ditindak lanjuti oleh para sarjana teknik sipil dengan kajian-kajian yang lebih mendalam. Teknologi struktur bangunan akan dapat mencerminkan seberapa jauh konsep yang telah dikuasai para sarjana Teknik Sipil terutama di Indonesia.

Teknologi struktur bangunan memerlukan suatu ketentuan - ketentuan yang nantinya akan dibatasi kelayakan bangunan tersebut. struktur bangunan harus memiliki adaptasi kelayakan dari semua aspek yang berhubungan dengan kualitas bangunan tersebut seperti keamanan, kenyamanan, ekonomis dan nilai keindahan (estetika) sehingga diperlukan suatu teknologi struktur bangunan yang dapat menjangkau aspek-aspek tersebut.

Prosedur pembangunan pekerjaan stuktur beton harus direncanakan dengan cermat sebelum dimulai pelaksanaannya guna mencapai keseimbangan yang baik antara tingkat kekuatan struktur yang hendak dicapai dengan biaya yang harus dikeluarkan dalam rangka memenuhi persyaratan teknis pekerjaan (bestek) yang telah ditetapkan, maka dari itu prinsip-prinsip dasar pelaksanaan pekerjaan beton harus diterapkan dengan baik dilapangan.

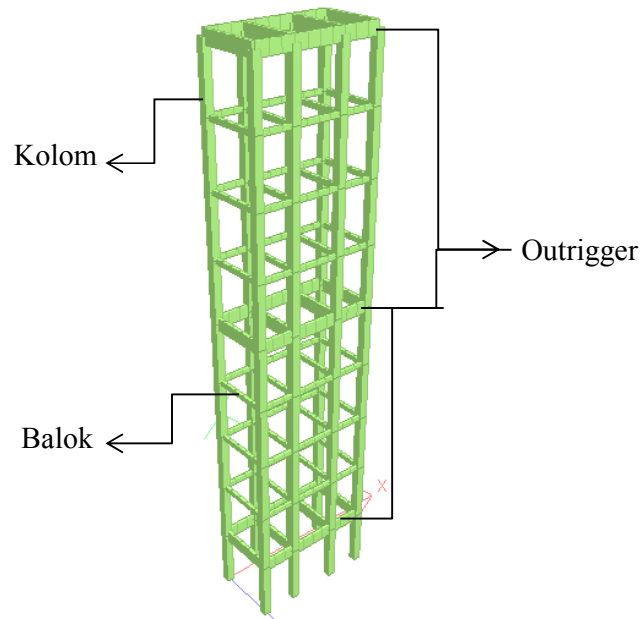
Konsep perencanaan dapat menjamin struktur tidak runtuh walaupun menerima energi gaya gempa melebihi kekuatan strukturnya. Suatu taraf pembebanan gempa yang sekian kali lebih kecil dari beban gempa maksimum dapat dipakai sebagai beban rencana sehingga dapat didesain secara lebih ekonomis.

1.2 Latar Belakang

Inovasi dalam perencanaan struktur terus menerus dikembangkan dalam mendesain bangunan tingkat tinggi dengan tujuan dapat menahan beban gempa dan tekanan angin. Pembangunan gedung tingkat tinggi dapat dilakukan jika teknik-teknik perencanaan pembangunan yang digunakan dapat memaksimalkan kapasitas dari bahan-bahan struktur tersebut. Seiring dengan perkembangan zaman, banyak sistem design dan metode perencanaan yang terus dikembangkan dalam dunia teknik sipil dan dapat digunakan untuk merencanakan bangunan tingkat tinggi, salah satunya adalah penerapan dan penggunaan sistem *Outrigger* pada bangunan tingkat tinggi.

Sistem *Outrigger* biasanya digunakan sebagai salah satu sistem struktur yang efektif untuk mengontrol beban yang bekerja secara lateral. Ketika beban lateral yang tergolong kecil maupun menengah bekerja pada suatu struktur, baik beban angin ataupun gempa yang menimbulkan respons pada bangunan, maka kerusakan struktur secara structural maupun non-struktural dapat dihindari. Sistem *outrigger* ini dapat dan umumnya di gunakan pada bangunan bertingkat tinggi yang juga terletak pada daerah yang merupakan zona gempa yang beresiko tinggi ataupun yang beban anginnya cukup berdampak pada bangunan.

Outrigger yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi tidak dipasang pada setiap lantai. Pemasangan *Outrigger* disesuaikan dengan kebutuhan dan perencanaan dari bangunan tersebut. Umumnya, di rencanakan pada tiga lantai yaitu pada puncak, tengah, dan lantai 2 portal. Dengan cara pembesaran hanya $2 \times H$.



Gambar 1.1 – Perletakan *Outrigger* pada bangunan tingkat tinggi

Pada study perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi suatu perencanaan struktur gedung bertingkat tinggi menggunakan metode *Outrigger* sebagai alternatif sistem struktur penahan gaya lateral gempa.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, penyusun dapat merumuskan masalah yang timbul yaitu :

1. Berapa besar simpangan horizontal yang terjadi ?
2. Berapa penulangan balok, *Outrigger*, dan *kolom* ?

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui simpangan horizontal yang terjadi
2. Mengetahui besar dan jumlah tulangan balok, *Outrigger*, dan *kolom*

1.5 Batasan Masalah

Untuk memudahkan dalam proses analisa yang akan dilakukan, maka dalam tulisan ini dilakukan pembatasan-pembatasan yang meliputi :

1. Menghitung simpangan horizontal (drift)
2. Menghitung besar dan jumlah tulangan balok, *Outrigger*, dan *kolom*

Peraturan yang digunakan :

1. Pembebanan sesuai dengan Pedoman Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung SKBI1.3.53.1-987.
2. Perencanaan struktur beton sesuai dengan S SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002.
3. Struktur penahan gempa sesuai dengan Struktur rangka pemikul moment khusus (SRPMK)

BAB II

DASAR DASAR PERENCANAAN

2.1 Tinjauan Umum

Dalam perancangan suatu gedung beton tahan gempa setidaknya harus mengacu pada peraturan SNI 03-2847-2002, yaitu Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung, dan SNI 03-1726-2002, yaitu Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung

Dalam merencanakan suatu struktur bangunan harus diperhatikan kekakuan, kestabilan struktur dalam menahan segala pembebanan yang dikenakan padanya, bagaimana perilaku struktur untuk menahan beban tersebut. Pada struktur stabil apabila dikenakan beban, struktur tersebut akan mengalami perubahan bentuk (*Deformasi*) yang lebih kecil dibandingkan struktur yang tidak stabil. Hal ini disebabkan karena pada struktur yang stabil memiliki kekuatan dan kestabilan dalam menahan beban. Struktur stabil ini misalnya struktur *Outrigger* (**Schodek, 1999**)

Pada beban gempa, bangunan mengalami gerakan vertical dan gerakan horizontal. Gaya inersia atau gaya gempa baik dalam arah vertical maupun horizontal akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya dalam arah vertical hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertical dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertical (**Muto, 1974**).

Gaya lateral pada struktur bangunan harus dipertimbangkan sama seperti gaya gravitasi. Gaya lateral dapat berupa tekanan angin atau gempa dari samping bangunan yang dapat menimbulkan defleksi lateral. Hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan bangunan yang memadai untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya terutama lantai atas. Semakin tinggi gedung, defleksi lateral yang terjadi juga semakin besar pada lantai atas (**Cormak, 1995**).

Suatu bangunan walaupun direncanakan berdasarkan analisa tahanan gempa bisa mengalami kerusakan bila memikul gaya gempa kuat yang tidak terduga. Kerusakan ini diakibatkan oleh respon selama gempa bumi yang menimbulkan deformasi yang besar diatas batas elastic, atau *deformasi inelastic*, dengan deformasi yang menetap setelah gempa bumi berakhir. Tingkat kerusakan yang timbul sangat tergantung pada deformasi residu (sisi). Pada kasus yang ekstrim, Keruntuhan bisa terjadi tetapi hal ini harus dihindari. Namun dari sudut ekonomi bangunan tidak dapat diharapkan terus aman dan benar - benar tidak rusak pada gempa bumi yang sangat kuat. Oleh karena itu, metode perencanaan yang umumnya diterima dewasa ini adalah menerapkan tingkat daya tahanan gempa yang logis (**Muto, 1974**)

Kekuatan yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor yang 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**)

Pertimbangan dalam memilih sistem struktur bergantung pada hal-hal berikut ini,

1. Pertimbangan ekonomis.

2. Kondisi tanah.
3. Rasio tinggi dengan lebar bangunan
4. Pertimbangan frabikasi dan pelaksanaan pembangunan
5. Pertimbangan mekanis
6. Pertimbangan tingkat bahaya kebakaran
7. Pertimbangan lokasi
8. Pertimbangan keters
9. ediaan bahan kontruksi utama

Sistem dan subsistem struktur beton bertulang dapat berupa

1. Portal (fram)
2. Dinding geser / dinding struktur (shearwall)
3. Sistem ganda (dual system)
4. Lantai diafragma
5. *Outrigger*
6. Core wall
7. Sistem tabung
8. Sistem majemuk

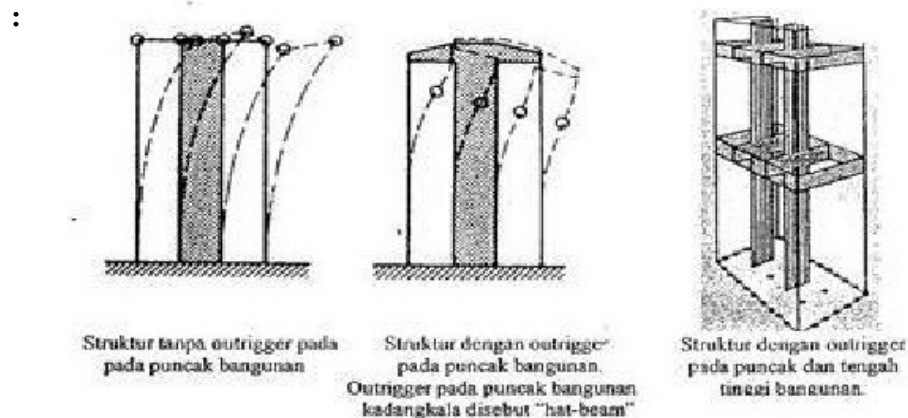
Sistem struktur yang dibahas dalam jurnal ini adalah sistem dan subsistem struktur beton bertulang, yaitu *outrigger*. *Outrigger* adalah komponen dinding yang berfungsi sebagai balok yang dapat mengurangi deformasi gedung tingkat tinggi dengan mengikat kolom-kolom perimeter.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk melihat bagaimana perilaku struktur gedung tahan gempa dengan menggunakan *outrigger*. Perilaku yang ditinjau

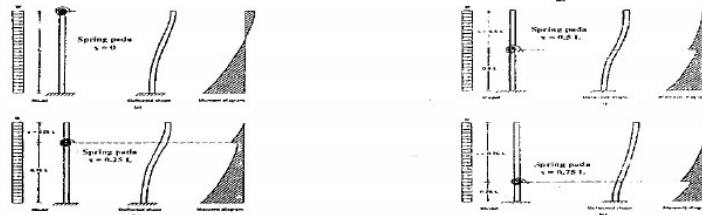
adalah parameter-parameter perilaku struktur seperti perioda alami (T), kuat lebih bahan (f_1), kuat lebih struktur (f_2), daktilitas struktur, faktor reduksi gempa (R), kekakuan (K), dan deformasi.

untuk mengurangi deformasi atap dan simpangan antar tingkat gedung. Keberadaan outrigger di lantai-lantai penempatan *outrigger* menyebabkan pengurangan simpangan antar tingkat dan menurunnya besar deformasi lantai dibanding deformasi lantai tanpa penempatan *outrigger*.

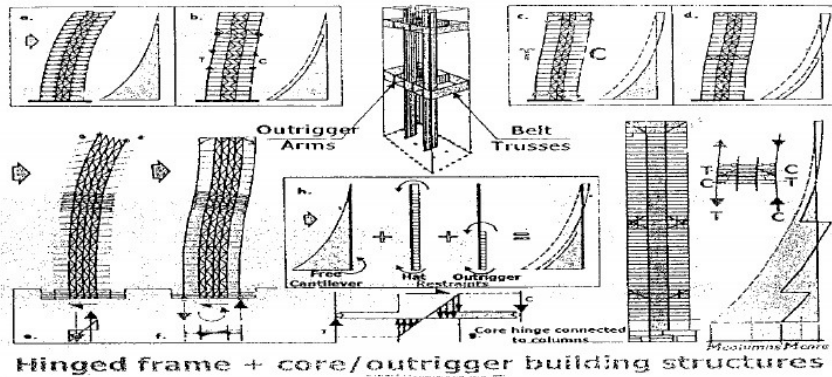
Jadi, *outrigger* berguna untuk meningkatkan kekakuan dan mengurangi deformasi struktur berupa simpangan antar tingkat maupun deformasi atap struktur. Penempatan outrigger harus ditempatkan di tempat-tempat tertentu di mana perilaku struktur yang paling baik dapat diperoleh dan outrigger tidak menyebabkan penambahan beban lebih besar dibanding penambahan kekakuan.



Gambar 2.1 Perilaku dari *outrigger* dapat dijelaskan secara diagramatis sebagai berikut



Pada gambar diatas outrigger dimodelkan sebagai tahanan pegas dan dengan demikian terjadi reduksi momen pada core, reduksi yang terjadi berbeda tergantung besarnya tahanan pegas dan letak perletakan outrigger-nya.



2.2 Pembebanan

Untuk merencanakan suatu desain struktur tentunya perlu gambaran yang jelas mengenai beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, dari perilaku dan besaran beban tersebut. Hal ini sudah diatur oleh peraturan tentang ketentuan-ketentuan pembebanan dalam merencanakan suatu struktur (SKBI-1.3.53.1987 Dep. PU) tentang pembebanan untuk bangunan rumah dan gedung.

2.2.1 Beban Vertikal

a. Beban Mati

Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen atau berat elemen struktur dan beban tetap pada struktur, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

b. Beban Hidup

Beban Hidup adalah beban yang dihasilkan akibat penggunaan dan penghunian gedung atau struktur lainnya. Dalam hal ini, untuk gedung Hotel diambil berdasarkan tabel 2 SKBI-1.3.53.1987 Dep. PU (hal 12) dengan beban hidup merata sebesar $25 \text{ kN/m}^2 = 250 \text{ kg/m}^2$. Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.

2.3 Pengaruh Gempa Vertikal

Walaupun percepatan-percepatan vertikal yang besar telah dicatat dekat pada pusat dari banyak gempa, respon dari struktur-struktur gedung terhadap gerakan tersebut belum banyak diketahui. Karena itu dianggap bahwa tersedianya hasil penelitian lebih lanjut mengenai respon dari struktur-struktur gedung terhadap gerakan vertikal, hanya beberapa bagian yang kritis dari struktur gedung.

- **Beban Gravitasi Vertikal**

Beban-beban hidup pada struktur gedung pada umumnya direduksi pada waktu analisa gempa pada struktur tersebut sehubungan dengan kecilnya kemungkinan bekerjanya beban hidup penuh dan pengaruh gempa penuh secara bersamaan pada struktur secara keseluruhan diagram koefisien gempa dasar C atau zona gempa wilayah 4.

2.4 Eksentrisitas Pusat Massa Terhadap Pusat Kekakuan

Pusat massa adalah titik tangkap teoritis dari beban geser tingkat dan harus dihitung sebagai titik pusat dari semua beban gravitasi yang bekerja di atas lantai tingkat yang ditinjau dan yang ditumpu pada tingkat lantai itu. Sedangkan pusat kekakuan adalah titik tangkap resultan gaya geser gempa yang bekerja di dalam semua penampang unsur vertikal (kolom-kolom dan dinding geser) yang terdapat pada lantai tingkat yang bersangkutan.

Antara pusat massa dan pusat kekakuan struktur harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana e_d . Dimana e_d merupakan eksentrisitas teoritis yang terhitung dan b merupakan dimensi rencana secara keseluruhan sebuah bangunan yang diukur pada sisi yang tegak lurus terhadap arah pembebanan gempa. Maka eksentrisitas rencana e_d harus ditentukan sebagai berikut :

Untuk $0 < e \leq 0,3 b$, maka :

$$e_d = 1,5e + 0.05 b$$

atau

$$e_d = e - 0.05 b$$

Dan dipilih diantara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau :

Untuk $e > 0,3 b$, maka :

$$e_d = 1,33 e + 0,1 b$$

atau

$$e_d = 1,17 e - 0,1 b$$

Dan dipilih diantara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau. (SNI 03-1726-2002 psl. 5.4.3)

Pasal ini menetapkan suatu eksentrisitas rencana antara pusat massa dan pusat kekakuan pada tiap lantai tingkat, mengingat dalam kenyataannya eksentrisitas tersebut dapat menyimpang jauh dari yang dihitung secara teoritis. Ada dua sumber penyebab dari penyimpangan ini, sumber penyebab pertama adalah pembesaran dinamik akibat perilaku struktur yang non linier pada tahap pembebanan gempa pasca elastik. Sumber penyebab kedua adalah adanya komponen rotasi dari gerakan tanah melalui sumbu vertikal, perbedaan dalam nilai kekakuan struktur, nilai kekuatan leleh baja, nilai beban mati serta nilai distribusi beban hidup, antara yang dihitung secara teoritis dan kenyataan sesungguhnya. Sehubungan dengan adanya dua sumber penyebab penyimpangan di atas, maka eksentrisitas rencana e_d terdiri dari dua suku. Suku yang pertama merupakan fungsi dari eksentrisitas teoritis e , adalah untuk mengatasi pengaruh sumber penyebab pertama. Suku kedua merupakan fungsi dari ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung tegak lurus pada arah beban gempa b , adalah untuk mengatasi sumber pengaruh penyebab kedua. Pengaruh sumber penyebab pertama adalah lebih dominan pada eksentrisitas yang kecil ($0 < e \leq 0,3 b$), sedangkan sumber penyebab kedua adalah yang lebih dominan pada eksentrisitas yang besar ($e > 0,3 b$). Pada keadaan perbatasan $e = 0,3 b$ tentu didapat eksentrisitas rencana e_d yang sama.

2.5 Balok T

Berikut ketentuan-ketentuan yang harus diperhatikan dalam merencanakan balok T sesuai dengan SNI 03-2847-2002 pasal 10.10:

- Pada konstruksi balok-T, sayap dan badan balok harus dibangun menyatu atau bila tidak dilekatkan bersama secara efektif
- Lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh melebihi seperempat panjang bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:
 - Delapan kali tebal slab, dan
 - Setengah jarak bersih ke badan disebelahnya.
- Untuk balok dengan slab pada satu sisi saja, lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:
 - Seperduabelas panjang bentang balok
 - Enam kali tebal slab, dan
 - Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya.
- Balok yang terpisah, dimana bentuk-T digunakan untuk memberikan sayap untuk luasan tekan tambahan, harus mempunyai ketebalan sayap tidak kurang dari setengah lebar badan dan lebar efektif sayap tidak lebih dari empat kali lebar badan.
- Bila tulangan lentur utama pada slab yang dianggap sebagai sayap balok-T (tidak termasuk konstruksi balok usuk) paralel dengan balok, tulangan tegak lurus terhadap balok harus disediakan pada sisi teratas slab sesuai dengan berikut ini:

- Tulangan transversal harus didesain untuk memikul beban terfaktor pada lebar slab yang menggantung yang diasumsikan bekerja sebagai kantilever. Untuk balok yang terpisah, seluruh lebar sayap yang menggantung harus diperhitungkan. Untuk balok-T lainnya, hanya lebar yang menggantung perlu diperhitungkan.
- Tulangan transversal harus dispasikan tidak lebih jauh dari lima kali tebal slab, atau juga tidak melebihi 450 mm.

2.6 Perencanaan Balok dengan Tulangan Tekan dan Tarik (Rangkap)

2.6.1 Balok T Tulangan Rangkap

Perencanaan balok T tulangan rangkap adalah proses memnentukan dimensi tebal dan lebar flens. Lebar dan tinggi efektif badan balok, dan luas tulangan baja tarik. Balok T juga didefenisikan sebagai balok yang menyatu dengan plat, dimana plat tersebut mengalami tekanan.

Dengan nilai $M_{D b}$, $M_{L b}$, $M_{E b}$, (Statika/ hasil STAAD PRO 2004),Dimana kombinasi untuk M_u balok :

$$= 1,4 M_{D b}$$

$$= 1,2 M_{D b} + 1,6 M_{L b}$$

$$= 1,2 M_{D b} + 1,0 M_{L b} \pm 1,0 M_{E b}$$

$$= 0,9 M_{D b} \pm 1,0 M_{E b}$$

Dimana :

M_D = Momen lentur komponen portal akibat beban mati tak terfaktor

M_{Lb} = Momen lentur komponen portal akibat beban hidup tak terfaktor

M_{Eb} = Momen lentur komponen portal akibat beban gempa tak terfaktor

Dari keempat kombinasi diatas maka diambil nilai M_u yang paling besar . Balok persegi memiliki tulangan rangkap apabila momen yang harus ditahan cukup besar dan $A_s \text{ perlu} > A_s \text{ maks}$.

Untuk tulangan maksimum ada persyaratan bahwa balok atau komponen struktur lain yang menerima beban lentur murni harus bertulang lemah (under reinforced) SNI-03-2847-2002 hal 70 memberikan batasan tulangan tarik maksimum sebesar 75% dari yang diperlkan pada keadaan regang seimbang. $A_s \text{ maks} = 0,75 \rho_b$

$$A_s \text{ maks} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Untuk tulangan minimum agar menghindari terjadinya kehancuran getas pada balok, maka SNI 03-2847-2002 pada halaman 71-72 juga mengatur jumlah minimum tulangan yang harus terpasang pada balok, yaitu :

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} \cdot b_w \cdot d \quad \text{dan tidak boleh lebih kecil dari } A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d$$

Langkah – langkah perencanaan balok T tulangan rangkap

➤ Dapatkan nilai $M_{D b}$, $M_{L b}$, $M_{E b}$, (Statika/ hasil STAAD PRO 2004)

Dimana kombinasi untuk M_u balok :

$$= 1,4 M_{D b}$$

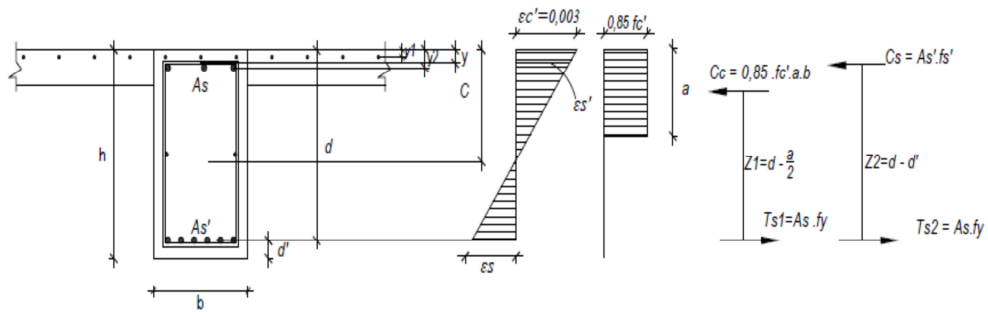
$$= 1,2 M_{D b} + 1,6 M_{L b}$$

$$= 1,2 M_{D b} + 1,0 M_{L b} \pm 1,0 M_{E b}$$

$$= 0,9 M_{D b} \pm 1,0 M_{E b}$$

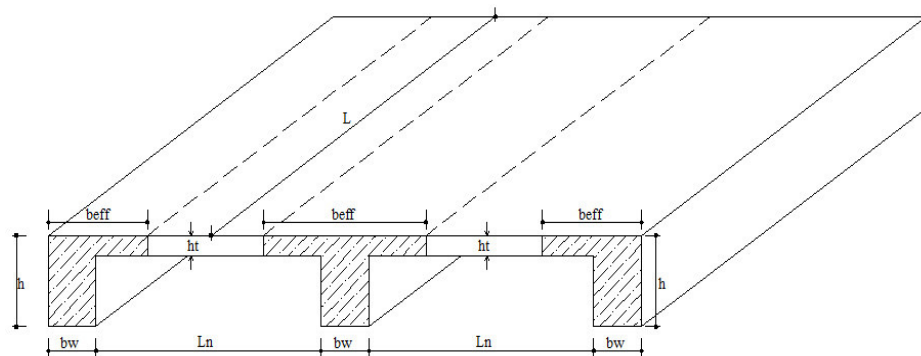
1. Tentukan tulangan tarik dan tekan

2. Hitung nilai $d' = \text{tebal selimut beton} + \text{diameter sengkang} + \frac{1}{2} \times \text{diameter tulangan tarik}$. Setelah itu hitung $d = h - d'$.



Gambar 2.2 Diagram Tegangan Balok T

Menurut SNI03-2847-2002 pasal 10.10, lebar plat efektif yang diperhitungkan bekerja sama dengan rangka menahan momen lentur di tentukan sebagai berikut :



- a. Jika balok mempunyai plat dua sisi.

Lebar efektif diambil nilai terkecil dari :

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{1}{4} L$$

$$b_{\text{eff}} \leq bw + 8 ht \text{ (kiri)} + 8 ht \text{ (kanan)}$$

$$b_{\text{eff}} \leq b_w + \frac{1}{2} L_n (\text{kiri}) + \frac{1}{2} L_n (\text{kanan})$$

b. Jika balok hanya mempunyai plat satu sisi.

Lebar efektif diambil nilai terkecil dari :

$$b_{\text{eff}} \leq 1/12 L$$

$$b_{\text{eff}} \leq b_w + 6 h_t$$

$$b_{\text{eff}} \leq b_w + \frac{1}{2} L_n$$

3. mencari letak garis netral

Analisis balok bertulangan rangkap dimana tulangan tekan sudah leleh. Misalkan tulangan tarik dan tulangan tekan leleh.

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

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = A_s' \cdot f_y$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow C_c + C_s = T_s$$

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

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_y = f_y (A_s - A_s')$$

$$\text{Sehingga nilai : } a = \frac{f_y (A_s - A_s')}{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b} \cdot b_w \cdot d$$

Dengan nilai tersebut kita kontrol regangan yang terjadi apakah tulangan tekan leleh apa belum. Jika leleh, perhitungan dapat dilanjutkan dan jika belum leleh nilai a kita hitung kembali dengan persamaan lain.

$$\text{Tinggi garis netral } c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Dari diagram regangan $\frac{\epsilon' s}{\epsilon' c} = \frac{(c-d')}{c} \rightarrow \epsilon' s = \frac{(c-d')}{c} \epsilon' c$

Jika $\epsilon_s' < \epsilon_y = f_y / E_s \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan diulang.

Jika $\epsilon_s' > \epsilon_y = f_y / E_s \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan dilanjutkan.

$$M_n = C_c \cdot z_1 + C_s \cdot z_2 \text{ dimana : } z_1 = d - \frac{a}{2} \text{ dan } z_2 = z - z'$$

Analisis balok bertulang rangkap dimana tulangan tekan belum leleh.

Ini terjadi jika nilai $\epsilon' > \epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$

Untuk itu dicari nilai a dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Sigma H = 0, \text{ maka } C_c + C_s = T_s$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s \text{ dimana : } \epsilon' s = \frac{(c-d')}{c} \epsilon' c$$

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} \epsilon' c \cdot E_s = \frac{(c-d')}{c} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

$$f_s' = \frac{(c-d')}{c} \cdot 600$$

$$\text{Maka } 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot \frac{(c-d')}{c} \cdot 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) \cdot x + A_s' \cdot (c-d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

Dengan substitusi nilai $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c-d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + A_s' \cdot (c-d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1.b) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - As \cdot fy \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta 1.b) \cdot c^2 + (600 \cdot As' - As \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d = 0$$

Dengan rumus ABC nilai x dapat dihitung :

$$c_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

Selanjutnya dapat dihitung dengan nilai-nilai :

$$fs' = \frac{(c - d')}{c} \cdot 600$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c' \cdot a \cdot b \quad \text{dimana } a = \beta 1 \cdot x$$

$$Cs = As' \cdot fs'$$

$$z_1 = d - \frac{a}{2} \quad \text{dan} \quad z_2 = d - d'$$

$$Mn = Cc \cdot z_1 + Cs \cdot z_2$$

$$\text{Dari diagram regangan} \quad \frac{\varepsilon' s}{\varepsilon' c} = \frac{(c - d')}{c} \rightarrow \varepsilon' s = \frac{(c - d')}{c} \varepsilon' c$$

Jika $\varepsilon_s' < \varepsilon_y = fy / \varepsilon_s \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan diulang.

Jika $\varepsilon_s' > \varepsilon_y = fy / ES \rightarrow$ berarti tulangan tekan belum leleh maka perhitungan dilanjutkan.

$$Mn = Cc \cdot z_1 + Cs \cdot z_2 \quad \text{dimana : } z_1 = d - \frac{a}{2} \quad \text{dan} \quad z_2 = z - z'$$

Analisis balok bertulang rangkap dimana tulangan tekan belum leleh.

$$\text{Ini terjadi jika nilai } \varepsilon' > \varepsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

Untuk itu dicari nilai a dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Sigma H = 0, \text{ maka } Cc + Cs = Ts$$

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot fs' = As \cdot fy$$

$$fs' = \varepsilon_s' \cdot Es \text{ dimana : } \varepsilon_s' = \frac{(c - d')}{c} \varepsilon'c$$

$$fs' = \frac{(c - d')}{c} \varepsilon'c \cdot Es = \frac{(c - d')}{c} \cdot 0,003 \cdot 200000$$

$$fs' = \frac{(c - d')}{c} \cdot 600$$

$$\text{Maka } 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \cdot 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

Dengan substitusi nilai $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - As \cdot fy \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 \cdot As' - As \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d = 0$$

Dengan rumus ABC nilai x dapat dihitung :

$$c_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

Selanjutnya dapat dihitung dengan nilai-nilai :

$$fs' = \frac{(c - d')}{c} \cdot 600$$

$$Cc = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \quad \text{dimana } a = \beta_1 \cdot c$$

$$Cs = As' \cdot fs'$$

$$z_1 = d - \frac{a}{2} \quad \text{dan} \quad z_2 = d - d'$$

$$Mn = Cc.z_1 + Cs.z_2$$

2.6.2 Perencanaan Balok Terhadap Geser

Komponen struktur yang mengalami lentur akan mengalami juga kehancuran geser, selain kehancuran tarik / tekan. Sehingga dalam perencanaan struktur yang mengalami lentur selain direncanakan tulangan lentur, juga harus direncanakan tulangan geser.

Kuat geser pada struktur yang mengalami lentur SNI 2002 Pasal 13.1.1 adalah:

$$\phi Vu \geq Vn$$

$$Vn = Vc + Vs$$

Dimana :

Vu = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

Vc = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton pada penampang yang ditinjau

Vs = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan pada penampang yang di tinjau

Vn = kuat geser nominal pada penampang yang ditinjau

Gaya geser terfaktor (Vu) ditinjau pada penampang sejarak (d) dari muka tumpuan dan untuk penampang yang jaraknya kurang dari d dapat direncanakan sama dengan pada penampang yang sejarak d .

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sesuai dengan SNI 2002 Pasal 13.3.1 adalah :

$$Vc = 1/6 \cdot \sqrt{fc'} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana :

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat terkan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal

Ada dua keadaan :

Bila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser minimum dengan luas tulangan :

$$A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}$$

Dan bila $V_u > \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser, sedangkan besar gaya geser yang disumbangkan oleh tulangan adalah:

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

Dimana :

A_v = luas tulangan geser dalam daerah sejarak s

$$A_v = n \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot d^2$$

n = Jumlah kaki pada sengkang

S = spasi tulangan geser dalam arah paralel dengan tulangan longitudinal

Sedangkan untuk spasi sengkang adalah :

$$S \leq 1/2 d$$

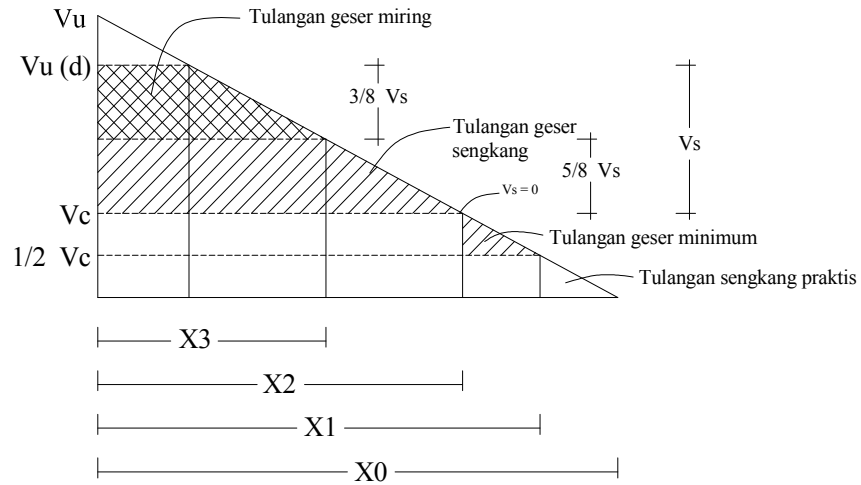
$$S \leq 600 \text{ mm}$$

Sedangkan bila $V_s > \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{3} \right) b_w d$, maka spasi tulangan adalah :

$$S \leq 1/4 d$$

$$S \leq 300 \text{ mm}$$

Dalam hal ini V_s tidak boleh lebih besar dari $\left(\frac{2}{3}\right)\sqrt{f_c'} b_w d$



Gambar 2.3. Diagram Gaya Geser dan Daerah penempatan Tulangan Geser

Keterangan gambar :

X_0 = $\frac{1}{2}$ bentang atau jarak dari perletakan ke suatu titik dimana $V_u=0$

X_1 = daerah yang harus dipasang tulangan geser

X_2 = daerah yang harus dipasang tulangan geser yang diperlukan

X_3 = daerah untuk tulangan geser miring

Ada beberapa kondisi dalam menghitung tulangan geser :

1. Bila $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$ maka pada kondisi ini tidak diperlukan tulangan geser.
2. Bila $\phi V_c > V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$ maka pada kondisi ini dipasang tulangan geser minimum.

3. Bila $\phi V_c > V_u > \phi (5/6 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d)$ maka diperlukan tulangan geser.
4. Bila $\phi v_u > \phi (5/6 \sqrt{f_c'} bw \cdot d)$ maka dimensi diperbesar
5. Dimana : $(V_c + V_{s \text{ maks}}) = (1/6 + 2/3) \sqrt{f_c'} bw \cdot d = 5/6 \sqrt{f_c'} \cdot bw \cdot d$

2.7 Perencanaan Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menahan beban aksial tekan, vertical dengan tinggi ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil apabila rasio bagian tinggi dengan dimensi lateral kecil kurang dari tiga disebut pedestal. Kegagalan kolom akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengan kolom. Umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen desak bersifat mendadak, tanpa diawali dengan peringatan yang jelas. Oleh sebab itu perencanaan struktur kolom harus diperhitungkan secara cermat cadangan kekuatan yang lebih tinggi dari pada komponen struktur lainnya. Kolom tidak hanya menerima beban aksial vertikal tetapi juga menerima momen lentur, sehingga analisa kolom diperhitungkan untuk menyangga beban aksial desak dengan eksentrisitas tertentu. (**Amrinsyah Nasution hal : 219**)

Kolom harus derencanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimal dari momen terhadap beban aksial juga harus diperhitungkan. (**SNI - 03 - 2847 - 2002 psl 10.1**)

2.8 Perencanaan Penulangan Kolom Portal Terhadap Lentur dan Aksial

Kolom-kolom di dalam sebuah konstruksi meneruskan beban dari balok dan plat-plat ke bawah sampai kepondasi, dan kolom-kolom merupakan bagian konstruksi tekan, meskipun mereka mungkin harus pula menahan gaya-gaya lentur akibat kontinuitas konstruksi.

- Momen Ultimit (M_u)
Dari perhitungan statika momen
- Beban aksial terfaktor, normal terhadap penampang (P_u)
Dari perhitungan statika gaya normal.
- Luas tulangan longitudinal komponen struktur tekan non komposit tidak boleh kurang dari 0,01 ataupun lebih dari 0,08 kali luas bruto penampang A_g (1% - 8% A_g). Penulangan yang lazim digunakan antara 1,5% - 3%.
- Rasio tulangan tarik yang diperlukan kolom :

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b.d}$$

Dengan nilai $d = h-d'$, maka dapat dihitung luas tulangan

$$A_s = \rho . b . d$$

Dimana :

d = jarak dari serat sengkang terluar ke pusat tulangan tarik
(mm)

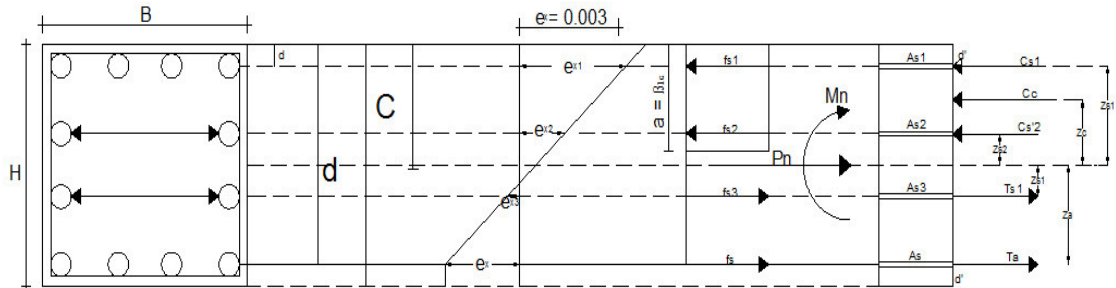
d' = jarak dari serat sengkang terluar ke pusat tulangan tekan
(mm)

h = tinggi kolom (mm)

b = lebar kolom (mm)

A_s = luas tulangan tarik (mm^2)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} > 0,01$$



Gambar 2.4 Diagram Regangan, Tegangan dan Gaya Dalam Penampang

Tinggi blok tegangan tekan keadaan berimbang

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

Dimana :

β_1 = faktor reduksi tinggi blok tegangan tekan ekivalen

c_b = keadaan keseimbangan regangan

Regangan tekan baja (ϵ_s')

$$\epsilon_s' = \frac{Cb - d'}{Cb} \cdot \epsilon_c'$$

Dimana :

ϵ_c' : regangan tekan beton = 0,003

- Jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka kondisi baja tekan “leleh” sehingga tegangan tekan baja $f_s' = f_y$.

- Jika $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$, maka kondisi baja tekan “belum leleh” sehingga tegangan tekan baja $f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$

Dimana :

ϵ_y = regangan luluh

$$= \frac{F_y}{E_s}$$

E_s = Modulus elastisitas baja

Kuat beban aksial nominal

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b + A_s' \cdot f_y - A_s \cdot f_y (d - y)$$

$$M_{nb} = P_{nb} e$$

$$M_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \left(y - \frac{ab}{2} \right) + A_s' \cdot f_s \cdot (y - d') + A_s \cdot f_y (d - y)$$

- Jika $\phi P_{nb} > P_u$, maka kolom akan mengalami hancur dengan diawali luluhnya tulangan tarik.
- Jika $\phi P_{nb} < P_u$, maka kolom akan mengalami hancur dengan diawali beton didaerah tekan.

Pemeriksaan kekuatan penampang:

$$P_n = \frac{A_s' \cdot f_y}{\frac{e}{(d-d')} + 0,50} + \frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,18}$$

Jika $\phi P_{nb} > P_u$, maka penampang kolom memenuhi persyaratan.

Pemeriksaan tegangan pada tulangan:

$$a = \frac{P_n}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

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

$$f_s' = 0,003 \cdot E_s \cdot \frac{(c-d')}{c}$$

2.9 Kolom Eksentrisitas Kecil

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang berfungsi untuk menyangga beban aksial tekan vertikal dengan eksentrisitas tertentu yang mana bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Jika nilai eksentrisitas $e = \frac{M}{P} \leq e_{min}$, maka kolom tersebut dikategorikan sebagai kolom dengan eksentrisitas kecil, yang mana harga e minimum adalah $0.01 h$ jika menggunakan pengikat sengkang dan $0.05 h$ jika menggunakan pengikat spiral.

Analisis kolom dengan beban aksial eksentrisitas kecil pada hakekatnya adalah pemeriksaan terhadap kekuatan maksimal bahan yang tersedia, yaitu :

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g}$$

Yang mana harga tersebut harus berkisar $0.01 \leq \rho_g \leq 0.08$, sehingga kuat beban aksial maksimum adalah sebagai berikut:

$$\phi P_n = 0.85 \phi \{ 0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \} \rightarrow \text{pengikat spiral}$$

$$\phi P_n = 0.80 \phi \{ 0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \} \rightarrow \text{pengikat sengkang}$$

2.10 Kolom Eksentrisitas Besar

Jika nilai eksentrisitas $e = \frac{M}{P} \geq e_{min}$, maka pada analisis selanjutnya, harus membandingkan nilai P_n dan M_n , P_b dan M_b . Keadaan seimbang adalah pada saat regangan beton mencapai 0.003 dan bersamaan pula tegangan pada batang tulangan mencapai leleh.

Dengan definisi :

P_b = Kuat beban aksial nominal pada keadaan seimbang

c_b = jarak dari serat tepi tekan ke garis netral keadaan seimbang

Maka berdasarkan diagram diagram regangan tegangan keadaan seimbang dapat diperoleh:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

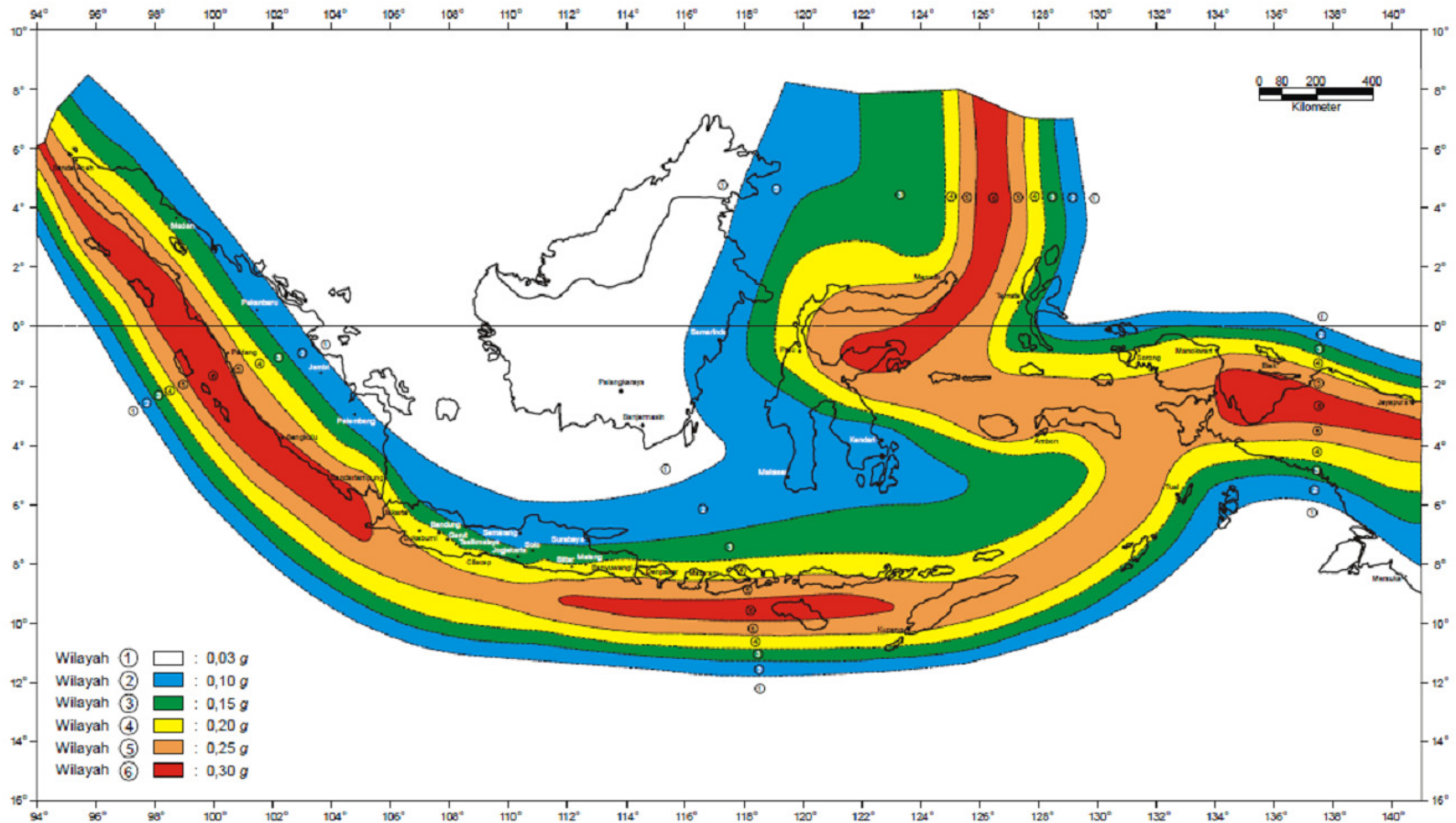
$$a_b = \beta_1 \cdot c_b$$

$$P_b = D_1 + D_2 - T$$

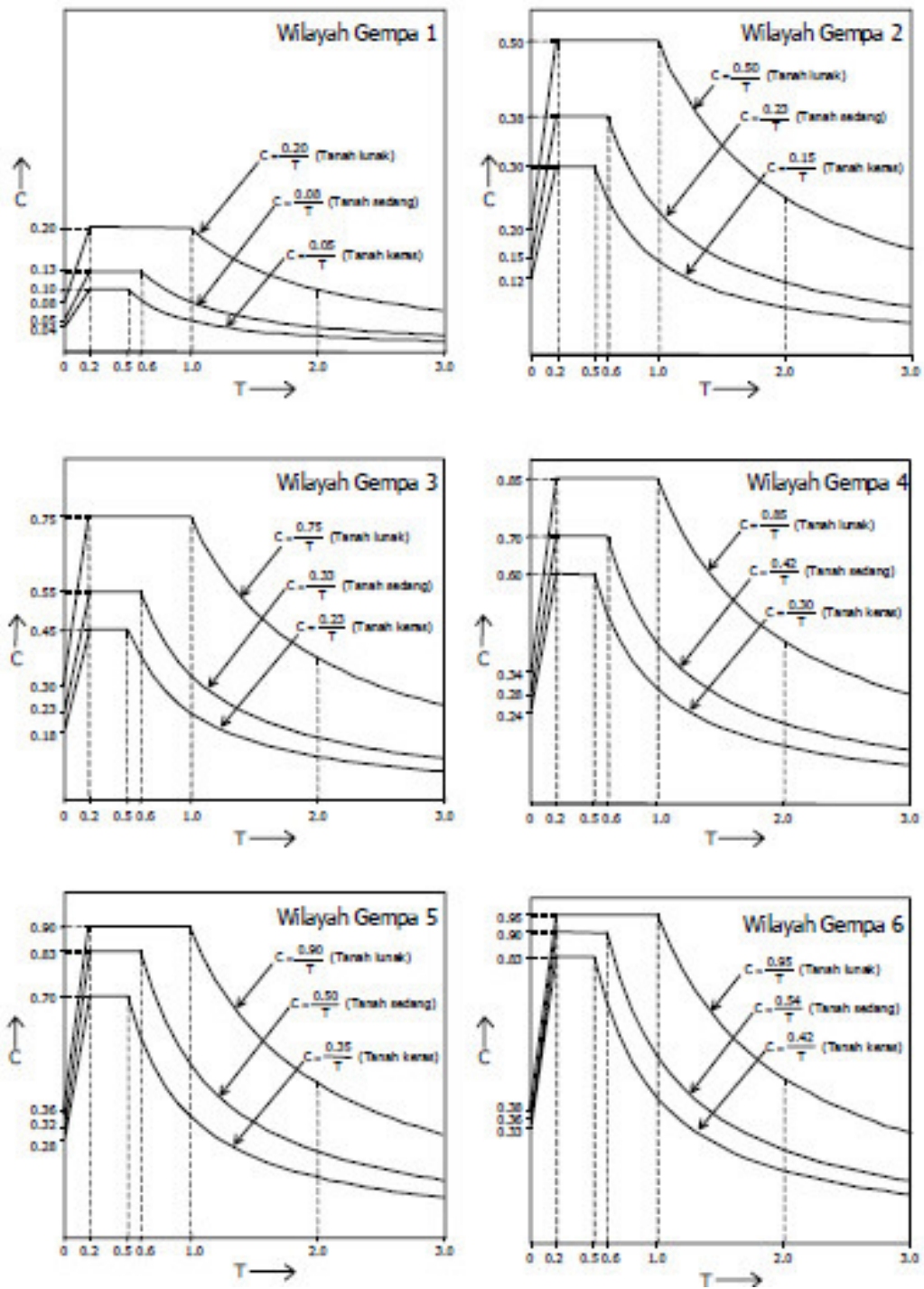
$$M_{nb} = P_b e_b$$

Jika $P_u < P_b$, maka model keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan tarik sehingga kapasitas penampang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \left\{ \left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2m\rho\left(1 - \frac{d'}{d}\right)} \right\}$$



Gambar 2.5. Wilayah Gempa Indonesia dengan Percepatan Puncak Batuan Dasar dengan Periode Ulang 500 Tahun



Gambar 2.6 Respons Spektrum Gempa Rencana

2.11 Faktor Reduksi Gempa (R)

Faktor reduksi gempa adalah rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gempa elastic penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut, faktor reduksi representative struktur gedung tidak beraturan.

Tabel 2.1 Faktor Daktilitas Maksimum, Faktor Reduksi Gempa Maksimum, Faktor Tahanan lebih Struktur dan Faktor Tahanan Lebih Total Beberapa Jenis Sistem dan Subsistem Struktur Gedung. (SNI – 1726 – 2002)

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m Pers. (6)	f Pers. (39)
Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul bebab gravitasi secara lengkap.Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul didinding geser atau rangak bresing	1. Dinding Geser beton	2.7	4.5	2.8
	2. Dinding penumpu dengan baja ringan dan bresing tarik	1.8	2.8	2.2
	3.Rangka Bresing dimana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a.Baja	2.8	4.4	2.2
	b.Beton (Tidak untuk wilayah 5 & 6)	1.8	2.8	2.2

Keterangan Tabel :

μ_m adalah faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama.

Rm adalah faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu jenis atau subsistem struktur gedung.

f adalah kuat lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan rasio antara beban maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan dan beban gempa nominal.

2.12 Analisa Beban Lateral Gempa

Analisa beban lateral gempa adalah beban yang sebenarnya dikaitkan dengan gempa pada struktur. Beban ini berupa “*BASE MOTION*” yang merupakan “Percepatan Tanah Dasar” . Di Indonesia dibagi menjadi enam wilayah zona gempa. Pada Tugas Akhir ini direncanakan dengan wilayah gempa 4 (sedang) yang mempunyai nilai reduksi gempa (R) sebesar 5,5 dengan daktilitas sedang.

Analisa dinamik harus dilakukan untuk struktur gedung-gedung sebagai berikut :

1. Gedung-gedung yang strukturnya sangat tidak beraturan.
2. Gedung-gedung dengan loncatan bidang muka yang besar.
3. Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
4. Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 m.
5. Gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

Analisa beban lateral gempa yang ditentukan dalam peraturan ini didasarkan atas perilaku struktur yang bersifat elastis penuh dan dengan meninjau gerakan gempa dalam satu arah saja. Untuk gedung Ijen Padjadjaran Suites Hotel Resort And Convention Hall yang mempunyai bentuk struktur yang tidak simetris 15 lantai dengan tinggi lebih dari 40 m, maka gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respon dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respon struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi, dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama harus dominan dalam translasi.

2.13 Kombinasi Pembebanan

Untuk perhitungan dengan cara SNI 03 – 2847 – 2002 kombinasi yang digunakan adalah pasal 11.2:

Untuk Bangunan Gedung menentukan nilai kuat perlu sebagai berikut :

1. Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,4D \quad \text{(persamaan 1.1)}$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L , dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan :

$$U = 1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R) \quad \text{(persamaan 1.2)}$$

2. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L , dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu :

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,6W + 0,5(A \text{ atau } R) \quad (\text{persamaan 2.1})$$

Kombinasi beban juga harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, yaitu :

$$U = 0,9D \pm 1,6W \quad (\text{persamaan 2.2})$$

Perlu dicatat bahwa untuk setiap kombinasi beban D, L, dan W, kuat perlu U tidak boleh kurang dari persamaan 1.2

3. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa E harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka nilai kuat perlu U harus diambil sebagai :

$$U = 1,2D + 1,0L \pm 1,0E \quad (\text{persamaan 3.1})$$

Atau

$$U = 0,9D \pm 1,0E \quad (\text{persamaan 3.2})$$

Dalam hal ini nilai E ditetapkan berdasarkan ketentuan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2003)

4. Bila ketahanan tekanan tanah H diperhitungkan dalam perencanaan, maka pada persamaan 1.2, 2.2, dan 3.2 ditambahkan $1,6H$, kecuali bahwa pada keadaan dimana aksi struktur akibat H mengurangi pengaruh W atau E, maka beban H tidak perlu ditambahkan pada persamaan 2.2 dan 3.2.
5. Bila ketahanan terhadap pembebanan akibat berat dan tekanan fluida F yang berat jenisnya dapat ditentukan dengan baik, dan ketinggian maksimum terkontrol, diperhitungkan dalam perencanaan, maka

beban tersebut harus dikalikan dengan faktor beban 1,4 dan ditambahkan pada persamaan 1.1, yaitu :

$$U = 1,4(D \pm F)$$

Untuk kombinasi beban lainnya, beban F tersebut harus dikalikan dengan faktor beban 1,2 dan ditambahkan pada persamaan 1.2

6. Bila ketahanan terhadap pengaruh kejut diperhitungkan dalam perencanaan maka pengaruh tersebut harus disertakan pada perhitungan bebanhidup L.

7. Bila ketahanan structural T dari perbedaan penurunan pondasi, rangkai, susut, ekspansi beton, atau perubahan sangat menentukan dalam perencanaan, maka kuat perlu U minimum harus sama dengan :

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

Perkiraan atas perbedaan penurunan pondasi, rangkai, susut, ekspansi beton, atau perubahan suhu harus didasarkan pada pengkajian yang realistis dari pengaruh tersebut selama masa pakai.

8. Untuk perencanaan daerah pengangkutan pasca tarik harus digunakan faktor beban 1,2 terhadap gaya penarikan tendon maksimum.
9. Jika pada bangunan terjadi benturan yang besarnya P, maka pengaruh beban tersebut dikalikan dengan faktor 1,2.

2.14 Konsep Perencanaan

2.14.1 Sistem Struktur

Kerangka kerja dalam merencanakan suatu system struktur *X-Brace* yang efektif menahan beban lateral dan termasuk ketahanannya terhadap gempa selain beban gravitasi adalah sebagai berikut :

- Memperoleh stabilitas struktur dengan system penambahan pengaku *X-Brace*.
- Analisa beban lateral dengan analisa gempa dinamik, pada proyek ini berlokasi di malang termasuk wilayah gempa 4.
- Analisis stuktur terkonsentrasi pada system struktur atas.

2.15 Daktilitas

Daktilitas merupakan hal yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan struktur terhadap gempa. Struktur harus direncanakan sedemikian rupa sehingga ketika struktur mengalami keruntuhan dapat berlaku daktail dan menimbulkan suatu tanda-tanda saat struktur tersebut mencapai deformasi maksimum. Dengan demikian maka keruntuhan total dapat dihindari dan korban jiwa manusia yang berada dalam bangunan dapat dihindari. Daktilitas terbagi atas tiga jenis, yaitu :

1. Daktilitas Material

Daktilitas material adalah kemampuan suatu material untuk berdeformasi. Pada umumnya kemampuan deformasi ini merupakan perbandingan antara deformasi ultimit dan dan deformasi pelelehan pertama. Dalam struktur beton bertulang, material beton merupakan material yang bersifat getas, sedangkan

tulangan baja merupakan material yang bersifat duktail. Dengan demikian, kemampuan daktilitas material pada struktur beton bertulang lebih banyak dipengaruhi oleh tulangan baja.

2. Daktilitas Elemen

Daktilitas elemen adalah daktilitas kurvatur yang berupa perbandingan antara deformasi ultimit (ϕ_u) dengan deformasi pelepasan pertama (ϕ_y). Elemen yang duktail adalah elemen yang mampu mempertahankan sebagian besar momen kapasitas pada saat mencapai daktilitas kurvatur yang diinginkan. Sebagai contoh yaitu pada diagram tegangan-regangan penampang beton persegi.

3. Daktilitas Struktur

Daktilitas suatu struktur adalah kemampuan suatu struktur untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelepasan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi ambang keruntuhan.

Agar struktur gedung bertingkat tinggi memiliki daktilitas yang tinggi, harus diupayakan supaya sendi-sendi plastis yang terjadi akibat beban gempamaksimum ada didalam balok dan tidak terjadi di kolom, kecuali pada kaki kolom yang paling bawah dan pada bagian atas kolom penyangga atap. Hal ini dapat dicapai bila kapasitas (momen leleh) kolom lebih tinggi dari pada kapasitas balok yang bertemu pada kolom tersebut (konsep kolom kuat-balok lemah). Faktor daktilitas dipengaruhi oleh simpangan struktur. Kelakukan struktur berdasarkan asumsi simpangan struktur elastis dan elastoplastis mempunyai simpangan maksimum yang sama.

2.16 Drift Analysis

2.16.1 Drift

Dengan adanya beberapa macam fungsi batang dalam suatu portal tersebut akan dilakukan suatu analisa lebih lanjut mengenai gaya-gaya serta besaran-besaran yang terjadi dalam tiap-tiap elemen dari portal tersebut. Besarnya simpangan horizontal (*drift*) harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Yaitu kinerja batas layan struktur dan kinerja batas ultimit. Simpangan struktur dapat dinyatakan dalam bentuk *Drift Indeks* (**Cormac, 1981**)

Perubahan simpangan horisontal (*drift*) dapat disebabkan karena kemampuan struktur bangunan menahan gaya gempa yang terjadi. Apabila struktur memiliki kekakuan yang besar untuk melawan gaya gempa maka struktur akan mengalami simpangan horisontal yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak memiliki kekakuan yang cukup besar. Gempa bumi terjadi karena adanya kerusakan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba yang umumnya diikuti dengan terjadinya sesar/patahan (*fault*). Timbulnya patahan atau sesar tersebut karena adanya gerakan plat-plat tektonik/lapis kerak bumi yang saling bertubrukan, bergeser atau saling menyusup satu dengan yang lain (**Widodod,2000**).

Besarnya *drift indeks* tergantung pada besarnya beban-beban yang dikenakan pada struktur misalnya beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa. Dengan ketinggian struktur yang sama, semakin besar defleksi maksimum yang terjadi semakin besar ula *drift indeks*. Besarnya drift indeks berkisar antara 0.01 sampai dengan 0.0016. Kebanyakan, besar nilai *drift indeks* yang digunakan antara 0.0025 sampai 0.002 (**AISC, 2005**)

2.16.2 Pengaruh P-Δ

Semua Struktur akibat beban lateral akan melentur kesimpang (Δ), begitu juga akibat beban gempa. Δ ini akan menimbulkan momen sekunder (disebut pengaruh P- Δ) oleh beban gravitasi yang titik tangkapnya menyimpang kesamping dan dengan demikian terjadi beban momen tambahan pada komponen-komponen kolom. Pada SNI – 1726 Ps. 5.7 ditetapkan, struktur gedung yang bertingkat lebih dari 10 lantai atau 40 m, harus diperhitungkan terhadap P- Δ tersebut..

Ketentuan ini berbeda dengan pedoman UBC section 1630.1.3 yang menetapkan bila ratio momen sekunder terhadap momen primer > 0.1 , maka pengaruh P- Δ harus diperhitungkan. Untuk Zone 3 dan 4 (identik dengan WG 5 dan 6) pengaruh P- Δ tak perlu diperhitungkan bila $\Delta_s \leq 0.02 h_i/R$. Sudah barang tentu struktur yang fleksibel yang memiliki R lebih besar akan berkemungkinan lebih besar terkena peraturan P- Δ ini. **(Rachmat Purwono, 27)**

2.16.3 Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Waktu Getar alami fundamental dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

- a. Untuk struktur gedung berupa portal-portal tanpa unsure pengaku yang dapat membatasi simpangan :

1. Untuk portal baja dengan menggunakan persamaan

$$T = 0.085 \times H^{0.75}$$

2. Untuk portal baja dengan menggunakan persamaan

$$T = 0.060 \times H^{0.75}$$

b. Untuk Struktur gedung yang lain :

$$T = 0.090 \times H \times B^{(-0.5)}$$

Dimana :

T : Waktu getar gedung pada arah yang ditinjau (detik)

B : Panjang gedung pada arah yang ditinjau (meter)

H : Tinggi puncak bagi utama struktur (meter)

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel. Nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ξ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya, menurut rumus

$$T_1 < \xi n$$

Dima koefisien ξ ditetapkan menurut tabel berikut.

Tabel 2.2 Koefisien ξ yang Membatasi Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung.

Wilayah Gempa	ξ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

2.16.4 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, disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat gempa nominal yang telah dibagi faktor skala. (**SIN-1726-2002 pasal 8.1 hal 31**)

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0.03}{R}$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm bergabung yang mana yang nilainya terkecil (**SIN-1726-2002 pasal 8.1.2 hal 31**)

2.16.5 Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit struktur gedung oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntukan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dari untuk mencegah benturan berbahaya antar-gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sel pemisah (Delatasi). Simpangan dan simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor ξ pengali berikut :

- a. Untuk struktur gedung beraturan dihitung dengan

$$\xi = 0.7R$$

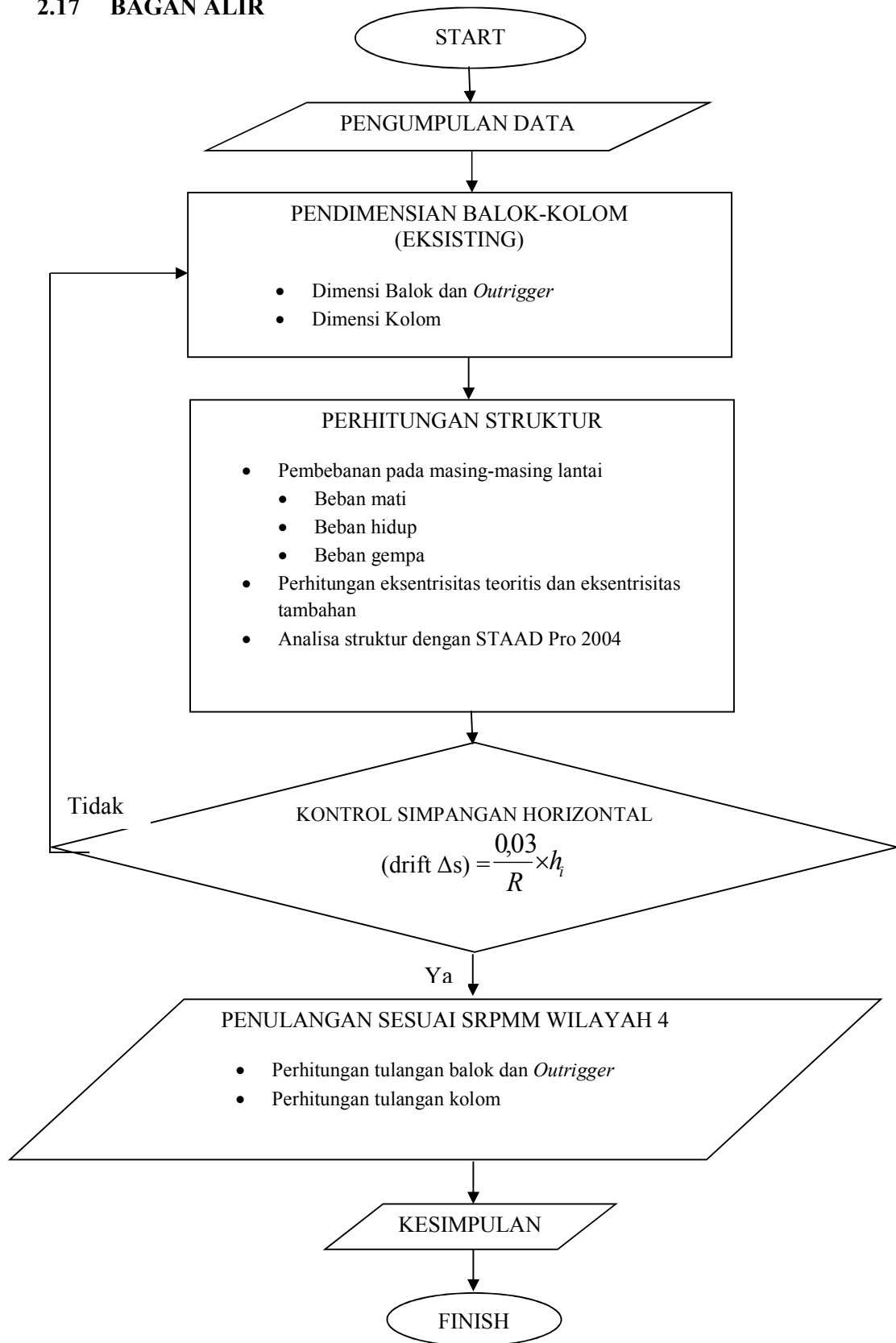
b. Untuk struktur gedung tidak beraturan dihitung dengan

$$\frac{0.7R}{\text{Faktor Skala}}$$

Di mana R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0.02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan. **(SNI-1726-2002 pasal 8.2.2 hal 31.)**

2.17 BAGAN ALIR



BAB III

DATA PERENCANAAN

3.1. Data - Data Perencanaan

3.1.1 Data Bangunan

- Nama Gedung : Ijen Padjadjaran Suites Hotel Resort And Convention Hall
- Lokasi Gedung : Ijen Nirwana Residance, Malang, Jawa Timur
- Fungsi Bangunan : Hotel
- Jumlah Lantai : 15
- Bentang Memanjang : 57,75 meter
- Bentang Melintang : 15,35 meter
- Tinggi Gedung : 54 meter
- Tinggi lantai 1 : 5 meter
- Tinggi lantai 1 – 15 : 3,5 meter
- Wilayah Gempa : Zona 4 (Malang)
- Struktur : Beton bertulang

3.1.2 Perencanaan Dimensi Plat, Balok dan Kolom

- **Perencanaan Dimensi Plat**

Untuk alternatif perencanaan Pembangunan Ijen Padjadjaran Suites Hotel ini, dimensi plat lantai menggunakan dimensi setebal 12 cm.

- **Perencanaan Dimensi Balok**

Pada perencanaan balok induk menggunakan dimensi penampang 40/60

Untuk perencanaan balok anak dimensi penampang 30/40

dan untuk perencanaan dimensi penampang *Outrigger* / penebalan 2xh pada balok induk adalah 40/120, dan pada balok anak adalah 30/80

- **Perencanaan Dimensi Kolom**

Pada perencanaan kolom utama menggunakan dimensi penampang 60/80

Dan perencanaan kolom sekunder menggunakan dimensi penampang 30/30

3.2. Data Pembebanan

3.2.1. Data Beban Mati

Sesuai dengan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung 1987 maka beban mati diatur sebagai berikut :

- Berat spesi per cm tebal = 21 Kg/m²
- Berat keramik per cm tebal = 22 Kg/m²
- Berat Plafon + rangka penggantung = (11+7) = 18 Kg/m²
- Berat pasangan bata merah = 1700 Kg/m³
- Berat jenis beton = 2400 Kg/m³
- Berat jenis pasir kering = 1600 Kg/m³

3.2.2. Data Beban Hidup

Sesuai dengan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung 1987 maka beban hidup diatur sebagai berikut :

- Beban hidup hotel lantai 2 sampai 15 = 250 Kg/m²
- Beban guna/Beban hidup atap = 100 kg/m²

- Berat jenis air hujan = 1000 Kg/m³

3.3. Data Material

Dalam perencanaan hotel ini mutu bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Tegangan leleh tulangan ulir (fy) = 390 Mpa
- Tegangan leleh tulangan polos (fy) = 240 Mpa
- Kuat tekan beton fc' = 30 Mpa

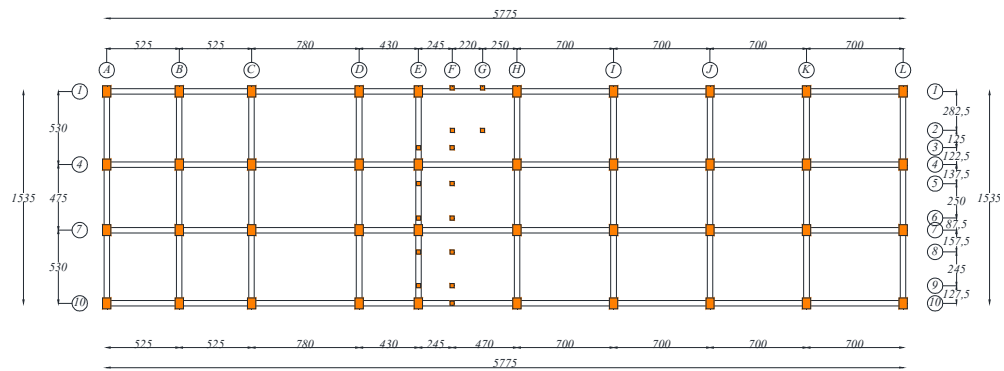
3.4 Model Struktur

3.4.1 Model Struktur dengan *Outrigger*

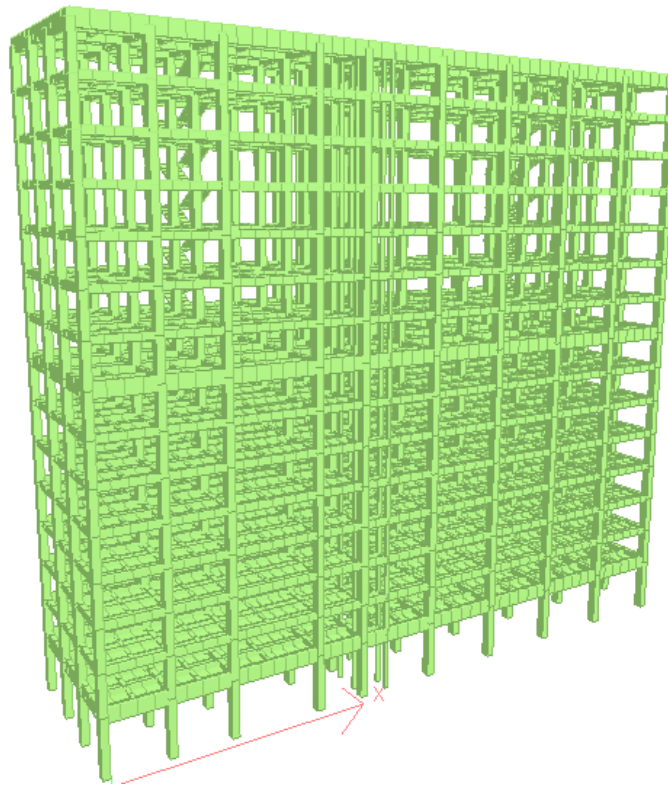
Alternatif dari suatu perencanaan ini menggunakan analisa perencanaan yang difokuskan untuk mengetahui perubahan nilai simpangan horizontal pada kasus struktur beton dalam portal 3 dimensi. Analisa yang digunakan didasarkan pada tata cara perencanaan ketentuan gempa untuk struktur gedung menurut **SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002.**

Model gedung yang akan dianalisa berupa gedung 15 lantai termasuk atap. Ukuran denah 57,75 m x 15,35 m. Tinggi antar lantai 3,5 m ,kecuali lantai 1 tingginya 5 m. Analisis yang digunakan menggunakan analisis 3 dimensi dengan fungsi gedung sebagai hotel. Gaya gempa diberikan di pusat massa tiap lantai.

Denah gedung selengkapnya seperti dalam gambar 3.1 dan model 3 dimensi dari struktur dapat dilihat pada Gambar 3.2. Gambar denah lantai 1-15



Gambar 3.1 Denah Struktur dan Denah lantai 1-15



Gambar 3.2 Model 3 Dimensi Struktur Menggunakan Outrigger

3.5. Pembebanan

3.5.1 Beban Mati

3.5.1.1 Berat Struktur Sendiri (*Self Weight*)

Berat sendiri elemen struktur terdiri dari berat sendiri elemen pelat lantai, balok, kolom, *drop panel*, ramp parkir, tangga dan pengaku (*Shear Wall*, *Bracing*, *Core Wall*). Berat sendiri elemen struktural tersebut akan dihitung otomatis sebagai *self weight*. Adapun cara memberikan berat sendiri struktur (*self weight*) pada program STAAD PRO 2004 sebagai berikut :

- Klik perintah *command* kemudian *Loading* pilih *primary load*
- Buat nama beban baru dengan memilih *create new primary load case* tulis nama beban sebagai “BEBAN MATI”/ DEAT LOAD,
- Setelah itu pilih perintah *selfweight* pada jenis-jenis beban yang tersedia pada *toolbar*,
- Pada *direction* terdapat pilihan sumbu X , Y, Z. Pilih sumbu Y, kemudian mengisikan *factor* dengan -1, lalu klik perintah *Assign*.

3.5.1.2 Beban Mati Tambahan (*Dead Load*)

Selain berat sendiri elemen struktural, dengan cara yang sama pada beban sendiri juga terdapat beban lain yang berasal dari elemen arsitektural bangunan (berdasarkan Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung, 1987), yaitu:

3.5.2 Perhitungan Pembebanan Plat

1. Plat atap

a. Beban mati

- Berat sendiri Plat $= 0,10 \times 1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
- Berat Plafon + penggantung $= 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2 +$
 $q_d = 258 \text{ kg/m}^2$

b. Beban Hidup

- Beban guna atap $= 100 \text{ kg/m}^2$
- Berat air hujan $= 0,05 \times 1 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}^2 +$
 $q_l = 150 \text{ kg/m}^2$

2. Plat lantai

a. Beban mati

- Berat sendiri Plat lantai $= 0,12 \times 1 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$
- Berat Plafon + penggantung $= 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$
- Berat urukan pasir per cm $= 5 \times 16 = 80 \text{ kg/m}^2$
- Berat spesi per cm $= 2 \times 22 = 44 \text{ kg/m}^2$
- Berat keramik per cm $= 1 \times 22 = 22 \text{ kg/m}^2 +$
 $q_d = 452 \text{ kg/m}^2$

b. Beban Hidup

- Beban hidup untuk hotel $= 250 \text{ kg/m}^2$

3. Berat sendiri balok

- Balok induk 40/60 = $0,4 \times (0,6 - 0,12) \times 2400 = 460,8 \text{ kg/m}^2$
- Balok anak 30/40 = $0,3 \times (0,4 - 0,12) \times 2400 = 201,6 \text{ kg/m}^2$
- Balok Outrigger 40/120 = $0,4 \times (1,2 - 0,12) \times 2400 = 1036,8 \text{ kg/m}^2$
- Balok Outrigger 30/80 = $0,3 \times (0,8 - 0,12) \times 2400 = 489,6 \text{ kg/m}^2$

3.6. Perhitungan Pembebanan Struktur

3.6.1 Lantai Atap

3.6.1a Pembebanan Plat

Pembebanan untuk plat lantai

- Beban mati (qd)

- Berat plafond + penggantung = $11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$
 - Berat spesi (2 cm) = $2 \times 22 = 44 \text{ kg/m}^2$
 - Berat urukan pasir (5 cm) = $0,05 \times 1600 = 80 \text{ kg/m}^2$
 - Berat keramik (1 cm) = $1 \times 22 = 22 \text{ kg/m}^2 +$
- qd = 164 kg/m²**

Note : Dalam perhitungan struktur ini dengan menggunakan Metode Plat Mesing, sehingga berat sendiri plat tidak di hitung karena sudah diperhitungkan pada Seltweight (Program bantu computer : StaadPro)

- Beban mati tangga (qd)

- Berat spesi (2 cm) = $2 \times 22 = 44 \text{ kg/m}^2$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat keramik (1 cm)} &= 1 \times 22 = \underline{22 \text{ kg/m}^2} + \\
 &\mathbf{ql = 66 \text{ kg/m}^2}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup tangga (ql)

- Beban hidup tangga dan bordes untuk hotel $ql = 250 \text{ kg/m}^2$

3.6.1b Pembebanan Balok

Pembebanan Balok Induk *Outrigger* (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok Induk *Outrigger* Memanjang Line 1 merupakan

Balok dengan dimensi (40/120)

Bentang (7 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 3,5 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
- Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m^3

$$\begin{aligned}
 \mathbf{\text{Jadi beban untuk balok (qd)}} &= 3,5 \times 0,15 \times 1700 \\
 &= \mathbf{892,5 \text{ kg/m}}
 \end{aligned}$$

Pembebanan Balok anak *Outrigger* (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok Induk *Outrigger* Melintang Line 2 merupakan

Balok dengan dimensi (30/80)

Bentang (3.5 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 3,5 m
 - Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd)** = 3,5 x 0,15 x 1700
- = 892,5 kg/m**

Pembebanan Balok Induk *Outrigger* (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok Induk *Outrigger* Melintang Line K merupakan Balok dengan dimensi (40/120)
- Bentang (5,3 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 3,5 m
 - Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd)** = 3,5 x 0,15 x 1700
- = 892,5 kg/m**

Pembebanan Balok Anak Induk *Outrigger* (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok anak *Outrigger* Melintang Line L' merupakan Balok dengan dimensi (30/80)
- Bentang (2,65 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 3,5 m
 - Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd) = 3,5 x 0,15 x 1700**
- = 892,5 kg/m**

3.6.2 Lantai 15 dan 8

3.6.2a Pembebanan Plat

Pembebanan untuk plat lantai

- Beban mati (qd)

- Berat plafond + penggantung = 11 + 7 = 18 kg/m²
 - Berat spesi (2 cm) = 2 x 22 = 44 kg/m²
 - Berat urukan pasir (5 cm) = 0,05 x 1600 = 80 kg/m²
 - Berat keramik (1 cm) = 1 x 22 = 22 kg/m² +
- qd = 164 kg/m²**

Note : Dalam perhitungan struktur ini dengan menggunakan Metode Plat Mesing, sehingga berat sendiri plat tidak di hitung karena sudah diperhitungkan pada Seltweight (Program bantu computer : StaadPro)

- Beban mati tangga (qd)

- Berat spesi (2 cm) = 2 x 22 = 44 kg/m²
- Berat keramik (1 cm) = 1 x 22 = 22 kg/m² +

$$q_l = 66 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup tangga (q_l)
 - Beban hidup tangga dan bordes untuk hotel $q_l = 250 \text{ kg/m}^2$

3.6.2b Pembebanan Balok

Pembebanan Balok Induk (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok Induk Outrigger Memanjang Line 1 merupakan

Balok dengan dimensi (40/60)

Bentang (7 m)

Beban mati (q_d)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,3 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
- Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m^3

$$\begin{aligned} \text{Jadi beban untuk balok (qd)} &= 2,3 \times 0,15 \times 1700 \\ &= 586,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Pembebanan Balok anak (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok anak Outrigger Melintang Line 2 merupakan

Balok dengan dimensi (30/40)

Bentang (3.5 m)

Beban mati (q_d)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,3 m

- Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd) = 2,3 x 0,15 x 1700**
- = 586,5 kg/m**

Pembebanan Balok Induk (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok Induk Outrigger Melintang Line K merupakan

Balok dengan dimensi (40/60)

Bentang (5,3 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,3 m
 - Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd) = 2,3 x 0,15 x 1700**
- = 586,5 kg/m**

Pembebanan Balok Anak (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok anak Outrigger Melintang Line L' merupakan

Balok dengan dimensi (30/40)

Bentang (2,65 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,3 m

- Lebar dinding = 0.15 m
 - Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
 - Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m³
- Jadi beban untuk balok (qd)** = 2,3 x 0,15 x 1700
= **586,5 kg/m**

3.6.3 Lantai 14, 13, 12, 11, 10, 9, 7, 6, 5, 4, 3, dan 2

3.6.3a Pembebanan Plat

Pembebanan untuk plat lantai

- Beban mati (qd)

- Berat plafond + penggantung = 11 + 7 = 18 kg/m²
 - Berat spesi (2 cm) = 2 x 22 = 44 kg/m²
 - Berat urukan pasir (5 cm) = 0,05 x 1600 = 80 kg/m²
 - Berat keramik (1 cm) = 1 x 22 = 22 kg/m² +
- qd = 164 kg/m²**

Note : Dalam perhitungan struktur ini dengan menggunakan Metode Plat Mesing, sehingga berat sendiri plat tidak di hitung karena sudah diperhitungkan pada Seltweight (Program bantu computer : StaadPro)

- Beban mati tangga (qd)

- Berat spesi (2 cm) = 2 x 22 = 44 kg/m²
 - Berat keramik (1 cm) = 1 x 22 = 22 kg/m² +
- ql = 66 kg/m²**

- Beban hidup tangga (ql)

- Beban hidup tangga dan bordes untuk hotel $q_l = 250 \text{ kg/m}^2$

-

3.6.3b Pembebanan Balok

Pembebanan Balok Induk (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok Induk Outrigger Memanjang Line 1 merupakan

Balok dengan dimensi (40/60)

Bentang (7 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,9 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
- Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m^3

$$\begin{aligned} \text{Jadi beban untuk balok (qd)} &= 2,9 \times 0,15 \times 1700 \\ &= 739,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Pembebanan Balok anak (Portal Memanjang)

- Pembebanan Balok anak Outrigger Melintang Line 2 merupakan

Balok dengan dimensi (30/40)

Bentang (3.5 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,9 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)

- Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m^3
- Jadi beban untuk balok (qd) = $2,9 \times 0,15 \times 1700$**
- = $739,5 \text{ kg/m}$**

Pembebanan Balok Induk (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok Induk Outrigger Melintang Line K merupakan

Balok dengan dimensi (40/60)

Bentang (5,3 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,9 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)
- Berat jenis Pasangan Bata merah = 1700 kg/m^3
- Jadi beban untuk balok (qd) = $2,9 \times 0,15 \times 1700$**
- = $739,5 \text{ kg/m}$**

Pembebanan Balok Anak Induk (Portal Melintang)

- Pembebanan Balok Induk Outrigger Melintang Line L' merupakan

Balok dengan dimensi (30/40)

Bentang (2,65 m)

Beban mati (qd)

- Tinggi dinding lantai atap = 2,9 m
- Lebar dinding = 0.15 m
- Panjang dinding = 1 m (diambil per 1 m panjang)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat jenis Pasangan Bata merah} &= 1700 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Jadi beban untuk balok (qd)} &= 2,3 \times 0,15 \times 1700 \\
 &= 739,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

3.7 Langkah – Langkah Pendimensian Struktur 3D Pada Staad Pro 2004:

Pemodelan Struktur:

Open Staad Pro 2004 → Space kemudian (isi file name, lokasi penyimpanan file, Title/judul tugas) → Pilih Unit (Meter, Kilogram) kemudian pilih Next → Yes → Add Beam → finish, Digambar dengan menggunakan sumbu global X, Z kemudian gambar denah sesuai ukuran bangunan pake Snap Node/Beam → Geometri: Intersect selected members → Enter tolerance = 0 → kemudian Okey → Yes → Untuk mengambar stuktur lantai atas di pilih menu Translational repeat → Global direction pilih Y → Default step spacing = 5 m (sesuai tinggi lantai dari lantai dasar ke lantai berikutnya) → Number of step (diisi sesuai dengan jumlah tingkat yang ada dalam struktur) → pilih Link Steps → Ok → Kemudian dihapus batang pada lantai dasar

Pendimensian:

Pilih menu commands → member property → Prismatic → pilih Rectangle untuk kolom / balok yang berbentuk persegi, pilih Circle untuk kolom / balok yang berbentuk bulat, diisi sesuai ukuran: YD = h, ZD = b untuk balok dan untuk kolom bulat pilih circle masukan nilai YD = Diameter → Assign → close.

Tumpuan:

Pilih menu commands → support specifications → fixed (untuk tumpuan jepit) → Assign → close.

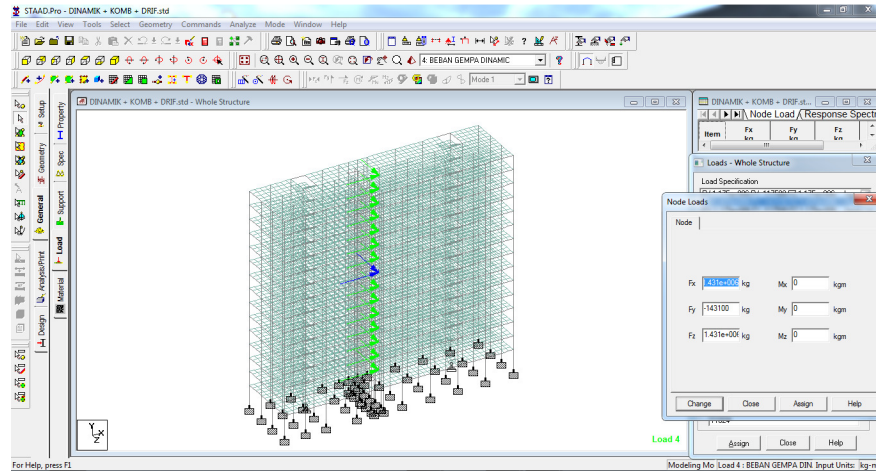
Pembeban:

Pilih menu commands → loading primary load → create new primary load case: Title diisi nama beban **ke -1** (beban mati) → pilih selfweight untuk berat sendiri struktur: Direction = Y Factor / nilai = -1 → Assign. Kemudian diisi beban mati berikutnya yang bekerja pada lantai (plate load) nilai beban diisi sesuai dengan perhitungan, Kemudian diisi beban mati berikutnya yang bekerja pada batang/balok (member load) nilai beban diisi sesuai dengan perhitungan.

New Load: diisi nama beban **Ke-2** (beban Hidup) yang bekerja pada lantai (plate) diisi nilai beban hidup (ql) menurut Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1987(Tabel 3.1 hal. 12)

New Load: diisi nama beban **Ke-3** (beban gempa) yang bekerja pada struktur diisi nilai pembebanan sesuai dengan berat sendiri tiap lantai yang akan dibebankan pada pusat massa yaitu arah sumbu X dan Z, kemudian diatur nilai *Response Spectrum Load* Koefisien Gempa dasar untuk Wilayah Gempa 4 untuk tanah Sedang. Langkah pembebanan gempa seperti dihalaman berikut ini:

1. Mengisi nilai beban gempa



Gambar 3.3 Beban Gempa

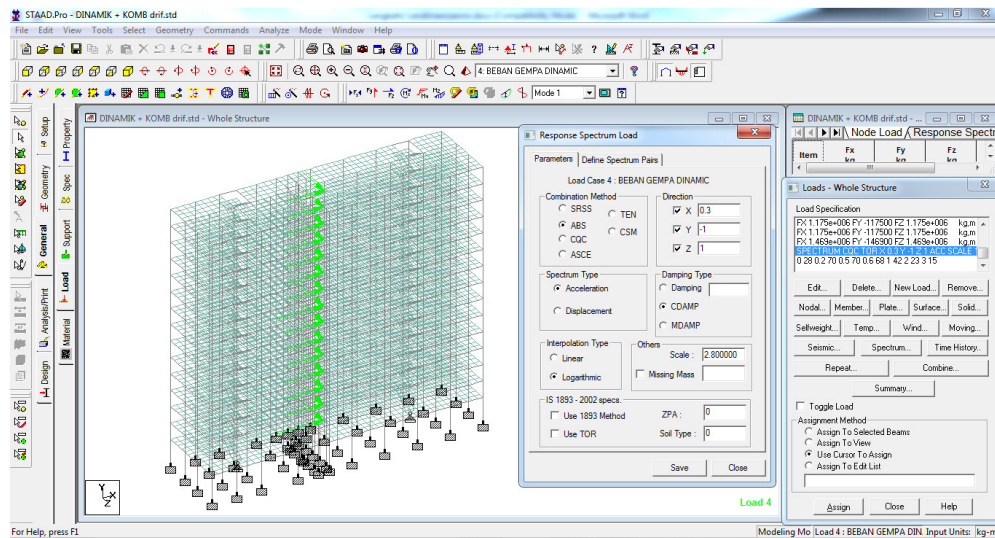
Tabel 3.1 Beban Gempa Dinamik Arah X, Z dan Y

lantai	Elev (hi)	FX	FZ	FY
				Wi* 10%
	(m)	(kg)	(kg)	(kg)
2	5.00	1,469,000.00	1,469,000.00	146,900.00
3	8.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
4	12.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
5	15.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
6	19.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
7	22.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
8	26.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
9	29.50	1,431,000.00	1,431,000.00	143,100.00
10	33.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00

11	36.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
12	40.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
13	43.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
14	47.00	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
15	50.50	1,175,000.00	1,175,000.00	117,500.00
atap	54.00	1,209,000.00	1,209,000.00	120,900.00

Diisi nilai gaya geser gempa yang telah dihitung tiap lantai pada kotak Fx, Fy dan Fz, dimana Fx dan Fz adalah gaya lateral gempa sedangkan Fy adalah beban gravitasi bumi efeknya hanya $\pm 10\%$ akibat gempa

2. Mengatur Response Spectrum Load → Parameter



Gambar 3.4 Beban Gempa dan Spectrum parameter

Klik pada Menu Spectrum akan tampil seperti diatas, kemudian kita mengisi parameter-parameter tersebut sesuai dengan peraturan gempa yang kita gunakan di Indonesia.

Parameter: Combination Method → CQC, Spectrum Type → *Acceleration*, Interpolation Type → *Linear*, Direction: $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 0$, 3 Damping → $0,05$ Scale → 2.8

Dalam menganalisa beban gempa dinamik (SNI – 1726 – 2002 pasal 5.8.2)

1. Untuk mensimulasi arah pengaruh gempa yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan menurut pasal 5.8.1 harus dianggap efektif 100 % dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%. Sehingga dalam parameter Specturm Load Direction diisi: $X = 1$, $Y = 1$ dan $Z = 0$, 3

2. Mengisikan Tool Pembebanan Spectrum

Pada input software Staad Pro pembebanan spectrum (Analisa Gempa dinamik) dengan membuat beban baru dan setelah itu masuk pada spectrum dan tool yang dipilih diantaranya

a. Parameters

- Combination Method

Adalah cara statistik untuk mencari resultan masing-masing mode shape agar mewakili semua mode shape yang mungkin akan terjadi pada gedung ketika terjadi gempa. Untuk struktur gedung

tidak beraturan yang mewakili waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Kombinasi Kuadratik Lengkap (CQC), untuk itu dalam Combinatiob Method dipilih “CQC”.

- Spectrume Type

Pilih Acceleration karena pada grafik C = percepatan, bukan Displacement yang berarti perpindahan.

- Interpolation Type

Dipilih linear karena pada grafik spectrum pertambahan nilainya sama.

- Direction

Untuk arah pembebanan sumbu global koordinat X = 30%, Y = 100%, dan Z = 100%

- Damping Type

Adalah penyerapan gaya gempa tergantung jenis material. Sesuai SNI 2002 untuk perencanaan gedung tahan gempa 10% untuk material beton, dan 5% untuk material baja. Untuk itu pada damping type di isi 5% karena struktur gedung menggunakan material beton.

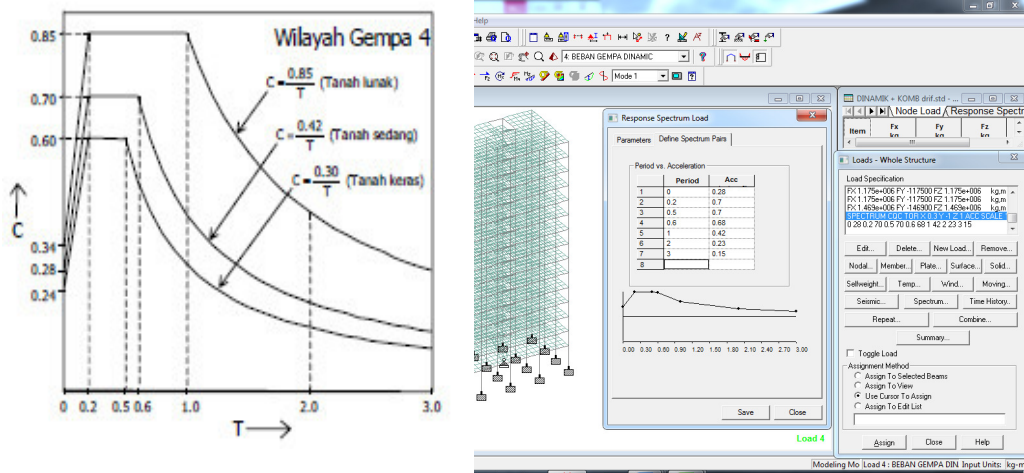
- Scale

Untuk mengisikan ini maka mengacu pada rumus $I \times R$ yaitu dimana I adalah faktor keutamaan struktur dan R adalah faktor reduksi gempa maksimum, tentunya sesuai dengan system dan subsistem struktur gedung.

b. Define Spectrume Pairs

- Mengisikan Period/waktu dan Acceleration/percepatan sesuai dengan wilayah gempa strukturgedung itu berdiri. Karena struktur hotel Padjadjaran Suites Hotel berada di Kota Malang dengan wilayah gempa 4, maka tabel tersebut diisikan sebagai berikut :

3. Mengatur Response Spectrum Load → Define Spectrum Pairs



Gambar 3.5 Beban Gempa dan Define Spectrum Pairs

New Load Combination:

Load comb 4 kombinasi 1

1 1.2 2 1.6 → (1, 2 D + 1, 6 L)

Load comb 5 kombinasi 2

1 1.2 2 1 3 1 → (1, 2 DL + 1 LL + 1 EQ)

Design:

Pilih Concrete design karena struktur portal yang di desain menggunakan material beton → **Select parameter:** diisi nilai parameter desain (f^c dan f_y) sesuai dengan data perencanaan → Assign. **Define parameter:** diisi nilai f_c dan f_y sesuai dengan data perencanaan. **Design Command:** dipilih Design Beam=desain balok → Assign. Design Column = desain kolom → Assign, Design Slab/Element = desain elemen/plat → Assign. **Take off:** menampilkan berat volume beton → Assign...

Untuk menghitung berat struktur perlantai

Command → Post, Analysis Print → CG → Yes

Untuk menghitung Drift

Command → Post, Analysis Print → Story Drift → Yes

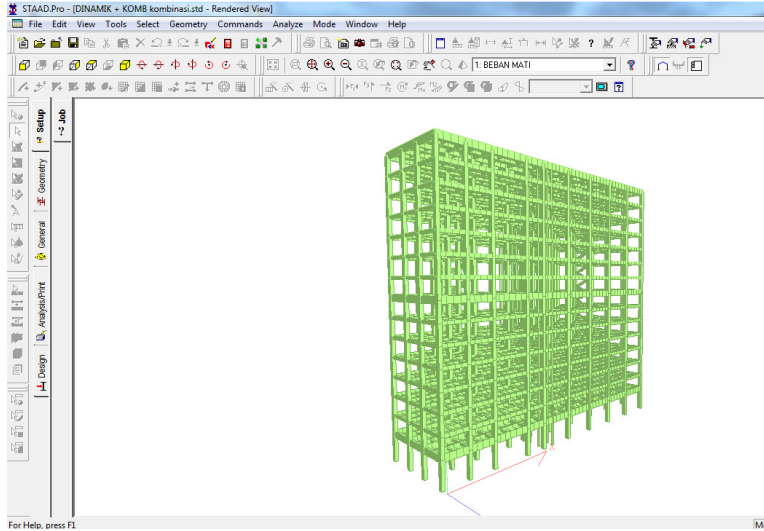
Analysis:

Command → Analysis → perform Analysis → No Print → Add → Close

Run Analysis:

Analyze → Run Analysis → Staad Analisis → Run analisis → Save.

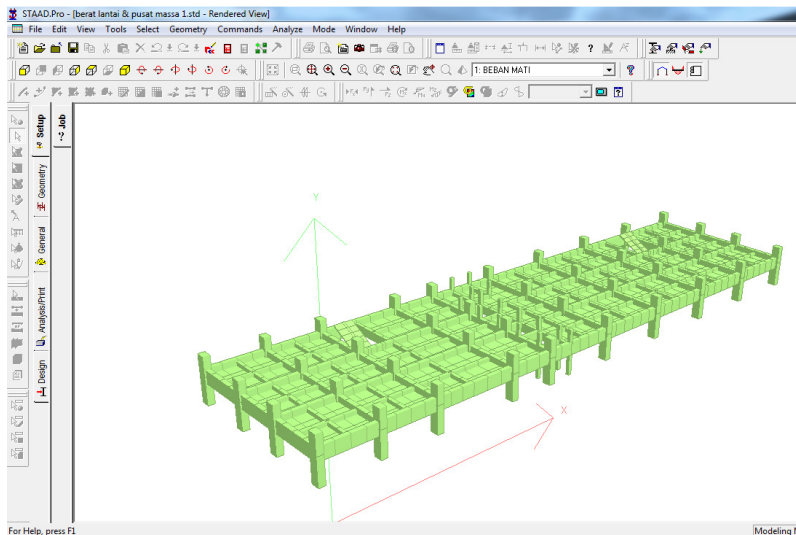
3.8 Perhitungan Pusat Masa (center of mass) dan Pusat Kekakuan (center of rigidity) Struktur.



Gambar 3.6 portal 3D dalam bentuk isometric

3.8.1 Gambar dan perhitungan pusat massa Lantai

➤ Gambar potongan lantai 2

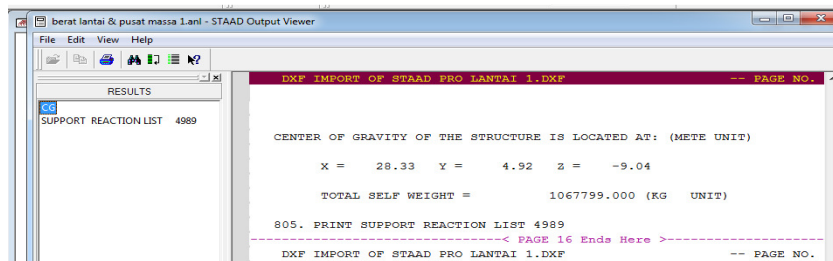


Gambar 3.7 Potongan Lantai 2

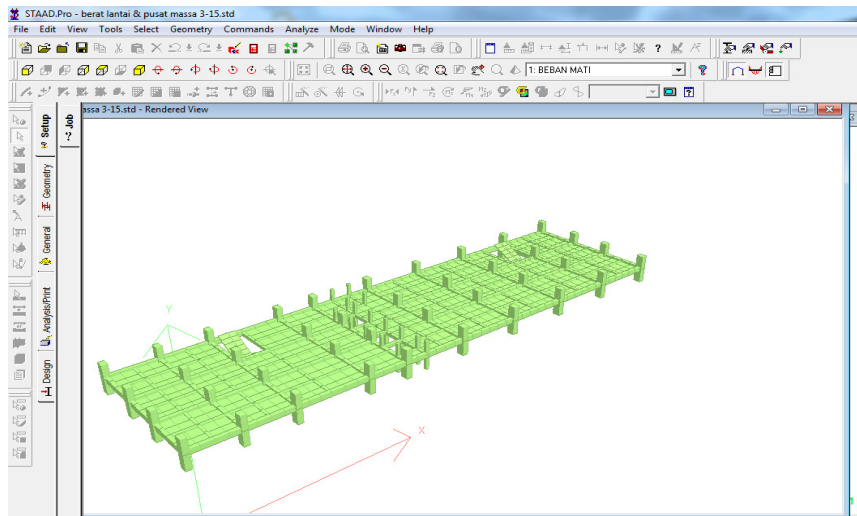
Berat dan Koordinat pusat masa Lantai 2 (Center of Mass) dari Hasil Staad Pro

Tabel 3.2 Berat dan Koordinat Lantai 2

Berat (Kg)	Koordinat (m)	
	X	Z
1469000,00	28.33	-9.04



➤ **Gambar potongan lantai 3-15**

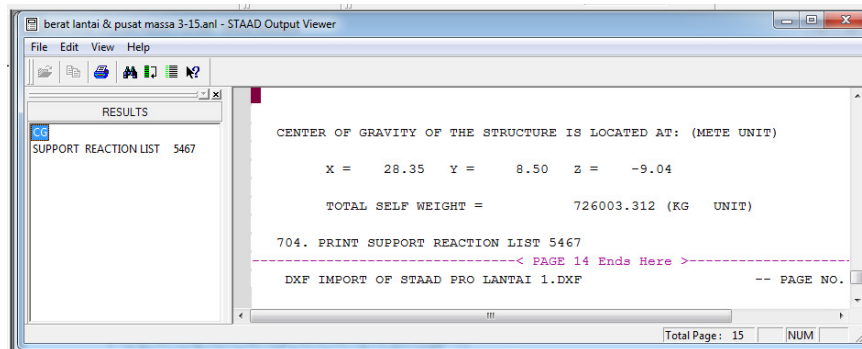


Gambar 3.8 Potongan Lantai 3-15

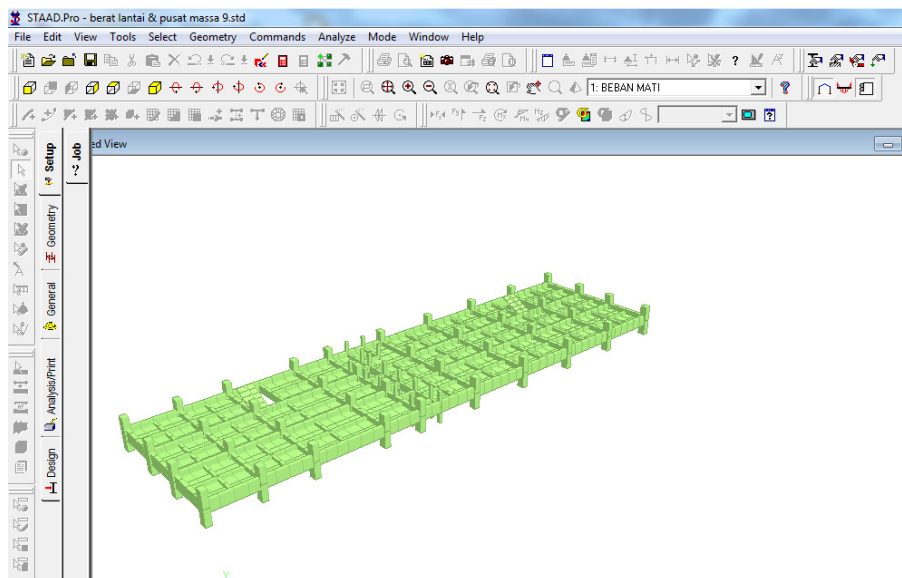
Berat dan Koordinat pusat masa Lantai 3 – 15(Center of Mass) dari Hasil Staad Pro

Tabel 3.3 Berat dan Koordinat Lantai 3 - 15

Berat (Kg)	Koordinat (m)	
	X	Z
1175000,00	28.35	-9.04



➤ **Gambar potongan lantai 9**

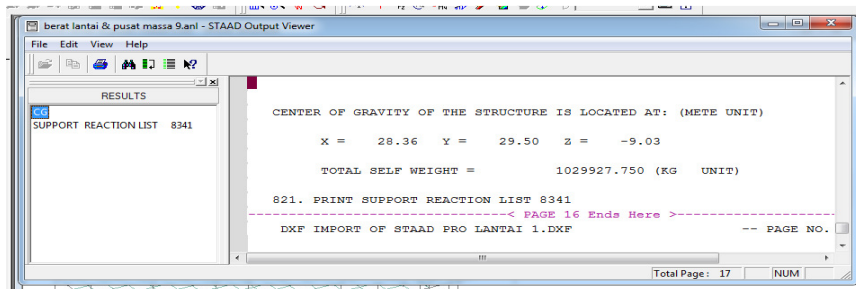


Gambar 3.9 Potongan Lantai 9

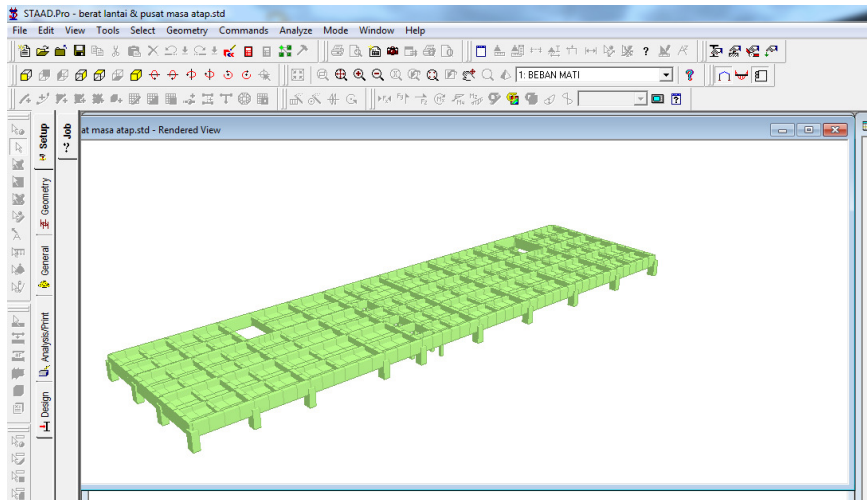
Berat dan Koordinat pusat masa Lantai 9 (Center of Mass) dari Hasil Staad Pro

Tabel 3.4 Berat dan Koordinat Lantai 9

Berat (Kg)	Koordinat (m)	
	X	Z
1431000,00	28.36	-09.03



➤ **Gambar potongan lantai atap**

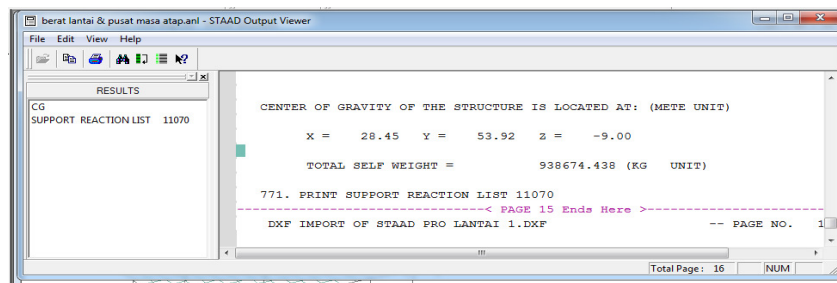


Gambar 3.10 Potongan Lantai atap

Berat dan Koordinat pusat masa Lantai atap (Center of Mass) dari Hasil Staad Pro

Tabel 3.5 Berat dan Koordiant Lantai atap

Berat (Kg)	Koordinat (m)	
	X	Z
1209000.00	28.45	-9.00



1. Koordinat pusat masa lantai (Center of Mass) dilihat dari hasil running Program Bantu Teknik Sipil (PBTS)/STAAD PRO, berat bangunan per lantai yang telah dipotong dalam bentuk 3D dengan perintah / Command → Post Analysis Print: CG (Center of Gravity) dan Support Reaction.

Koordinat pusat massa per lantai seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.6 koordinat Per Lantai

Lantai	X	Y	Z
2	28,33	4,92	-9,04
3	28,35	8,50	-9,04
4	28,35	12,00	-9,04
5	28,35	15,30	-9,04
6	28,35	19,00	-9,04
7	28,35	22,50	-9,04

8	28,35	26,00	-9,04
9	28,36	29,50	-9,02
10	28,35	33,00	-9,04
11	28,35	36,50	-9,04
12	28,35	40,00	-9,04
13	28,35	43,50	-9,04
14	28,35	47,00	-9,04
15	28,35	50,50	-9,04
Atap	28,45	54,00	-9,00

Keterangan:

Nilai koordinat ini dipakai untuk memberikan beban gempa pada struktur dan Respon Spectrum Gempa pada struktur dapat dilihat pada Input data Staad Pro, dengan mengatur parameter – parameter: X = 1, Y = 1, Z = 0, 3 Dalam menganalisa beban gempa dinamik (SNI – 1726 – 2002 pasal 5.8.2)

Untuk mensimulasi arah pengaruh gempa yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembeban gempa dalam arah utama yang ditentukan menurut pasal 5.8.1 harus dianggap efektif 100 % dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%. Sehingga dalam parameter Specturm Load Direction diisi: X=1, Y= 1 dan Z = 0, 3

Berat bangunan tiap lantai dari hasil analisa STAAD PRO di tabelkan

Tabel 3.7 Berat Bangunan Per Lantai

Tingkat	Elev (hi)	Berat (Wi)
	(m)	(kg)
atap	54.00	1,209,000.00
15	50.50	1,175,000.00
14	47.00	1,175,000.00
13	43.50	1,175,000.00
12	40.00	1,175,000.00
11	36.50	1,175,000.00
10	33.00	1,175,000.00
9	29.50	1,431,000.00
8	26.00	1,175,000.00
7	22.50	1,175,000.00
6	19.00	1,175,000.00
5	15.50	1,175,000.00
4	12.00	1,175,000.00
3	8.50	1,175,000.00
2	5.00	1,469,000.00
Wtotal		18,209,000.00

- Waktu getar bangunan (T)

Dimana nilai T untuk struktur beton adalah $0,06 h^{3/4}$ dan untuk struktur baja adalah $0,0682 h^{3/4}$, karena struktur gedung Hotel Padjadjaran Suites Hotel Malang merupakan struktur beton, maka nilai waktu getar struktur diambil

2. Rumus Empiris: $T = Ct.H^{3/4}$

Dimana T = waktu Getar (detik)

H = ketinggian sampai puncak (m)

Ct = 0, 06 (untuk beton)

Maka T = $0, 06. 54^{3/4}$

$$= 1,1952 \text{ detik}$$

3. Kontrol pembatas waktu alami fundamental T sesuai pasal 5.6

$$\text{Syarat } T < \xi \cdot n$$

Dimana koefisien ditetapkan menurut tabel 8

Koefisien ξ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung.

Tabel 3.8 Koefisien Wilayah Gempa

Wilayah gempa	ξ
1	0,2
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

Dari tabel diatas, struktur yang dibangun termasuk wilayah gempa 4, maka:

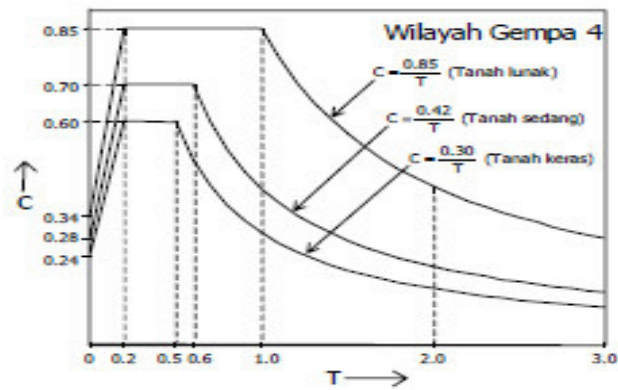
$$\xi = 0,17 \text{ (Buku standar ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung)}$$

$$n = 16 \text{ (tingkat)}$$

$$T = \xi \cdot N = 0,17 \cdot 16$$

$$= 2,72 \text{ detik} > T \text{ empiris} = 1,1952 \text{ detik (dipakai } T \text{ Empiris)}$$

4. wilayah gempa 4 dan tanah sedang



Gambar 3.11 Respons Spectrum Gempa Rencana

3.8.2 Beban gempa Dinamis seperti pada tabel dibawah ini:

Berat bangunan tiap lantai dari hasil analisa STAAD PRO di tabelkan

Tabel 3.9 koordinat Per Lantai

Tingkat	Elev (hi)	Berat (Wi)
	(m)	(kg)
atap	54.00	1,209,000.00
15	50.50	1,175,000.00
14	47.00	1,175,000.00
13	43.50	1,175,000.00
12	40.00	1,175,000.00
11	36.50	1,175,000.00
10	33.00	1,175,000.00
9	29.50	1,431,000.00
8	26.00	1,175,000.00
7	22.50	1,175,000.00
6	19.00	1,175,000.00
5	15.50	1,175,000.00
4	12.00	1,175,000.00
3	8.50	1,175,000.00
2	5.00	1,469,000.00
Wtotal		18,209,000.00

3.9 Hasil Analisis Simpangan Horisontal

Dari analisis *software* Staad Pro didapat simpangan yang terjadi pada masing masing lantai

Tabel 3.10 Pembacaan Simpangan antar Tingkat dalam (cm)

Elevasi	Simpangan X	Simpangan Z
54.00	2.9819	9.8603
48.46	2.9234	9.3642
48.17	2.9107	9.3329
42.62	2.7277	8.5764
42.33	2.7186	8.5249
36.79	2.4422	7.5922
36.50	2.4192	7.5626
30.96	2.1636	6.6361
30.67	2.1485	6.5907
25.12	1.8708	5.6308
24.83	1.8489	5.5542
19.29	1.4262	4.1841
19.00	1.4022	4.1254
13.46	0.9157	2.6525
13.17	0.9040	2.5729
7.62	0.4354	1.0822
7.33	0.4126	1.0208
0.42	0.0535	0.1186

3.10. Kontrol Simpangan antar Tingkat

Persyaratan simpangan antar tingkat struktur gedung tidak boleh melebihi 2.0% dari jarak antar tingkat (SNI 03-1726-2002), maka :

$$\delta_m < 2\% H$$

$$\delta_m < 2\% 500 \text{ cm} \ \& \ 2\% 350 \text{ cm}$$

$$\delta_m < 10 \text{ cm} \ \& \ 7 \text{ cm}$$

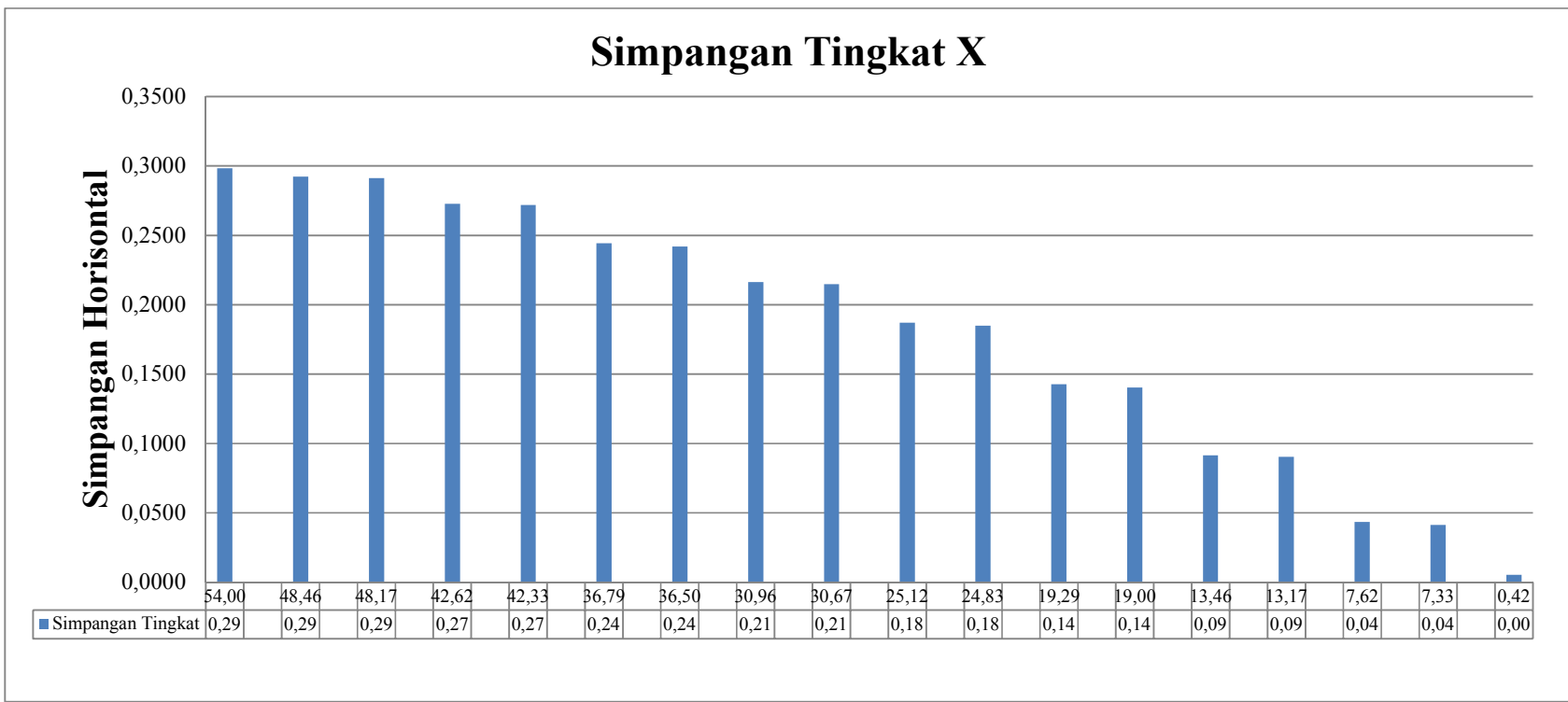
Perhitungan antar tingkat arah X dan Y ditampilkan dalam tabel 3.11 dan 3.12

Tabel 3.11 Kontrol Simpangan Antar Tingkat X

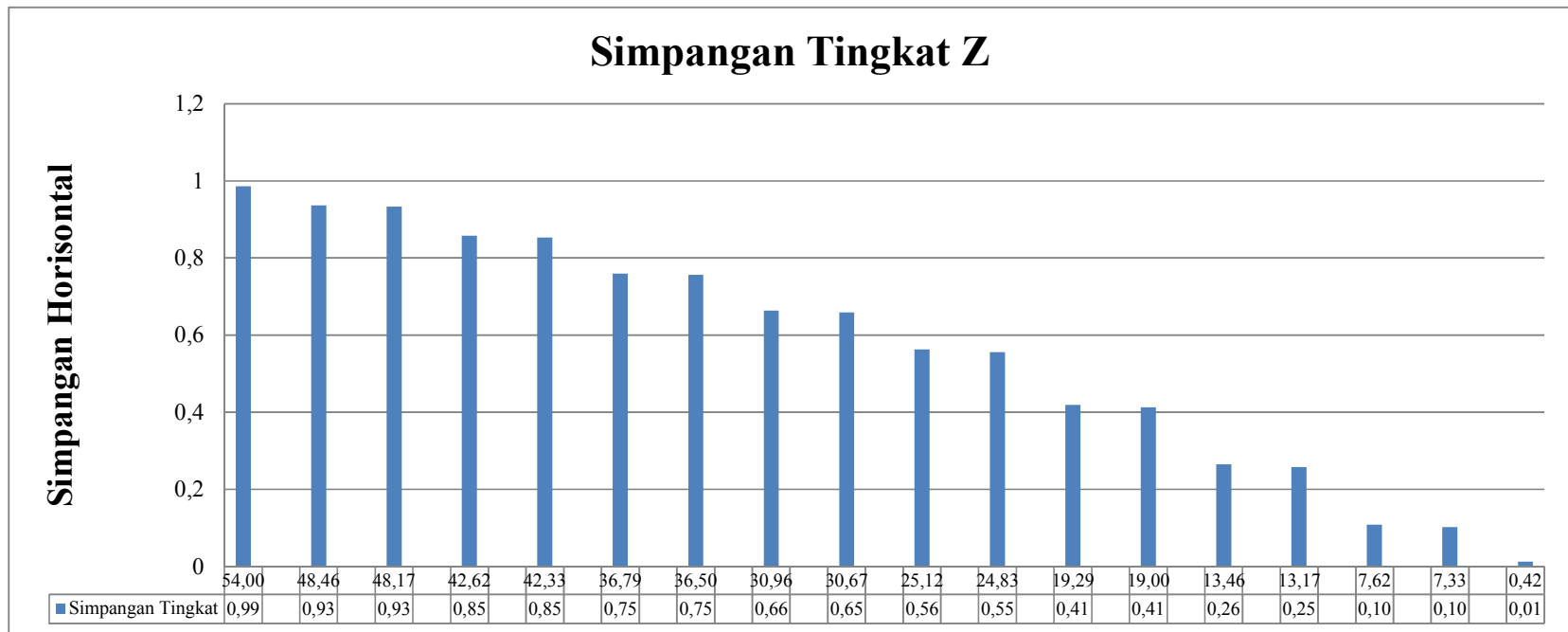
Base	Elevasi	X	δ_{mx}	$\delta_m > \delta_{mx}$
180	54.00	0.2982	0.5905	(OK)
161	48.46	0.2923	0.5834	(OK)
160	48.17	0.2911	0.5638	(OK)
141	42.62	0.2728	0.5446	(OK)
140	42.33	0.2719	0.5161	(OK)
121	36.79	0.2442	0.4861	(OK)
120	36.50	0.2419	0.4583	(OK)
101	30.96	0.2164	0.4312	(OK)
100	30.67	0.2149	0.4019	(OK)
81	25.12	0.1871	0.3720	(OK)
80	24.83	0.1849	0.3275	(OK)
61	19.29	0.1426	0.2828	(OK)
60	19.00	0.1402	0.2318	(OK)
41	13.46	0.0916	0.1820	(OK)
40	13.17	0.0904	0.1339	(OK)
21	7.62	0.0435	0.0848	(OK)
20	7.33	0.0413	0.0466	(OK)
1	0.42	0.0054	0.0054	(OK)

Tabel 3.12 Kontrol Simpangan Antar Tingkat Z

Base	Elevasi	Z	δm_z	$\delta m > \delta m_z$
180	54.00	0.98603	1.9225	(OK)
161	48.46	0.9364	1.8697	(OK)
160	48.17	0.9333	1.7909	(OK)
141	42.62	0.8576	1.7101	(OK)
140	42.33	0.8525	1.6117	(OK)
121	36.79	0.7592	1.5155	(OK)
120	36.50	0.7563	1.4199	(OK)
101	30.96	0.6636	1.3227	(OK)
100	30.67	0.6591	1.2222	(OK)
81	25.12	0.5631	1.1185	(OK)
80	24.83	0.5554	0.9738	(OK)
61	19.29	0.4184	0.8310	(OK)
60	19.00	0.4125	0.6778	(OK)
41	13.46	0.2653	0.5225	(OK)
40	13.17	0.2573	0.3655	(OK)
21	7.62	0.1082	0.2103	(OK)
20	7.33	0.1021	0.1139	(OK)
1	0.42	0.0119	0.01186	(OK)



Gambar 3.12 Grafik Simpangan Tingkat Arah X



Gambar 3.13 Grafik Simpangan Tingkat Arah Z

3.11. Kinerja Batas Layan (Δ_s) dan Kinerja Batas Ultimit (Δ_m)

Drift Δ_s diperoleh dari hasil analisa struktur portal 3 dimensi menggunakan gempa respons spectrum berupa hasil deformasi lateral / simpanan horizontal maksimum peringkat yang terjadi pada rangka portal yang dapat di tinjau terhadap arah X dan arah Z.

Menurut SNI 03 – 1726 – 2002 pasal 8.12 Untuk memenuhi syarat kinerja batas layan, maka drift Δ_s antar tingkat tidak boleh lebih besar dari :

$$(\text{drift } \Delta_s) = \frac{0,03}{R} \times h_i$$

R = 2.8 (Rangka Pemikul Momen Khusus SRPMK) beton bertulang

1. Tingkat 1, h = 500 cm

$$(\text{drift } \Delta_s) = \frac{0,03}{2.8} \times 500 = 5.357 \text{ cm}$$

2. Tingkat 2- 13, h = 350 cm

$$(\text{drift } \Delta_s) = \frac{0,03}{2.8} \times 350 = 3.750 \text{ cm}$$

Dari hasil perhitungan drift Δ_s antara tingkat untuk SRPMK yang dihitung memenuhi persyaratan dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 3.13 Analisa Δs akibat gempa

Lantai	hi	Δs	drift Δs antar	Syarat drift Δs	Keterangan
Ke-i	(m)	(mm)	lantai (mm)	(mm)	
16	54	29.66	0.154	37.5	OK
15	50.5	29.506	0.908	37.5	OK
14	47	28.598	1.189	37.5	OK
13	43.5	27.409	1.459	37.5	OK
12	40	25.95	1.681	37.5	OK
11	36.5	24.269	2.126	37.5	OK
10	33	22.143	1.107	37.5	OK
9	29.5	21.036	1.59	37.5	OK
8	26	19.446	2.537	37.5	OK
7	22.5	16.909	2.77	37.5	OK
6	19	14.139	2.942	37.5	OK
5	15.5	11.197	3.075	37.5	OK
4	12	8.122	3.057	37.5	OK
3	8.5	5.065	2.186	37.5	OK
2	5	2.879	2.879	53.5	OK

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan ulimit gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan horisontal struktur $\delta_m \times \xi$ tidak boleh melampaui 0.02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan. SNI-1726-2002 pasal 8.2.2 hal 31.

$$1. \text{lantai 2, } h \text{ (drift } \Delta m) = 0,02 \times 5000 = 100 \text{ mm.}$$

$$2. \text{lantai 3-9, } h \text{ (drift } \Delta m) = 0,02 \times 3500 = 70 \text{ mm.}$$

$$\Delta m = \zeta \times R \times \Delta s \text{ (untuk tingkat 1)}$$

$$\Delta m = 0.17 \times 2,8 \times 53,5$$

$$= 25,466$$

Drift Δm antar lantai

$$\zeta = 0,7 \cdot R \text{ (gedung SRPMK, beton bertulang = 2,8)}$$

$$= 0,7 \cdot 2,8$$

$$= 1,96$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 2)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 2,879$$

$$= 5,643 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 3)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 5,065$$

$$= 9,927 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 4)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 8,122$$

$$= 15,919 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 5)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 11,197$$

$$= 21,946 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 6)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 14,139$$

$$= 27,712 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 7)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 16,909$$

$$= 33,142 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 8)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 19,446$$

$$= 38,114 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 9)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 21,036$$

$$= 41,231 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 10)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 22,143$$

$$= 43,400 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 11)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 24,269$$

$$= 47,567 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 12)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 25,95$$

$$= 50,864 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 13)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 27,409$$

$$= 53,722 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 14)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 28,598$$

$$= 56,052 \text{ mm}$$

$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 15)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 29,506$$

$$= 57,832 \text{ mm}$$

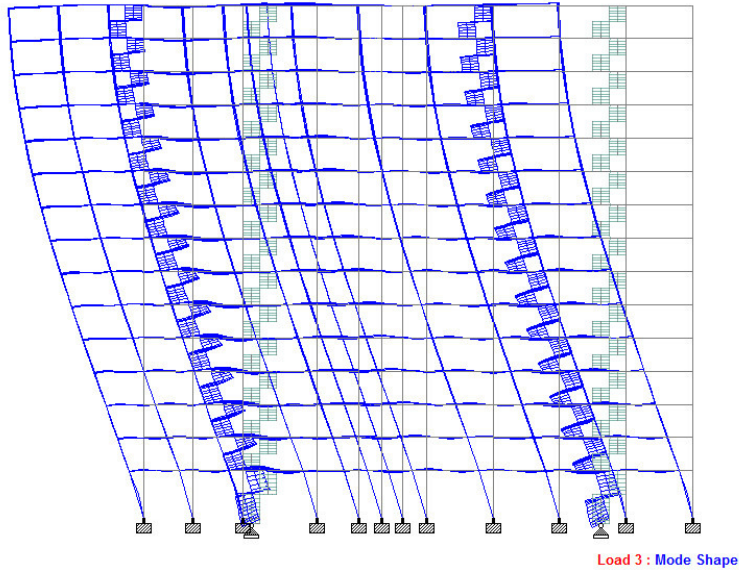
$$\Delta m = \zeta \times \Delta s \text{ (untuk lantai 16)}$$

$$\Delta m = 1,96 \times 29,66$$

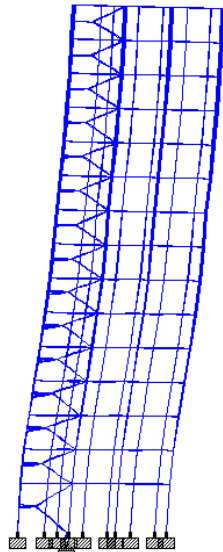
$$= 58,134 \text{ mm}$$

3.12 Ragam Mode Shape yang Terjadi pada Struktur Menggunakan Sistem Pengaku *Outrigger*

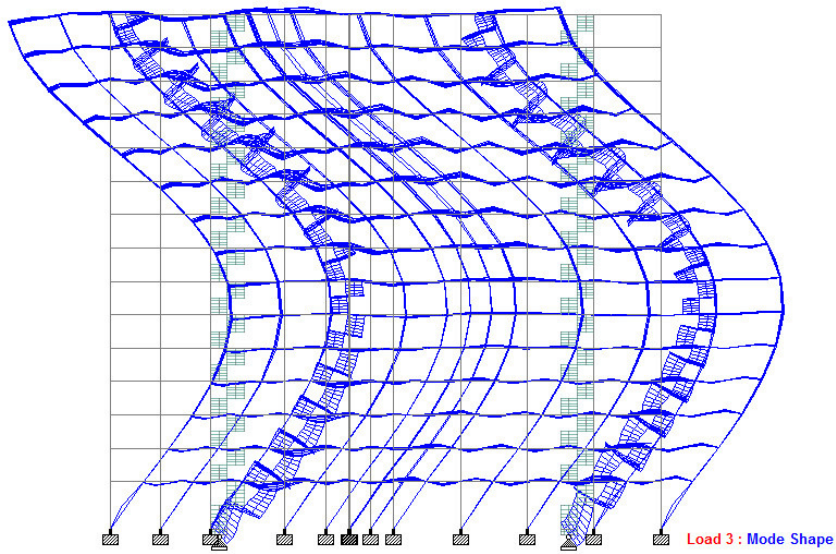
1. Mode Shape 1



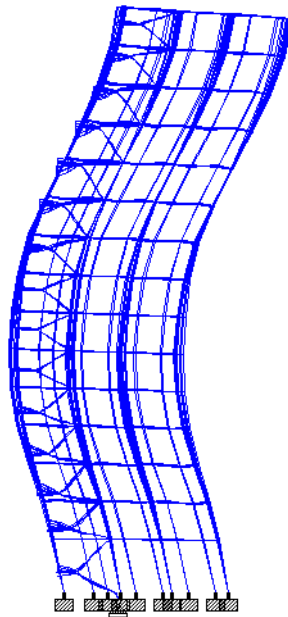
2. Mode Shape 2



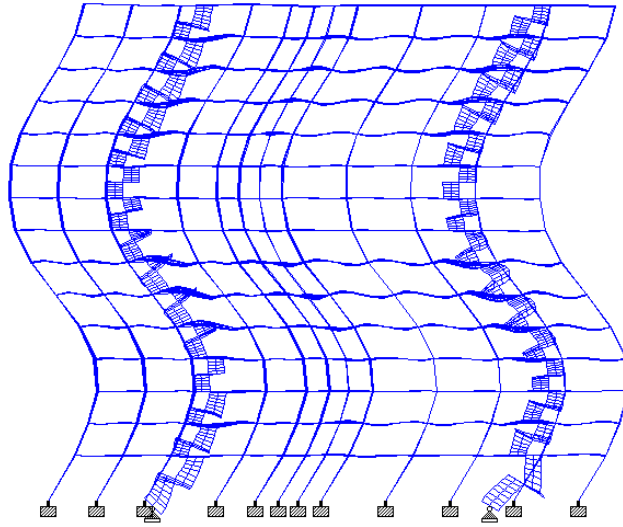
3. Mode Shape 3



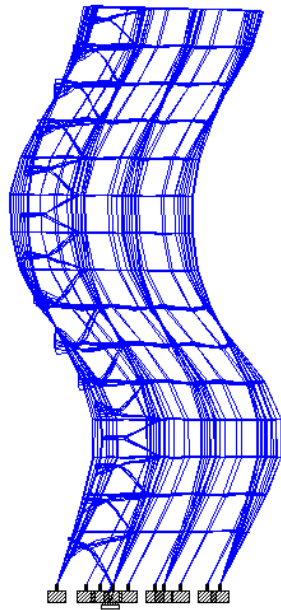
4. Mode Shape 4



5. Mode Shape 5



6. Mode Shape 6



BAB IV

PERHITUNGAN PENULANGAN STRUKTUR

4.1 Perhitungan Tulangan Pada Balok

4.1.1 Perhitungan Penulangan Lentur Balok

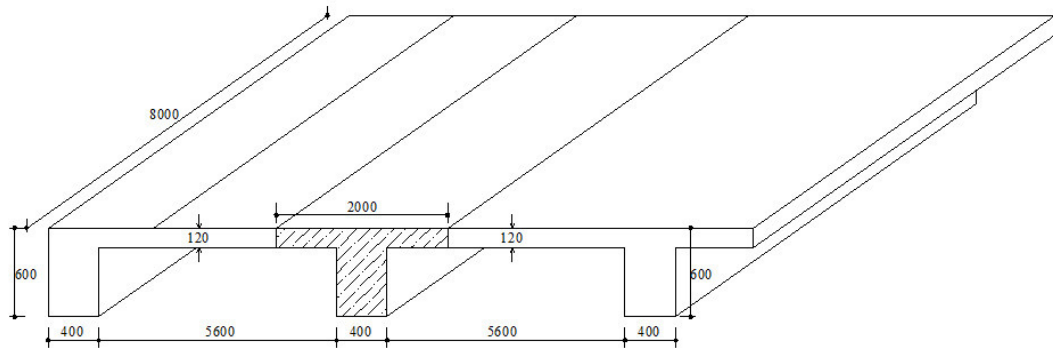
Penulangan yang direncanakan adalah pada balok melintang line 4.

- Data perencanaan
 - b = 400 mm
 - h = 1200 mm
 - $f'c$ = 30 Mpa
 - f_y ulir = 390 Mpa
 - f_y polos = 240 Mpa
 - selimut beton = 40 mm
 - dipakai tulangan pokok D 25 mm
 - dipakai tulangan sengkang \varnothing 10 mm
 - bentang balok (L) = 5300 mm

bentang bersih balok Balok bersebelahan (L_n) = 4500 mm

$$\begin{aligned}d &= h - \text{selimut beton} - \text{diameter sengkang} - \frac{1}{2} \text{diameter tulangan} \\ &\text{rencana} \\ &= 1200 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 25 \\ &= 1137,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

➤ Perencanaan penulangan



Gambar 4.1 Panjang beff

Lebar flens efektif (beff)

Menurut SNI-2847 pasal Lebar efektif (b_{eff}) tidak boleh melebihi :

- $b_{eff} \leq \frac{1}{4} L$
 $\leq \frac{1}{4} 5300$
 $\leq 1325 \text{ mm}$
- $b_{eff} \leq b_w + 8hf_{kr} + 8hf_{kn}$
 $\leq 400 + (8 \cdot 120) + (8 \cdot 120)$
 $\leq 2230 \text{ mm}$
- $b_{eff} \leq b_w + 1/2Ln_{kr} + 1/2Ln_{kn}$
 $\leq 400 + (1/2 \cdot 5250) + (1/2 \cdot 5250)$
 $\leq 5650 \text{ mm}$

Jadi dipakai lebar efektif sepanjang 1325 mm

Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI-03-2847-2013

pasal 21.5.5:

$$A_s \text{ min} = \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0.25 \times \sqrt{30}}{390} 400 \times 1471 = 2065,897 \text{ mm}^2$$

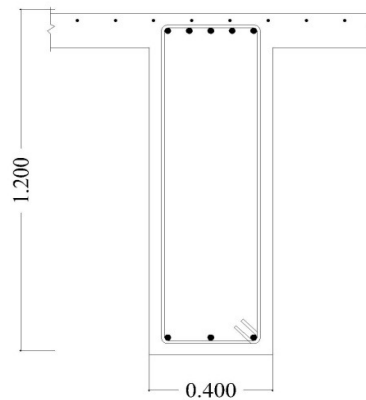
dan

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4b_w d}{f_y} = \frac{1,4 \times 400 \times 1471}{390} = 2112,21 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ min}}{\frac{1}{4} \pi \emptyset^2} = \frac{2122,21}{\frac{1}{4} \pi \cdot 25^2} = 4,325 \approx 5$$

Maka dipakai tulangan minimal 5 D 25 ($A_s = 2453,125 \text{ mm}^2 > 2112,21 \text{ mm}^2$)

Menurut buku Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang gideon Kusuma hal 108, jarak maksimum tulangan samping 300 mm.



$$a = h - (2 \times \text{tebal selimut beton}) + (2 \times \emptyset \text{ sengkang}) + (3 \times D \text{ tul. Tarik}) + \text{jarak minimum tulangan}$$

$$a = 1200 - (2 \times 40) + (2 \times 10) + (3 \times 25) + 30$$

$$a = 1245 \text{ mm} > 300 \text{ mm}, \text{ maka di perlukan tulangan samping.}$$

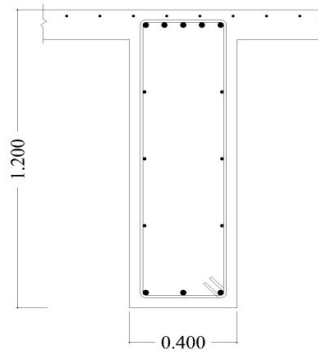
Di coba pemasangan tulangan samping 6 D13

Kontrol jarak tulangan samping :

$$a = h/4 - (\text{tebal selimut beton} + \emptyset \text{ sengkang} + (2 \times D \text{ tul. Tarik}) + \text{jarak minimum tulangan})$$

$$a = 1200/4 - (40 + 10 + (6 \times 13) + 30)$$

$$a = 142 \text{ mm} < 300 \text{ .. oke}$$



A. Perhitungan Tulangan Tumpuan Kiri Join 235

$$M_u = 909074830 \text{ Nmm}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah atas 5 D 25 ($A_{s1} = 2453.12 \text{ mm}^2$)
- Tulangan yang terpasang pada daerah bawah 3 D 25 ($A_{s'} = 1471,87 \text{ mm}^2$)
- Tulangan plat terpasang disepanjang beff 10 \varnothing 10 ($A_{s_{\text{plat}}} = 785 \text{ mm}^2$)

Kontrol Momen positif

$$\text{Tulangan tarik } A_{s_{\text{plat}}} = 10 \varnothing 10 = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1_{\text{Balok}}} = 5 \text{ D } 25 = 2453,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2_{\text{Balok}}} = 3 \text{ D } 25 = 1471,86 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{Balok}}} = A_{s1_{\text{Balok}}} + A_{s2_{\text{Balok}}} = 3924,98 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_{s'} = 3 \text{ D } 25 = 1471,86 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = \text{tebal selimut beton plat} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ tul plat}$$

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

$$= 25 \text{ mm}$$

$$y_2 = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tul. tarik}$$

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

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

$$y_3 = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + D \text{ tul. Tarik(1)} + \text{jarak minimum}$$

$$\text{antar tulangan} + \frac{1}{2} D \text{ tul tarik (2)}$$

$$= 40 + 10 + 25 + 30 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 117,5 \text{ mm}$$

$$y = \frac{(A_{s \text{ Plat}} \times y_1) + (A_{s1 \text{ Balok}} \times y_2) + (A_{s2 \text{ Balok}} \times y_3)}{(A_{s \text{ Plat}} + A_{s1 \text{ Balok}} + A_{s2 \text{ Balok}})}$$

$$= \frac{(785 \times 25) + (2453,12 \times 61) + (1471,86 \times 113)}{(785 + 2453,12 + 1471,86)}$$

$$= 70,08 \text{ mm}$$

$$d = h - y$$

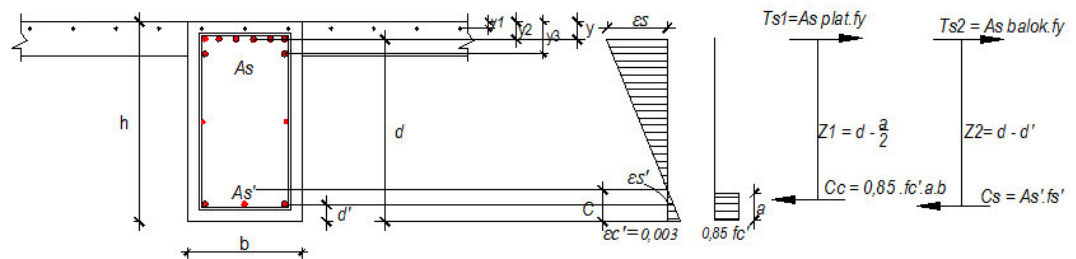
$$= 1200 - 70,08$$

$$= 1137,75 \text{ mm}$$

$$d' = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tul. tarik}$$

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

$$= 70,08 \text{ mm}$$



Gambar 4.2 momen negatif pada penulangan tumpuan

Dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral dicari dengan menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot fs' = As \cdot fy$$

$$\text{Substitusi nilai : } fs' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai: } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot beff) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + (600 \cdot As' - As \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' = 0$$

$$(0,85 \cdot 25 \cdot 0,85 \cdot 1325) \cdot c^2 + (600 \cdot 2453,13 - 1471,86 \cdot 86 \cdot 350) \cdot c - 600 \cdot 2453,13 \cdot$$

$$70,08 = 0$$

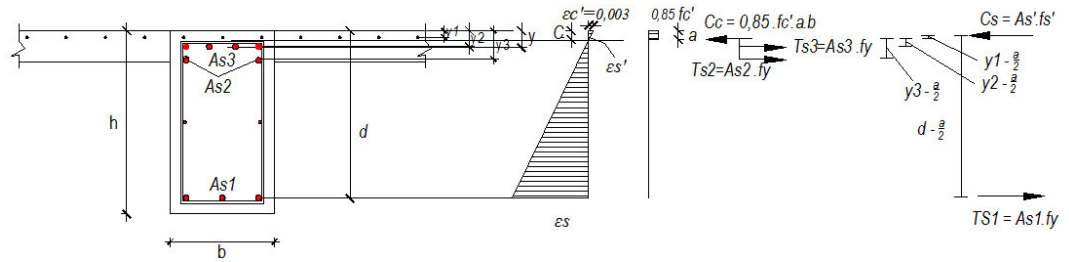
$$28719,375 c^2 - 1442437,5c + 11775000 = 0$$

$$c = 57,37 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{1137,5 - 57,37}{57,33} (0,003) = 0,056$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{390}{200000} = 0,0019$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y \text{ maka } fs = fy$$



Gambar 4.3 letak daerah tekan pada pelat

Karena $c < y_2$, tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka dihitung nilai c menurut persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff + A_{S_{plat}'} \cdot fs' = As1 \cdot fs + As2 \cdot fy + As3 \cdot fy$$

$$\text{Substitusi nilai : } fs' = \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 \text{ dan } fs = fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) + A_{S_{plat}'} \cdot \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 = As1 \cdot fy + As2 \cdot fy + As3 \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) \cdot c + A_{S_{plat}'} \cdot (c - y_1) \cdot 600 = As1 \cdot fy \cdot c + As2 \cdot fy \cdot c + As3 \cdot fy \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai: } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot beff) \cdot c + A_{S_{plat}'} \cdot (c - y_1) \cdot 600 = As1 \cdot fy \cdot c + As2 \cdot fy \cdot c + As3 \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot A_{S_{plat}'} \cdot c - 600 \cdot A_{S_{plat}'} \cdot y_1 = As1 \cdot fy \cdot c + As2 \cdot fy \cdot c + As3 \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + (600 \cdot A_{S_{plat}'} - As1 \cdot fy - As2 \cdot fy - As3 \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot A_{S_{plat}'} \cdot y_1 = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 1325) \cdot c^2 + (600 \cdot 2453,13 - 1471,86 \cdot 86 \cdot 390) - 2453,13 -$$

$$2453,13 \cdot 390) \cdot c - 600 \cdot -1471,86 = 0$$

$$28719,375 c^2 - 1442437,5c + 11775000 = 0$$

$$c = 57,37 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 57,37$$

$$= 48,78 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c - y_1}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{48,78 - 25}{48,78} (0,003) = 0,00169$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{d - c}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{1137,5 - 48,78}{48,78} (0,003) = 0,05648$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{y_3 - c}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{113117,5 - 48,78}{48,78} (0,003) = 0,00027$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{y_2 - c}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{62,5 - 48,78}{48,78} (0,003) = 0,00314$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \cdot E_s$$

$$= 0,00169 \cdot 200000$$

$$= 338,55 \text{ Mpa}$$

$$f_s = f_y$$

$$= 390 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_{eff}$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 48,78 \cdot 1325$$

$$= 1647678,20 \text{ N}$$

$$C_s = A_{s_{plat}}' \cdot f_s'$$

$$= 785 \cdot 338,55$$

$$= 265759,29 \text{ N}$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_s$$

$$= 2453,13 \cdot 390$$

$$= 956718,75 \text{ N}$$

$$T_{s2} = A_{s2} \cdot f_s$$

$$= 981,25 \cdot 390$$

$$= 382687,5 \text{ N}$$

$$T_{s3} = A_{s3} \cdot f_s$$

$$= 1471,86 \cdot 390$$

$$= 574031 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_{s1} + T_{s2} + T_{s3}$$

$$1647678,20 + 265759,29 = 956718,75 + 382687,5 + 574031$$

$$1913437 \text{ N} = 1913437 \text{ N}$$

$$Z_1 = d - (1/2 \cdot a)$$

$$= 1137,5 - (1/2 \cdot 48,78)$$

$$= 1113,12 \text{ mm}$$

$$Z_2 = y_3 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 117,5 - (1/2 \cdot 48,78)$$

$$= 93,12 \text{ mm}$$

$$Z_3 = y_2 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 62,5 - (1/2 \cdot 48,78)$$

$$= 38,12 \text{ mm}$$

$$Z_4 = y_1 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 25 - (1/2 \cdot 48,78)$$

$$= 0,62 \text{ mm}$$

$$M_n = (T_{s1} \cdot Z_1) + (T_{s2} \cdot Z_2) - (C_s \cdot Z_3)$$

$$= (956718,75 \cdot 1113,12) + (258359,2 \cdot 93,12) - (265759,29 \cdot 38,12)$$

$$= 1122291066 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 1122291066$$

$$= 953947406 \text{ Nmm} > M_u = 909074830 \text{ Nmm} \dots \dots \dots \text{OK}$$

$$M_{pr} = 1,25 M_n$$

$$= 1402863833 \text{ Nmm}$$

B. Perhitungan penulangan lapangan Joint 265

$$M_u^+ = 85740000 \text{ Nmm}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah atas 3 D 25 ($A_s = 1471,87 \text{ mm}^2$),
- Tulangan yang terpasang pada daerah bawah 6 D 25 ($A_s' = 2943,75 \text{ mm}^2$)

Tulangan plat terpasang disepanjang beff 10 Ø 10 ($A_{s,plat} = 785 \text{ mm}^2$)

Kontrol MR positif

$$\text{Tulangan tekan } A_{s', plat} = 10 \text{ } \varnothing 10 = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_{s', balok} = 3 \text{ D } 25 = 1471,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'} = 785 + 1471,87 = 2256,85 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 6 \text{ D } 25 = 2943,75 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 20 + \frac{1}{2} 10 = 25 \text{ mm}$$

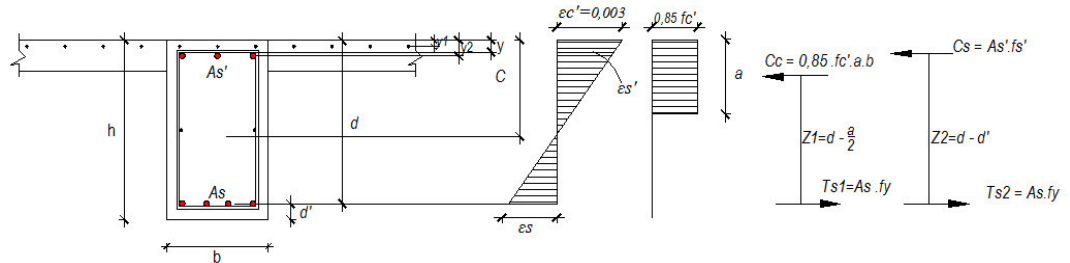
$$y_2 = 40 + 10 + \frac{1}{2} 25 = 62,5 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{(785 \times 25) + (2943,75 \times 62,5)}{785 + 2943,75} = 54,60 \text{ mm}$$

$$d = 1200 - (40 + 10 + \frac{1}{2} 25)$$

$$= 1200 - 62,5$$

$$= 1137,5 \text{ mm}$$



Gambar 4.4 Momen Positif Pada Penulangan Lapangan

Dimisalkan garis netral $> y_2$ maka perhitungan garis netral dicari dengan menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + As' \cdot fs' = As \cdot fy$$

$$\text{Substitusi nilai : } fs' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) + As' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = As \cdot fy$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai: } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot beff) \cdot c + As' \cdot (c - d') \cdot 600 = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' = As \cdot fy \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot As' \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' - As \cdot fy \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + (600 \cdot As' - As \cdot fy) \cdot c - 600 \cdot As' \cdot d' = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85) \cdot c^2 + (600 \cdot 566,77 - 1983,69 \cdot 390) \cdot c - 600 \cdot 566,77 \cdot 49,72 = 0$$

$$28719,38 c^2 - 1251093,57 + 11775000 = 0$$

$$c = 51,52 \text{ mm}$$

$$es = \frac{d - c}{c} \cdot ec = \frac{1137,5 - 51,52}{51,52} (0,003) = 0,063$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{390}{200000} = 0,00195$$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka $f_s = f_y$

Karena $c < y_2$, tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka dihitung

nilai c menurut persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff + A_{s_{plat}}' \cdot f_s' = A_{s1} \cdot f_s + A_{s2} \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 \text{ dan } f_s = f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) + A_{s_{plat}}' \cdot \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 = A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) \cdot c + A_{s_{plat}}' \cdot (c - y_1) \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai: $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot beff) \cdot c + A_{s_{plat}}' \cdot (c - y_1) \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot A_{s_{plat}}' \cdot c - 600 \cdot A_{s_{plat}}' \cdot y_1 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + (600 \cdot A_{s_{plat}}' - A_{s1} \cdot f_y - A_{s2} \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A_{s_{plat}}' \cdot y_1 = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 2000) \cdot c^2 + (600 \cdot 566,77 - 1519,76 \cdot 390 - 1983,69 \cdot 390) \cdot c - 600 \cdot$$

$$566,77 = 0$$

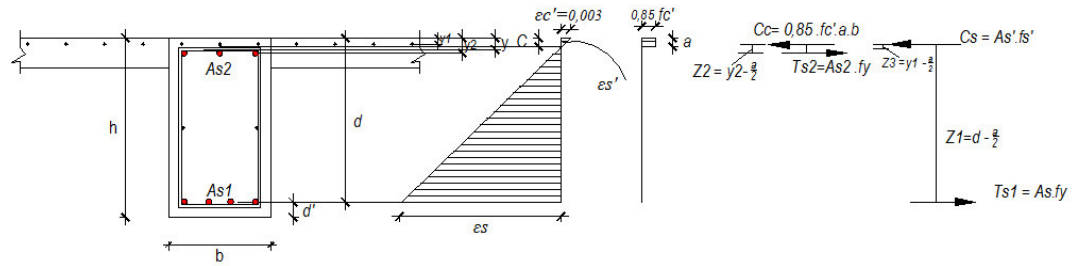
$$28719,38 c^2 - 1251093,57 + 11775000 = 0$$

$$c = 51,52 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 51,52$$

$$= 43,79 \text{ mm}$$



Gambar 4.5 Letak Daerah Tekan Pada Pelat

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - y_1}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{51,52 - 25}{51,52} (0,003) = 0,00154$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{y_2 - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{62,5 - 51,52}{51,52} (0,003) = 0,00063$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{1137,5 - 51,52}{51,52} (0,003) = 0,06323$$

$$f_{s'} = \epsilon_{s'} \cdot E_s$$

$$= 0,00154 \cdot 200000$$

$$= 308,854 \text{ Mpa}$$

$$f_s = f_y$$

$$= 390 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_{eff}$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 26,63 \cdot 1325$$

$$= 1479642,62 \text{ N}$$

$$C_s = A_{s_{plat}} \cdot f_{s'}$$

$$= 785 \cdot 308,85$$

$$= 242451,13 \text{ N}$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_s$$

$$= 2943,75 \cdot 390$$

$$= 1148062,75 \text{ N}$$

$$T_{s2} = A_{s2} \cdot f_s$$

$$= 1471,87 \cdot 390$$

$$= 574031,25 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$1479642,62 + 242451,13 = 1148062,75 + 574031,25$$

$$1722093,75 \text{ N} = 1722093,75 \text{ N}$$

$$Z_1 = d - (1/2 \cdot a)$$

$$= 1137,5 - (1/2 \cdot 43,79)$$

$$= 1115,60 \text{ mm}$$

$$Z_2 = y_2 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 62,5 - (1/2 \cdot 43,79)$$

$$= 40,60 \text{ mm}$$

$$Z_3 = y_1 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 25 - (1/2 \cdot 43,79)$$

$$= 3,10 \text{ mm}$$

$$M_n = (T_{s1} \cdot Z_1) + (T_{s2} \cdot Z_2) - (C_s \cdot Z_3)$$

$$= (1148062,75 \cdot 1115,60) + (574031,25 \cdot 40,60) - (242451,13 \cdot 3,10)$$

$$= 1303338067 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 1303338067$$

$$= 1042670453 \text{ Nmm} > M_u = \mathbf{85740000} \text{ Nmm} \dots \dots \dots \text{OK}$$

$$M_{pr} = 1,25 \times M_n$$

$$= 1629172583 \text{ Nmm}$$

C. Perhitungan penulangan tumpuan kanan joint 234

$$M_u = 73015230 \text{ Nmm}$$

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

- Tulangan yang terpasang pada daerah atas 5 D 25 ($A_{s1} = 2453,13 \text{ mm}^2$)
- Tulangan yang terpasang pada daerah bawah 3 D 25 ($A_{s'} = 1471,88 \text{ mm}^2$)
- Tulangan plat terpasang disepanjang beff 10 Ø 10 ($A_{s_{\text{plat}}} = 785 \text{ mm}^2$)

Kontrol Momen Negatif

$$\text{Tulangan tarik } A_{s_{\text{plat}}} = 10 \text{ } \varnothing 10 = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1_{\text{Balok}}} = 3 \text{ D } 25 = 1471,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2_{\text{Balok}}} = 2 \text{ D } 25 = 981,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{Balok}}} = A_{s1_{\text{Balok}}} + A_{s2_{\text{Balok}}} = 2453,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tekan } A_{s'} = 3 \text{ D } 22 = 1471,88 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = \text{tebal selimut beton plat} + \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ tul plat}$$

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

$$= 25 \text{ mm}$$

$$y_2 = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \text{ D tul. tarik}$$

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

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

$$y_3 = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + \text{D tul. Tarik(1)} + \text{jarak minimum}$$

$$\text{antar tulangan} + \frac{1}{2} \text{ D.tul. tarik (2)}$$

$$= 40 + 10 + 25 + 30 + \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$= 117,5 \text{ mm}$$

$$y = \frac{(A_{s_{Plat}} \times y_1) + (A_{s1_{Balok}} \times y_2) + (A_{s2_{Balok}} \times y_3)}{(A_{s_{Plat}} + A_{s1_{Balok}} + A_{s2_{Balok}})}$$

$$= \frac{(785 \times 25) + (1471,88 \times 62,5) + (981,25 \times 117,5)}{(785 + 1471,88 + 981,25)}$$

$$= 70,08 \text{ mm}$$

$$d = h - y$$

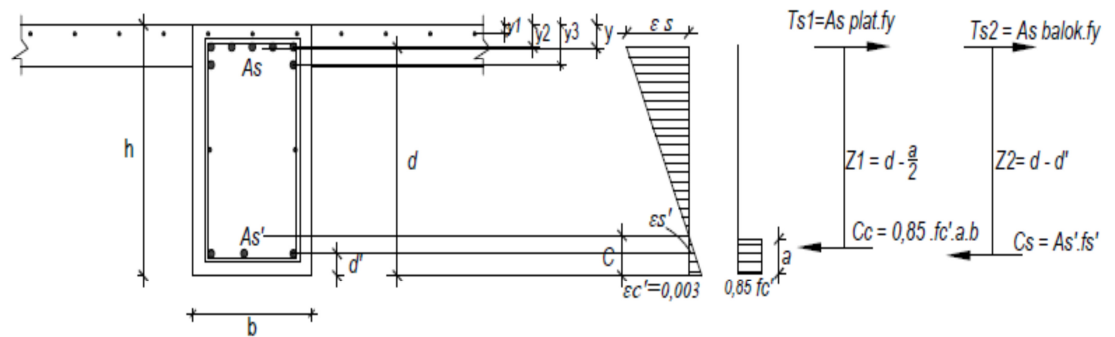
$$= 1200 - 70,08$$

$$= 1129,92 \text{ mm}$$

$$d' = \text{tebal selimut beton} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tul. tarik}$$

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

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



Gambar 4.6 Momen Negatif Pada Penulangan Tumpuan

Dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral dicari dengan menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_{s'} \cdot f_{s'} = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_{s'} = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85.f'c.a.b) + As' \frac{(c-d')}{c} \times 600 = As_{plat} \cdot fy_{polos} + As_{balok} \cdot fy_{ulir}$$

$$(0,85.f'c.a.b).c + As' (c-d') 600 = As_{plat} \cdot fy_{polos} \cdot c + As_{balok} \cdot fy_{ulir} \cdot c$$

Substitusi nilai: $a = \beta c$

$$(0,85.f'c.\beta c.b).c + As' (c-d') 600 = As_{plat} \cdot fy_{polos} \cdot c + As_{balok} \cdot fy_{ulir} \cdot c$$

$$(0,85.f'c.\beta c.b).c^2 + 600.As'.c - 600.As'.d' = As_{plat} \cdot fy_{polos} \cdot c + As_{balok} \cdot fy_{ulir} \cdot c$$

$$(0,85.f'c.\beta c.b).c^2 + 600.As'.c - 600.As'.d' - As_{plat}.fy_{polos}.c - As_{balok}.fy_{ulir}.c = 0$$

$$(0,85.f'c.\beta c.b).c^2 + (600.As' - As_{plat}.fy_{polos} - As_{balok}.fy_{ulir}).c - 600.As'.d' = 0$$

$$(0,85.30.0,85.400).c^2 + (600 \cdot 1471,88 - 785 \cdot 290 - 2453,15 \cdot 390).c - 600 \cdot 1471,88 \cdot 62,5 = 0$$

$$8670 c^2 - 261993,75 c + 55195312,5 = 0$$

$$c = 96,32 \text{ mm}$$

$$a = \beta.c$$

$$= 0,85 \cdot 96,32$$

$$= 81,87 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{96,32-62,5}{96,32} (0,003) = 0,00105$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{1129,92-96,32}{96,32} (0,003) = 0,03219$$

$$\epsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{390}{200000} = 0,00195$$

Karena $\epsilon_s > \epsilon_y > \epsilon_s'$ maka tulangan baja tarik telah leleh, baja tekan belum

Dihitung tegangan pada tulangan baja tekan.

$$f's = \epsilon_s' \cdot Es$$

$$= 0,00105 \cdot 200000$$

$$= 210,656 \text{ Mpa} < 390 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

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

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 81,87 \cdot 400$$

$$= 835059,05 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f'_s$$

$$= 1471,88 \cdot 210,66$$

$$= 310059,70 \text{ N}$$

$$T_{s1} = (A_{s \text{ plat}} \cdot f_y \text{ polos})$$

$$= (785 \cdot 240)$$

$$= 188400 \text{ N}$$

$$T_{s2} = (A_{s \text{ balok}} \cdot f_y \text{ ulir})$$

$$= (2453,13 \cdot 390)$$

$$= 956718,75 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_{s1} + T_{s2}$$

$$835059,05 + 310059,70 = 188400 + 956718,75$$

$$1145118,75 \text{ N} = 1145118,75 \text{ N}$$

$$Z_1 = d - (1/2 \cdot a)$$

$$= 1135,73 - (1/2 \cdot 81,88)$$

$$= 1088,99 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d'$$

$$= 1135,73 - 62,5$$

$$= 1067,42 \text{ mm}$$

$$M_n = (C_c \cdot Z_1) + (C_s \cdot Z_2)$$

$$= (835059,05 \cdot 1088,99) + (310059,70 \cdot 1067,42)$$

$$= 1240336175 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 1240336175$$

$$= 992268939,7 \text{ Nmm} > M_u = 73015230 \text{ Nmm} \text{ ,,,,,(ok!)}$$

$$M_{pr} = 1,25x M_n$$

$$= 1550420218,3 \text{ Nmm}$$

Kontrol MR positif

$$\text{Tulangan tekan } A_s'_{\text{plat}} = 10 \text{ } \varnothing 10 = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1}' = 3 \text{ D } 25 = 1471,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2}' = 2 \text{ D } 25 = 981,25$$

$$A_s' = 785 + 1471,88 + 981,25 = 3238,13 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan tarik } A_s = 5 \text{ D } 22 = 3238,13 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 20 + \frac{1}{2} 10 = 25 \text{ mm}$$

$$y_2 = 40 + 10 + \frac{1}{2} 22 = 62,5 \text{ mm}$$

$$y_3 = 40 + 10 + 25 + 30 + \frac{1}{2} 25 = 117,5 \text{ mm}$$

$$y = d' = \frac{(A_{s\text{ Plat}} \times y_1) + (A_{s1\text{ Balok}} \times y_2) + (A_{s2\text{ Balok}} \times y_3)}{(A_{s\text{ Plat}} + A_{s1\text{ Balok}} + A_{s2\text{ Balok}})}$$

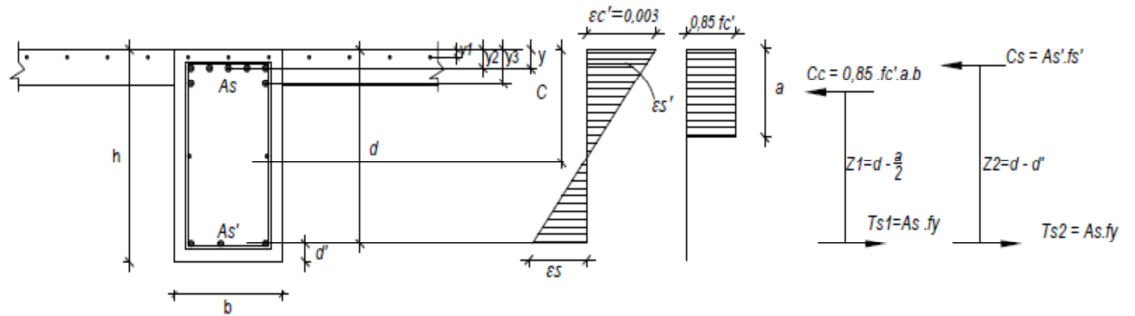
$$= \frac{(785 \times 25) + (1475,88 \times 62,5) + (981,25 \times 117,5)}{(785 + 1475,88 + 981,25)}$$

$$= 70,08 \text{ mm}$$

$$d = h - (40 + 10 + \frac{1}{2} 25)$$

$$= 600 - 62,5$$

$$= 1137,5 \text{ mm}$$



Gambar 4.7 Momen Positif Pada Penulangan Tumpuan

Dimisalkan garis netral $> y_3$ maka perhitungan garis netral dicari dengan

menggunakan persamaan :

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) + A_s' \cdot \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$\text{Substitusi nilai: } a = \beta_1 \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot \text{beff}) \cdot c + A_s' \cdot (c - d') \cdot 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot \text{beff}) \cdot c^2 + 600 \cdot A_s' \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot \text{beff}) \cdot c^2 + 600 \cdot A_s' \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot \text{beff}) \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 1,325) \cdot c^2 + (600 \cdot 3238,13 - 1471,88 \cdot 350) \cdot c - 600 \cdot 3238,13 \cdot 70,08$$

$$= 0$$

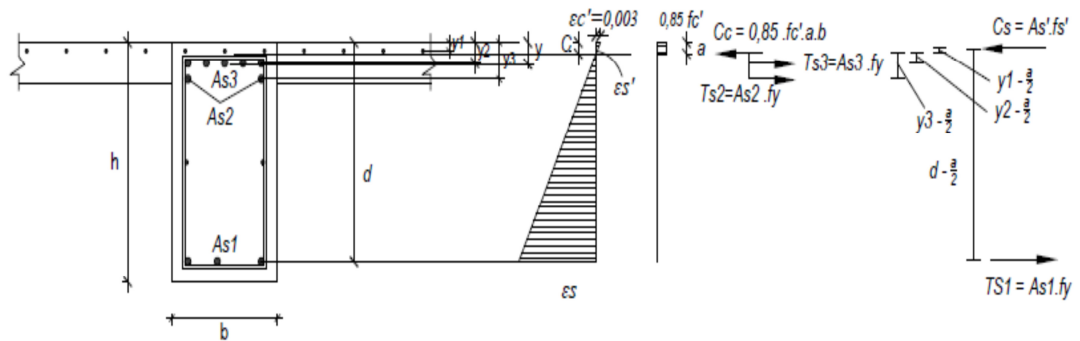
$$28719,38 c^2 - 1442437,5 c + 11775000 = 0$$

$$c = 57,37 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot \varepsilon_c = \frac{1137,5-57,37}{57,37} (0,003) = 0,05648$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es} = \frac{390}{200000} = 0,00195$$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka $f_s = f_y$



Gambar 4.8 Letak Daerah Tekan Pada Pelat

Karena $c < y_2$, tulangan tekan sebagian mengalami gaya tarik maka dihitung

nilai c menurut persamaan :

$$0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff + A_{s_{plat}'} \cdot f_s' = A_{s1} \cdot f_s + A_{s2} \cdot f_y$$

$$\text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 \text{ dan } f_s = f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) + A_{s_{plat}'} \cdot \frac{(c - y_1)}{c} \times 600 = A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot beff) \cdot c + A_{s_{plat}'} \cdot (c - y_1) \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

Substitusi nilai: $a = \beta_1 \cdot c$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot beff) \cdot c + A_{s_{plat}'} \cdot (c - y_1) \cdot 600 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + 600 \cdot A_{s_{plat}'} \cdot c - 600 \cdot A_{s_{plat}'} \cdot y_1 = A_{s1} \cdot f_y \cdot c + A_{s2} \cdot f_y \cdot c$$

$$(0,85 \cdot f'c \cdot \beta_1 \cdot beff) \cdot c^2 + (600 \cdot A_{s_{plat}'} - A_{s1} \cdot f_y - A_{s2} \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A_{s_{plat}'} \cdot y_1 = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 1325) \cdot c^2 + (600 \cdot 785 - 1471,88 \cdot 390 - 981,25 \cdot 390 - 3238,13 \cdot 350) \cdot c -$$

$$600 \cdot 785 \cdot 25 = 0$$

$$28719,38 c^2 - 1442437,5 c + 11775000 = 0$$

$$c = 57,37 \text{ mm}$$

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 57,37$$

$$= 48,77 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c - y_1}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{57,37 - 25}{57,37} (0,003) = 0,00169$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{d - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{1137,5 - 57,37}{57,37} (0,003) = 0,05648$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{y_3 - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{117,35 - 57,37}{57,37} (0,003) = 0,00026$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{y_2 - c}{c} \cdot \epsilon_c = \frac{62,5 - 57,37}{57,37} (0,003) = 0,000314$$

$$f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s$$

$$= 0,00169 \cdot 200000$$

$$= 338,54 \text{ Mpa}$$

$$f_s = f_y$$

$$= 390 \text{ Mpa}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_{eff}$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 48,77 \cdot 1325$$

$$= 1647678,21 \text{ N}$$

$$C_s = A_{s_{plat}}' \cdot f_s'$$

$$= 785.338,55$$

$$= 265759,29 \text{ N}$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_s$$

$$= 2453,13 \cdot 390$$

$$= 956718,75 \text{ N}$$

$$T_{s2} = A_{s2} \cdot f_s$$

$$= 981,25 \cdot 390$$

$$= 382687,5 \text{ N}$$

$$T_{s3} = A_{s3} \cdot f_s$$

$$= 1471,88 \cdot 390$$

$$= 574031,25 \text{ N}$$

$$C_c + C_s = T_{s1} + T_{s2} + T_{s3}$$

$$1647678,21 + 265759,29 = 956718,75 + 382687,5 + 574031,25$$

$$1913437,50 \text{ N} = 1913437,50 \text{ N}$$

$$Z_1 = d - (1/2 \cdot a)$$

$$= 1137,5 - (1/2 \cdot 48,77)$$

$$= 1113,12 \text{ mm}$$

$$Z_2 = y_3 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 117,5 - (1/2 \cdot 48,77)$$

$$= 93,12 \text{ mm}$$

$$Z_3 = y_2 - (1/2 \cdot a)$$

$$= 62,5 - (1/2 \cdot 48,77)$$

$$= 38,12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Z4 &= y1 - (1/2 \cdot a) \\
 &= 25 - (1/2 \cdot 48,77) \\
 &= 0,61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= (Ts1 \cdot Z1) + (Ts2 \cdot Z2) - (Cs \cdot Z3) \\
 &= (956718,75 \cdot 1113,12) + (382687,5 \cdot 93,12) - (265759,29 \cdot 38,12) \\
 &= 1122291066 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

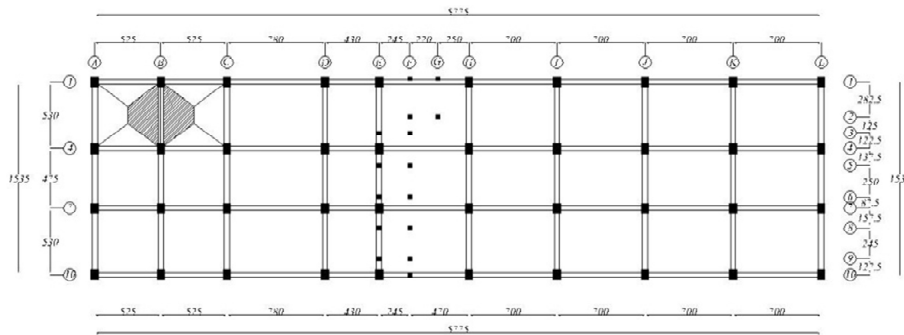
$$\begin{aligned}
 Mr &= \phi \cdot Mn \\
 &= 0,8 \cdot 1122291066 \\
 &= 953947406,1 \text{ Nmm} > Mu = 622341190 \text{ Nmm} \dots \dots \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr &= 1,25 \times Mn \\
 &= 1402863833 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

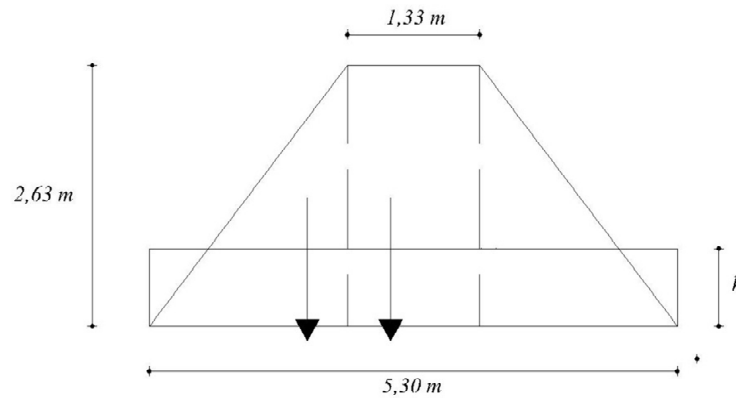
4.1.2 Perhitungan Penulangan Geser Pada Balok

Gaya reser rencana Vs harus ditentukan dari peninjauan gaya gempa pada bagian komponen struktur antara dua muka tumpuan. Momen Mpr dengan tanda berlawanan dianggap bekerja dimuka kolom dan dibebani penuh oleh beban grafitasi terfaktor. Ve dicari nilai terbesar akibat beban gempa arah kiri dan kanan.

- Perataan Beban Pelat Lantai



Gambar 4.9 Perataan Portal line B



Gambar 4.10 Perataan Beban Trapesium

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot 2,63 \cdot 1,59 = 2,09 \text{ m}^2$$

$$F_2 = 1,33 \cdot 2,63 \cdot 0,5 = 1,75 \text{ m}^2$$

$$R_A = R_B = \frac{(2,09 \cdot 2) + (1,75 \cdot 2)}{2} = 3,84$$

$$\begin{aligned} M_{\max 1} &= R_A \cdot \frac{1}{2}L - F_1 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot 2 \right) - F_2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 0,67 \right) \\ &= 3,84 \cdot 2,65 - 2,09 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 2,63 + 1 \right) - 1,75 \cdot (0,33) \\ &= 5,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max 2} &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot h \cdot 5,3^2 = 3,51 h \end{aligned}$$

$$M_{\max 1} = M_{\max 2}$$

$$5,68 = 3,51 h$$

$$h = 1,62 \text{ m}$$

- **Pembebanan Balok Induk portal Line 8**

Beban mati merata (qd)

Lantai 2 sampai lantai 16

Beban Mati (q_{d1})

$$\begin{aligned} \square \text{ Berat sendiri balok} &= b \cdot (h - h_f) \cdot B_j \text{ beton} \\ &= 0,4 \cdot (1,2 - 0,12) \cdot 24 &= 10,37 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \square \text{ Perataan beban plat} &= q_d \text{ plat} \times \text{perataan plat} \\ &= 3,72 \cdot (1,62) &= 6,026 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \square \text{ Berat dinding} &= \text{Tinggi tembok} \times \text{berat per m}^2 \\ \text{Berat dinding} &= 2,3 \cdot 2,5 &= 5,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$q_{d1} = 22,15 \text{ kN/m}$$

Beban hidup merata (q_l)

Beban hidup (q_{l1})

q_{l1} = beban hidup gedung * perataan plat * koefisien reduksi

$$= 2,5 \cdot (1,62) \cdot 0,9 = 3,645 \text{ kN/m}$$

- **Kuat geser (Vu) Akibat Beban Gravitasi dan Beban Gempa**

$$\begin{aligned} V_{u \text{ akibat gravitasi}} &= \frac{1}{2} (1,2 q_d + q_l) \times L_n \\ &= \frac{1}{2} (1,2 \cdot 22,15 + 3,65) \times 4500 \\ &= 68130 \end{aligned}$$

Untuk nilai Kuat geser (V_n) didapat dari nilai M_{pr} positif, negatif momen tumpuan dan di lakukan perhitungan sebagai berikut.

Diketahui nilai M_{pr} pada joint momen 161 dan 234 tumpuan 1550420218,32 negatif dan 1402863832,54 positif

$$\begin{aligned}
 V_u &= (M_{pr}^- + M_{pr}^+) / L_n \\
 &= 1550420218,32 + 1402863832,54 / 4500 \\
 &= 656285,35 \text{ (} V_{u_{\text{akibat gempa kanan}}})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u_{\text{akibat grafitasi}}} &= \frac{1}{2} \times (1.2 \cdot q_d \cdot q_l) \times L_n \\
 &= \frac{1}{2} \times (1.2 \cdot 22,15 \cdot 3,65) \times 4500 \\
 &= 68130
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{n_{\text{gempa kn+grafitasi}}} &= V_{u_{\text{akibat grafitasi}}} + V_{u_{\text{gempa kn}}} \\
 &= 68130 + 656285,35 \\
 &= 724415,35 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= (M_{pr}^+ + M_{pr}^-) / L_n \\
 &= 1402863832,54 + 1550420218,32 / 4500 \\
 &= 656285,35 \text{ N (} V_{u_{\text{akibat gempa kiri}}})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{n_{\text{gempa kr+grafitasi}}} &= V_{u_{\text{akibat grafitasi}}} + V_{u_{\text{gempa kr}}} \\
 &= 68130 + 656785,35 \\
 &= 724415,35 \text{ N (} V_{u_{\text{akibat gempa kiri}}})
 \end{aligned}$$

Diambil yang paling besar V_n yaitu 724415,35 N

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_n}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{724415,35}{0,55} - 415356,27 = 901762,54 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan sengkang $\varnothing 10$ (3 kaki)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{(3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 240 \cdot 1137,5}{901762,54} = 71,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai sengkang 3 Ø10 – 70

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$
$$= \frac{(3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 240 \cdot 1137,5}{70} = 918450 \text{ N}$$

Syarat ;

$$\frac{V_n}{\phi} - V_c < V_c + V_s \text{ terpasang}$$

$$901762,54 \text{ N} < 415356,27 + 918450$$

$$901762,54 \text{ N} < 1333806,27 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Kontrol kuat geser nominal tidak boleh lebih besar dari V_s max menurut SNI-2847 pasal 13.5.(6.(8))

$$V_s \text{ terpasang} \leq V_s \text{ maks}$$

$$V_s \text{ terpasang} \leq (2/3) \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$918450 \text{ N} \leq (2/3) \sqrt{30} \times 400 \times 1137,5$$

$$918450 \text{ N} \leq 1661425,09 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempu (SNI-2002-2847–23.10(4(2))) pada daerah sendi plastis, spasi maksimum tidak boleh melebihi:

- $\frac{d}{4} = \frac{1137,5}{4} = 284,38 \text{ mm} > 70 \text{ mm}$

- 8 x diameter tulangan utama = 8 x 25 = 200 mm > 70 mm

- 24 x diameter sengkang = 24 x 10 = 240 mm > 70 mm

- 300 mm > 70 mm

Maka jarak sengkang tersebut aman.

Dengan hasil ini maka dipakai jarak $s = 70$ mm, dengan hoop pertama 3 $\varnothing 10$ mm dipasang 50 mm dari muka kolom di ujung balok dan seterusnya untuk sepanjang $2h = 1200$ mm.

➤ Perhitungan penulangan geser pada daerah sendi plastis (diluar $2h$)

V_u akibat beban mati

$V_u = 68130$ N (pada jarak 1200mm)

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$
$$= \frac{68130}{0,55} - 415356,27 = 291483,55 \text{ N}$$

Direncanakan tulangan sengkang $\varnothing 10$ (2 kaki)

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$
$$= \frac{(2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 240 \cdot 1137,5}{291483,55} = 147 \text{ mm}$$

Jadi dipakai sengkang $2\varnothing 10 - 150$

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$
$$= \frac{(2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2) \cdot 240 \cdot 1137,5}{147} = 285740 \text{ N}$$

Syarat ;

$$\frac{V_u}{\phi} - V_c < V_c + V_s \text{ terpasang}$$

$$291483,55 \text{ N} < 415356,27 + 285740 \text{ N}$$

$$291483,55 \text{ N} < 701096,27 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

- Pemasangan sengkang praktis di luar sendi plastis

$$\frac{724415,35 - (V_c \cdot \phi)}{x} = \frac{724415,35 - 0}{4500}$$

$$724415,35 - (415356,27 \times 0,55) = \frac{724415,35 - 0}{4500} \times x$$

$$495969,41 = 160,98 x$$

$$x = 1540,46 \text{ mm}$$

Direncanakan tulangan sengkang Praktis $\emptyset 10$

Syarat jarak spasi sengkang maksimum pada daerah luar sendi plastis menurut SNI-2847 pasal 23.3(3(4)):

- $\frac{d}{2} = \frac{539}{2} = 269,5 \text{ mm}$

- Diambil $S = 260 \text{ mm}$

Maka diluar jarak x dipasang sengkang praktis $\emptyset 10-260$

Dari hasil perhitungan dan ketentuan-ketentuan diatasmaka dipasang tulangan sengkang sebagai berikut:

- Joint kiri = joint kanan
 - Daerah sendi plastis sejarak 1200 mm = 2 $\emptyset 10 - 70$
 - Daerah luar sendi plastis diluar jarak 1200 mm = 2 $\emptyset 10 - 150$
 - Daerah luar sendi plastis diluar jarak 2502.124 mm = 2 $\emptyset 10 - 260$

4.2 Perhitungan Penulangan Kolom

4.2.1 Perhitungan penulangan lentur kolom

➤ Perhitungan Diagram Interaksi Kolom

Diketahui :

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

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

Tulangan sengkang $\varnothing 12$

Tulangan utama dipakai D28

Tebal selimut beton 40 mm

Tinggi kolom = h kolom – h balok

$$= 5000 - 1200 = 3800 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

d = h – Selimut beton – \varnothing sengkang – $\frac{1}{2} \varnothing$ tul. Pokok

$$= 800 - 40 - 12 - (0,5 \cdot 28)$$

$$= 734 \text{ mm}$$

$$d' = h - d$$

$$= 800 - 66 = 734 \text{ mm}$$

- Luas penampang kolom (A_g)

$$A_g = b \cdot h$$

$$= 800 \cdot 600 = 480000 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan pada kolom menurut SNI pasal 23.4(3(1)) 1 % - 6 %,

maka dicoba dengan jumlah tulangan 1,5 %, $\rho = 0,015$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \cdot A_g$$

$$= 0,015 \cdot 480000$$

$$= 4800 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 12 D 28, A_s ada = 6154.4 mm^2

Luas tulangan tarik = tulangan tekan

$$A_s = A_s' = 6154.4 / 2 = 3077.2$$

Beban sentries (SNI pasal 12.3(5(2)))

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$= \{0,85 \cdot 30 (480000 - 6154.4) + 390 \cdot 6154.4\} \cdot 10^{-3}$$

$$= 14483.279 \text{ kN}$$

$$P_n = 0,80 \cdot P_o$$

$$= 0,80 \cdot 14931,935$$

$$= 11586.623 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot 11586.623$$

$$= 75196.3 \text{ kN}$$

➤ Kondisi Seimbang

$$X_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 734}{600 + 390} = 444.848 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot X_b = 0,85 \cdot 444.848 = 378.121 \text{ mm}$$

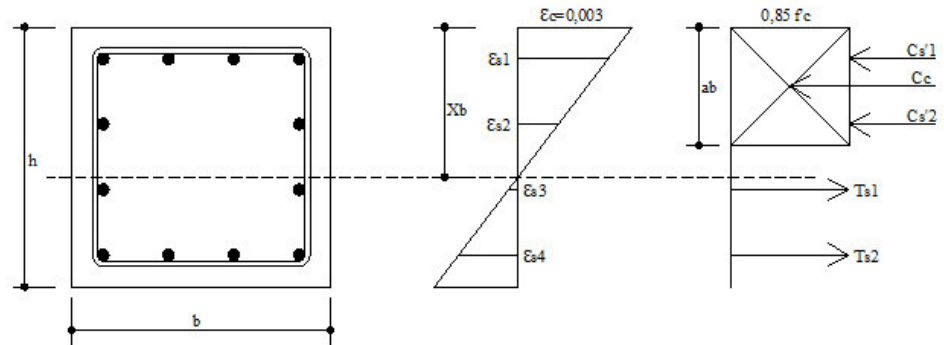
$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a_b$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 378.121 \cdot 10^{-3}$$

$$= 5785.255 \text{ kN}$$

$$f_s' = \frac{600(X_b - d')}{X_b} = \frac{600(444,848 - 66)}{444,848} = 510,98 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 510.981 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$...maka kondisi tulangan tekan leleh



Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s' 390 \text{ Mpa}$

$$C_s = A_s' \cdot (f_s' - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3077,2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30) \cdot 10^{-3}$$

$$= 1121,6394 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y$$

$$= 3077,2 \cdot 390 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1200,108 \text{ kN}$$

$$P_{nb} = C_c + C_s - T_s$$

$$= 5785,255 + 1121,6394 - 1200,108$$

$$= 5706,786 \text{ kN}$$

$$\Phi P_{nb} = 0,65 \cdot 5706,787$$

$$= 3709,410 \text{ kN}$$

$$y = h/2$$

$$= 800/2$$

$$= 400 \text{ mm}$$

$$M_{nb} = \{C_c \cdot (y - ab/2) + C_s \cdot (y - d') + T_s \cdot (d - y)\} / 1000$$

$$= \{5785.255.(400-378.121 / 2) + 1121.6394 (400-66) + 1200.108 (734 - 400)\} / 1000$$

$$= 1995.801 \text{ kNm} = 1995.801 \cdot 10^3 \text{ kNmm}$$

$$\Phi M_{nb} = 0,65 \cdot 1995.801$$

$$= 1297,27 \text{ kN}$$

$$e_b = M_{nb} / P_{nb}$$

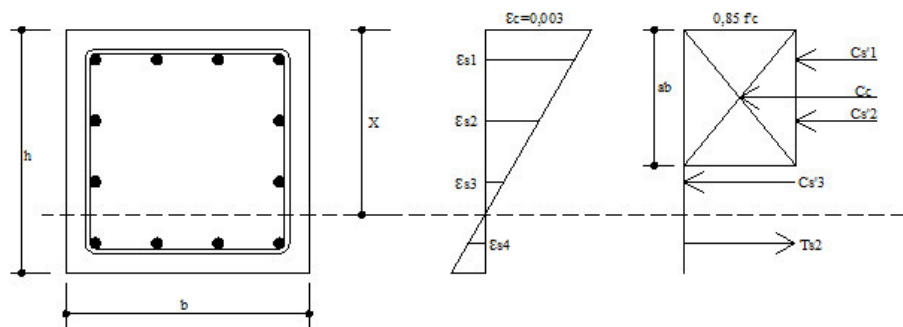
$$= 1995.801 \cdot 1000 / 5706.786$$

$$= 349.725 \text{ mm}$$

➤ Kondisi Patah Desak (terjadi jika nilai $x > x_b$)

- Diambil nilai $x = 500 \text{ mm} > x_b = 323 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 500 = 425 \text{ mm}$$



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

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 425$$

$$= 6502500 \text{ N}$$

$$f_s' = \frac{600(d - x)}{X} = \frac{600(734 - 300)}{300} = 280,8 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 280,8 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa}$... maka kondisi tulangan tarik belum leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s' 280.8 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
C_s &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
&= 3077,2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30) \\
&= 1121639,4 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_s &= A_s \cdot f_s \\
&= 3077,2 \cdot 243,15 \\
&= 864077,76 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_n &= C_c + C_s - T_s \\
&= (6502500 + 1121639,4 - 864077,76) \cdot 10^{-3} \\
&= 6760,062 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi P_{nb} &= 0,65 \cdot 6760,062 \\
&= 4394,04 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y &= h/2 \\
&= 800/2 \\
&= 400 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_n &= C_c (y - a/2) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\
&= \{6502500 \cdot (400 - 425/2) + 1121639,4 (400 - 66) + 864077,76 (734 - 400)\} / 1000 \\
&= 1882,448 \text{ kNm} = 1882,448 \cdot 10^3 \text{ kNmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Phi M_{nb} &= 0,65 \cdot 1472,617 \\
&= 957,201 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e &= M_{nb} / P_{nb} \\
&= 1882,448 \cdot 10^3 / 6760,062 \\
&= 278,466 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Diambil nilai $x = 550 \text{ mm} > x_b = 444.848 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 550 = 467.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 467.5 \\ &= 7152750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_s' = \frac{600(d - x)}{X} = \frac{600(734 - 550)}{550} = 200.727 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 200.727 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa}$, maka kondisi tulangan tarik belum leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s' = 200.727 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3077.2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30) \\ &= 1121639.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3077.2 \cdot 200.727 \\ &= 617677.964 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= (7152750 + 1121639.4 - 617677.964) \cdot 10^{-3} \\ &= 7656.711 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= h/2 \\ &= 800/2 \\ &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (y - a/2) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= \{7152750 \cdot (400 - 467.5/2) + 1121639.4 (400 - 66) + 617677.964 \\ &\quad (734 - 400)\} / 1000 \end{aligned}$$

$$= 1770.077 \text{ kNm} = 1770.077 \cdot 10^3 \text{ kNmm}$$

$$e = M_{nb}/P_{nb}$$

$$= 1770.077 \cdot 10^3 / 7656.711$$

$$= 231.170 \text{ mm}$$

- Diambil nilai $x = 600 \text{ mm} > x_b = 444.848 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 600 = 510 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 510$$

$$= 7803000 \text{ N}$$

$$f_s' = \frac{600(d-x)}{X} = \frac{600(734-600)}{600} = 134 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = 134 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa}, \text{ maka kondisi tulangan tarik belum}$$

leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan f_s' 134 Mpa

$$C_s = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3077.2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30)$$

$$= 1121639.4 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 3077.2 \cdot 134$$

$$= 412344.8 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$= (7803000 + 1121639.4 - 412344.8) \cdot 10^{-3}$$

$$= 8512.295 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 y &= h/2 \\
 &= 800/2 \\
 &= 400 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

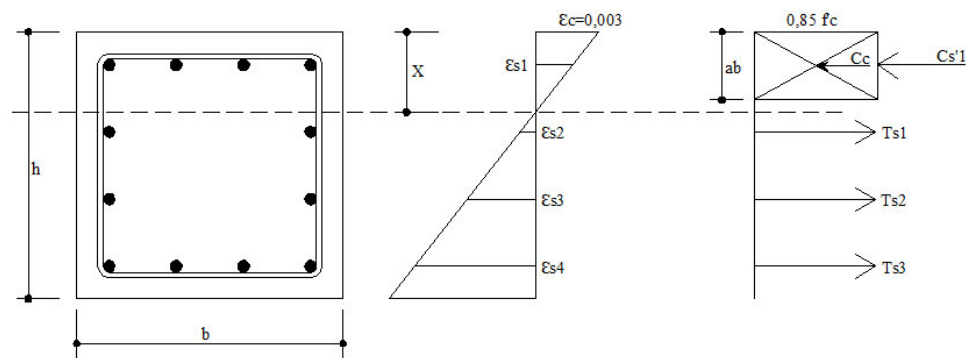
$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c (y-a/2) + C_s (y-d') + T_s (d-y) \\
 &= \{7803000.(400-510/2)+ 1121639.4 (250-66)+ 412344.8 (734-400)\}/1000 \\
 &= 1643.786 \text{ kNm} = 1643.786 \cdot 10^3 \text{ kNmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &= M_n/P_n \\
 &= 1643.786 \cdot 10^3/8512.295 \\
 &= 193.107 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Kondisi Patah Tarik (terjadi jika nilai $x < x_b$)

- Diambil nilai $x = 400 \text{ mm} < x_b = 444.848 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 400 = 340 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 340 \\
 &= 5202000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$f_s = \frac{600(d - x)}{X} = \frac{600(734 - 400)}{400} = 501 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 501 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$...maka kondisi tulangan tarik belum leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s = 390 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3077,2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30) \\ &= 1121639,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3077,2 \cdot 390 \\ &= 1200108 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= (5202000 + 1121639,4 - 1200108) \cdot 10^{-3} \\ &= 5123,531 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= h/2 \\ &= 800/2 \\ &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (y - a/2) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= \{5202000 \cdot (400 - 340/2) + 1121639,4 (400 - 66) + 1200108 (439 - 400)\} / 1000 \\ &= 1971,926 \text{ kNm} = 1971,926 \cdot 10^3 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= M_n / P_n \\ &= 1971,926 \cdot 10^3 / 5123,531 \\ &= 384,876 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Diambil nilai $x = 350 \text{ mm} < x_b = 444,848 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 350 = 297,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 297,5 \\ &= 4551750 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_s = \frac{600(d-x)}{X} = \frac{600(734-350)}{350} = 658,286 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 658,286 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$...maka kondisi tulangan tarik belum leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s = 390 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3077,2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30) \\ &= 1121639,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \cdot f_s \\ &= 3077,2 \cdot 390 \\ &= 1200108 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= (4551750 + 1121639,4 - 1200108) \cdot 10^{-3} \\ &= 4473,281 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y &= h/2 \\ &= 800/2 \\ &= 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c (y-a/2) + C_s (y-d') + T_s (d-y) \\ &= \{4551750 \cdot (400-297,5/2) + 1121639,4 (400-66) + 1200108 (734-400)\} / 1000 \\ &= 1919,091 \text{ kNm} = 1919,091 \cdot 10^3 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e &= M_{nb}/P_{nb} \\
 &= 1919.091 \cdot 10^3 / 4473.281 \\
 &= 429.012 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Diambil nilai $x = 300 \text{ mm} < x_b = 444.848 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot X = 0,85 \cdot 300 = 255 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 255$$

$$= 3901500 \text{ N}$$

$$f_s = \frac{600(d - x)}{X} = \frac{600(734 - 300)}{300} = 868 \text{ Mpa}$$

$f_s' = 868 \text{ Mpa} > f_y = 390 \text{ Mpa}$...maka kondisi tulangan tarik belum

leleh

Dipakai tegangan tulangan tekan $f_s = 390 \text{ Mpa}$

$$C_s = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3077.2 \cdot (390 - 0,85 \cdot 30)$$

$$= 1121639.4 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

$$= 3077.2 \cdot 390$$

$$= 1200180 \text{ N}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$= (3901500 + 1121639.4 - 1200180) \cdot 10^{-3}$$

$$= 3823.0314 \text{ kN}$$

$$y = h/2$$

$$= 800/2$$

$$= 400 \text{ mm}$$

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

$$= \{3901500.(400-255/2) + 1121639.4 (400-66) + 1200180 (734-400)\} / 1000$$

$$= 1838.622 \text{ kNm} = 1838.622 \cdot 10^3 \text{ kNmm}$$

$$e = M_{nb} / P_{nb}$$

$$= 1838.622 \cdot 10^3 / 3823.0314$$

$$= 480.933 \text{ mm}$$

➤ Kondisi Lentur Murni

➤ Mencari garis netral dengan dimisalkan $X > d'$, maka bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$➤ 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_s \cdot f_y$$

$$➤ \text{Substitusi nilai : } f_s' = \frac{(c - d')}{c} \times 600$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) + A_s' \frac{(c - d')}{c} \times 600 = A_s \cdot f_y$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b) \cdot c + A_s' (c - d') 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$➤ \text{Substitusi nilai: } a = \beta_1 \cdot c$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b) \cdot c + A_s' (c - d') 600 = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 \cdot A_s' \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' = A_s \cdot f_y \cdot c$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + 600 \cdot A_s' \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' - A_s \cdot f_y \cdot c = 0$$

$$➤ (0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot b) \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - 600 \cdot A_s' \cdot d' = 0$$

$$➤ (0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 600) \cdot c^2 + (600 \cdot 3077,2 - 3077,2 \cdot 390) \cdot c - 600 \cdot 3077,2 \cdot 66 = 0$$

$$➤ 13005 \cdot c^2 + 567743,4 \cdot c - 121857120 = 0$$

- Didapat nilai $c = 71.40$ dan $c = -121.057$
- Maka nilai x dipakai 71.40 mm
- $a = \beta_1 \cdot x = 0,85 \cdot 71.40 = 65.791$
- $Z1 = d - \frac{a}{2}$
- $= 734 - \frac{65.791}{2}$
- $= 701.104$ mm
- $Z2 = d - d'$
- $= 734 - 66$
- $= 668$ mm
- $f_s = \frac{600(x - d)}{X} = \frac{600(77.40 - 66)}{77.40} = 88.382$ Mpa
- $C_s = A_s \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$
- $= 3077.2 \cdot (88.382 - 0,85 \cdot 30)$
- $= 193501.111$ N
- $C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x$
- $= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 0,85 \cdot 66$
- $= 1006606.889$ N
- $M_n = C_c \cdot Z1 + C_s \cdot Z2$
- $= (1006606.889 \cdot 701.104 - 193501.111 \cdot 668) \cdot 10^{-6}$
- $= 834.995$ kNm
- Untuk perhitungan diagram interaksi dengan tulangan 12 D 28 dan 16 D 28 ditabelkan dengan cara yang sama, berikut hasil perhitungan dan gambar diagram interaksi :

Tabel. 4.1 Diagram Interaksi (10 D 28)

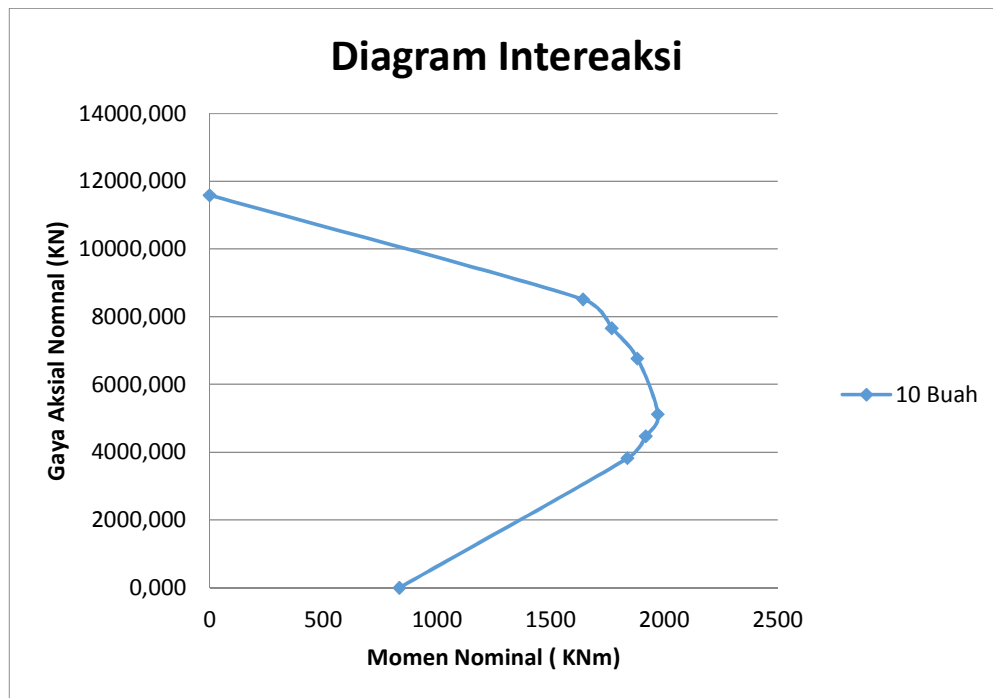
Diagram Intereaksi (10 D 28)		
x	Mn	Pn
0	0	11586.623
600.000	1643.786	8512.295
550.000	1770.077	7656.711
500.000	1882.448	6760.062
400.000	1971.924	5123.531
350.000	1919.091	4473.281
300.000	1838.622	3823.031
0	834.995	0

Tabel. 4.2 Diagram Interaksi (12 D 28)

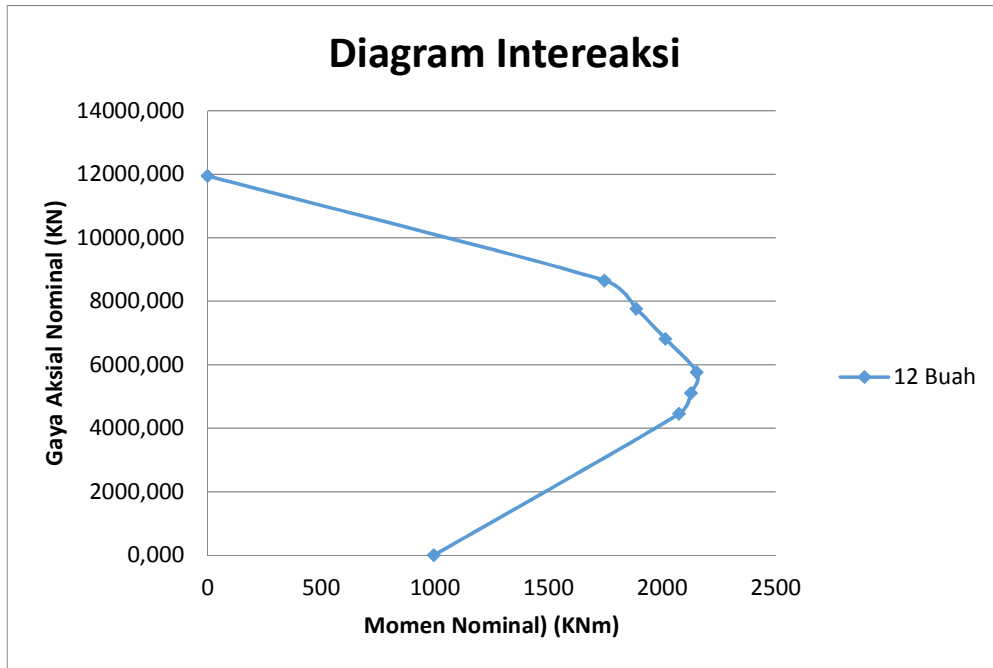
Diagram Intereaksi (12 D 28)		
x	Mn	Pn
0	0	11945.548
600.000	1746.256	8654.154
550.000	1886.263	7757.504
500.000	2015.094	6811.574
450.000	2152.214	5758.088
400.000	2127.016	5107.838
350.000	2074.184	4457.588
0	995.170	0

Tabel. 4.3 Diagram Interaksi (16 D 28)

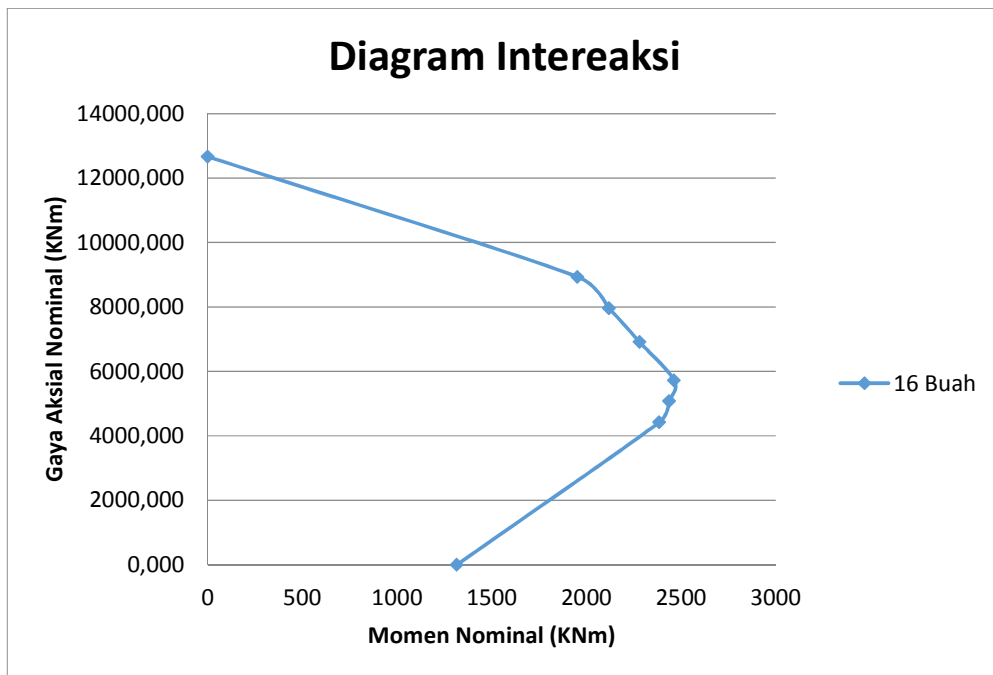
Diagram Intereaksi (16 D 28)		
x	Mn	Pn
0	0	12663.397
600.000	1951.196	8937.871
550.000	2118.636	7959.088
500.000	2280.386	6914.599
450.000	2462.399	5726.700
400.000	2437.202	5076.450
350.000	2384.369	4426.200
0	1314.796	0



Gambar. 4.10 Diagram Interaksi (10 D 28)



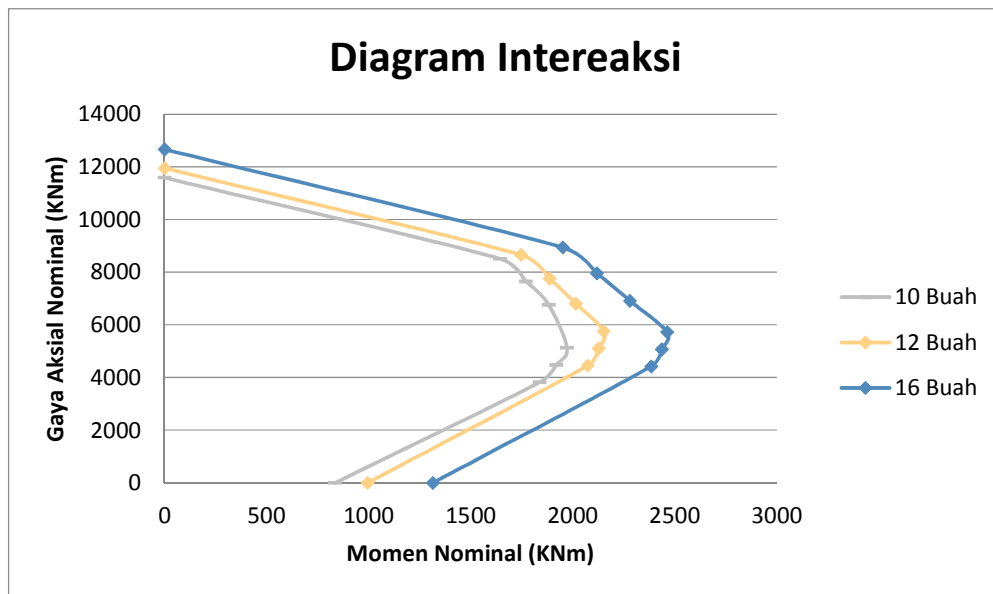
Gambar. 4.4 Diagram Interaksi (12 D 28)



Gambar. 4.11 Diagram Interaksi (16 D 28)

TABEL MOMEN NOMINAL, GAYA AKSIAL & JUMLAH TULANGAN KOLOM

No	Kolom	Mu	Pu	Mn = Mu/Ø	Pn = Pu/Ø	Tulangan
1	241	609.262	5747.997	937.326	8843.072	10 D 28
2	245	670.212	5300.863	1031.095	8155.174	10 D 28
3	249	663.082	4845.317	1020.126	7454.334	10 D 28
4	251	585.480	4910.264	900.738	7554.253	10 D 28
5	624	524.474	5164.023	806.883	7944.651	10 D 28
6	627	722.316	4892.697	1111.256	7527.226	10 D 28
7	629	268.581	4472.051	413.202	6880.078	10 D 28
8	631	60.224	4468.672	92.653	6874.880	10 D 28



Tabel 4.2 Tabel Mn, Pn, dan Jumlah Tulangan

- Nilai Mu dan Pu diambil dari hasil perhitungan Staadpro
- Untuk nilai Ø sebesar 0,65 sesuai dengan SNI-2847-2013 pasal 9.3.

4.2.2 Perhitungan penulangan geser kolom

Penulangan geser kolom no. 241

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } h &= 800 \text{ mm} & f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ b &= 600 \text{ mm} & f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ d &= 736 \text{ mm} \\ \phi &= 0,55 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi bersih } h_n = 3800 \text{ mm} = 3,8 \text{ m}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \varnothing 12 \text{ mm}$$

$$N_u = 196187,85 \text{ kN}$$

$$M_n = 937326000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{\ell_u} = \frac{1544259053 + 1550420218}{3800} = 812767,9228 \text{ N} = 812,7679228 \text{ kN}$$

➤ Tulangan geser didalam sendi plastis

Daerah yang berpotensi sendi plastis terletak sepanjang l_o (SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 21.6.4.1) dari muka yang ditinjau, dimana panjang l_o tidak boleh kurang dari :

- $1/6 l_n = 1/6 \cdot 3800 = 633 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang kolom = 800 mm
- 800 mm

Jadi daerah yang berpotensi sendi plastis sejauh 700 mm dari muka kolom.

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{Nu}{14.Ag}\right) \times \left(\frac{\sqrt{f'c'}}{6}\right) \times bw \times d \\
 &= \left(1 + \frac{1924,603}{14 \times 480000}\right) \times \left(\frac{\sqrt{30}}{6}\right) \times 600 \times 736 \\
 &= 117,6905 \text{ kN} = 117690,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,55 \cdot 117,6905 = 64,72976 \text{ kN}$$

$V_u > \phi \cdot V_c$, maka harus dipasang tulangan geser sesuai dengan

(SNI-2847- pasal 13.5.(6.(1)))

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{812,7679}{0,55} - 117,6905 = 1360,069 \text{ kN} = 1360069 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan sengkang 3 \emptyset 12 (3 kaki)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{(3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) \cdot 240 \cdot 736}{1360069,395} = 44,043 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempa (SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 21.6.4.2), spasi maksimum tidak boleh melebihi :

- $\frac{1}{4} \times$ dimensi terkecil komponen struktur = $\frac{1}{4} \times 600 = 150 \text{ mm}$
- 8 . diameter tulangan longitudinal = $8 \cdot 28 = 224 \text{ mm}$
- 24 x diameter sengkang ikat = $24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
- 300 mm

Jadi dipakai sengkang 3 ϕ 12 – 100 mm

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$
$$= \frac{(3 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) \cdot 240.736}{150} = 399347,712 \text{ N}$$

$$V_n = V_c + V_s \text{ terpasang}$$
$$= 117,690 + 399347,712$$
$$= 399465,402 \text{ N}$$

$$\Phi V_n = 0,55 \cdot 399465,402$$
$$= 219705,971 \text{ N} > V_u = 81276,7922 \text{ N} \text{ ,,,,,,,(Aman)}$$

Kontrol kuat geser nominal menurut SNI-2847 pasal 23.5.(6.(9))

$$V_s \text{ maks} < (2/3) \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$399347,712 < (2/3) \sqrt{30.600736}$$

$$399347,712 \text{ N} < 1612495,209 \text{ N} \text{ ,,,,,,,(OK)}$$

Jadi, untuk penulangan geser didaerah yang terjadi sendi plastis sejauh $l_0 = 700$ mm dipasang tulangan geser 3 kaki ϕ 12 – 100

➤ Tulangan geser diluar daerah sendi plastis

Persyaratan maksimum untuk daerah diluar sendi plastis menurut SNI-2847 pasal 21.6.4.3. spasi maksimum tidak boleh melebihi:

$$\blacksquare S_0 = 100 + \frac{100 \cdot x/hx}{3} = 100 + \frac{100 \cdot x/hx}{3} = 333 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 2 ϕ 12 dengan spasi 150 mm

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$= \frac{(2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) \cdot 240.736}{150} = 266231,808 \text{ N}$$

Kontrol geser nominal menurut SNI-2847 pasal 13.5.(6.(9))

$$V_s \text{ maks} < (2/3) \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

$$266231,808 < (2/3) \sqrt{30} \cdot 600 \cdot 736$$

$$266231,808 \text{ N} < 1612495,209 \text{ N},,,,,,(OK)$$

Maka,

$$\Phi (V_s + V_c) = 0,55 (266231,808 + 117,690)$$

$$= 146492,224 \text{ N} > V_u = 81276,7922 \text{ N},,,,,,(OK)$$

Jadi, untuk penulangan geser diluar sendi plastis dipasang

tulangan geser 2 kaki ϕ 12 – 150.

4.2.3 Sambungan Tulangan Vertikal Kolom

Sesuai dengan pasal 12.2.2 panjang sambungan lewatan tulangan 10 D 28 dari kolom no 241 dihitung dengan rumus :

$$l_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

Dimana:

$$\psi_t = 1,3$$

$$\psi_e = 1,0$$

$$\psi_s = 1,0$$

$$\lambda = 1,0$$

$$K_{tr} = 0$$

$$c = 40 + 10 + \frac{22}{2} = 61 \text{ mm}$$

$$c = \frac{800 - 2(40 + 10)}{3 \times 2} = 66,667 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{240 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{1,1 \lambda \sqrt{30} \left(\frac{61 + 0}{22} \right)} \right) 22$$

$$l_d = 630 \text{ mm} \sim 1,3 \text{ m}$$

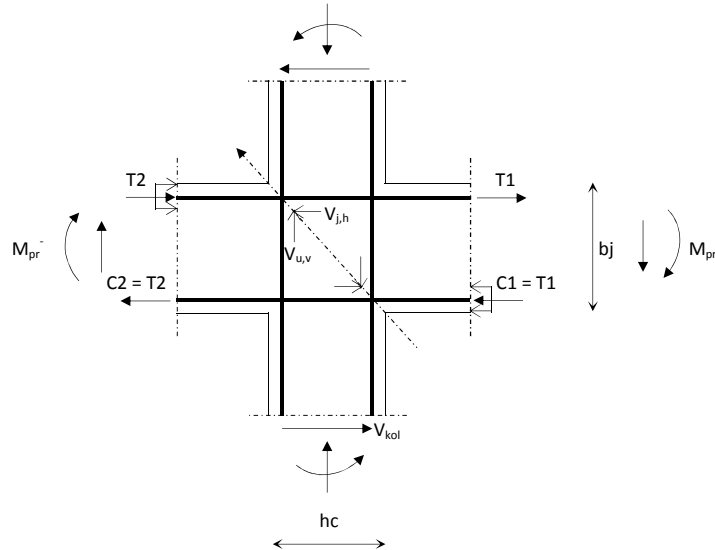
Jadi panjang 8 D 22 dan 7 D 22 dipasang sepanjang 1,3 m dari muka kolom.

Sesuai Pasal 21 sambungan lewatan harus diletakkan ditengah panjang kolom dan harus dihitung sebagai sambungan tarik. sambungan lewatan ini termasuk kelas B yang panjangnya harus 1,3

$$l_d = 380,16 \text{ mm} = 494 \text{ mm}$$

4.3 Joint Rangka Momen Khusus

Pertemuan Balok – Kolom Portal Melintang Line 8 (joint no. 20)



Data perencanaan :

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_{y_{ulir}} = 390 \text{ Mpa}$$

$$f_{y_{polos}} = 240 \text{ Mpa}$$

$$M_{pr, \text{ b kanan}} = 1550420218 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr, \text{ b kiri}} = 1402863832 \text{ Nmm}$$

$$h_{n,a} = 3600 \text{ mm}$$

$$h_{n,b} = 3600 \text{ mm}$$

$$\text{lebar balok} \geq \frac{3}{4} \text{ lebar kolom}$$

$$40 \text{ cm} \geq \frac{3}{4} 60 \text{ cm}$$

$$40 \text{ cm} < 4500 \text{ cm}$$

Karena lebar balok $< \frac{3}{4}$ lebar kolom, maka menurut SNI 2847 pasal 21.7.3 tulangan sengkang Joint Rangka Momen Khusus harus dipasang sama

dengan tulangan sengkang didaerah sendi plastis (l_o) pada kolom 3 ϕ 12 (339,12 mm²) dengan spasi 70 mm.

$$\text{maka jumlah lapis sengkang} = \frac{400 - 70 - 12}{70} = 5,971 \approx 6 \text{ lapis}$$

Tulangan balok yang terpasang pada joint:

$$\text{Balok kiri} = 5 \text{ D } 25$$

$$\text{Balok kanan} = 3 \text{ D } 25$$

Pemeriksaan kuat geser nominal pada joint :

Gaya geser yang terjadi

$$A_{s1} = 5.0,25.3,14.25^2 = 2453,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{s2} = 3.0,25.3,14.25^2 = 1471,87 \text{ mm}^2$$

$$T = A_s \cdot 1,25 \cdot f_y$$

$$T_1 = 2453,12 \cdot 1,25 \cdot 390 = 1195898 \text{ N}$$

$$T_2 = 1471,87 \cdot 1,25 \cdot 390 = 717539 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{M_{pr\ 3} + M_{pr\ 4}}{2} \\ &= \frac{1550420218 + 1402863832}{2} = 1476642025 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$V_h = \frac{2 \times Mu}{h_n / 2} = \frac{2 \times 1476642025}{[(3600/2) + (3600/2)]} = 820356,68 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{jh} &= T_1 + T_2 - V_h \\ &= 1195898 + 717539 - 820356,68 \\ &= 1093080,81 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal untuk HBK yang terkekang keempat sisinya maka berlaku :

$$V_{jh} < \phi \times 1,7 \times \sqrt{f'c} \times A_j$$

$$1093080,81 < 0,75 \times 1,7 \times \sqrt{25} \times 600 \times 800$$

$$1093080,81 < 11444400 \text{ N} \dots\dots\dots \text{OK}$$

- Kontrol penulangan geser horisontal

$$N_u = 1924693 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{A_g} = \frac{1924693}{800 \times 600} = 4,08725 \text{ N/mm}^2$$

$$= 4,087 \text{ N/mm}^2 > 0,1 f'c = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Jadi $V_{c,h}$ dihitung menurut persamaan

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{N_u, k}{A_g} - 0,1 \times f'c \right)} \times b_j \times h_c$$

$$= \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{1924693}{480000} - 0,1 \times 30 \right)} \times 800 \times 600$$

$$= 254005,08 \text{ N}$$

$$V_{s,h} + V_{c,h} = V_{j,h}$$

$$V_{s,h} = V_{j,h} - V_{c,h}$$

$$= 1093080,81 - 254005,08$$

$$= 839075,736 \text{ N}$$

$$A_{j,h} = \frac{V_{s,h}}{f_y}$$

$$= \frac{839075,736}{240}$$

$$= 2496,148 \text{ mm}^2$$

- Kontrol penulangan geser vertical

$$V_{jv} = \frac{hc}{bj} V_{j,h} = \frac{800}{600} \times 109308081 = 819810614 \text{ N}$$

$$V_{cv} = \frac{As' \times V_{j,h}}{As} \times \left(0,6 + \frac{Nu.k}{Ag \cdot fc'} \right)$$

$$= \frac{2453,12 \times 109308081}{1471,87} \times \left(0,6 + \frac{1924693}{48000 \times 30} \right)$$

$$= 178707,87 \text{ N}$$

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v}$$

$$= 819810,614 - 178707,87$$

$$= 641102,74 \text{ N}$$

$$A_{j,v} = \frac{V_{sv}}{fy}$$

$$= \frac{641102,74}{240}$$

$$= 2671,261 \text{ mm}^2$$

Tulangan kolom yang terpasang 20 D 25 , dimana luas tulangan (A_s ada = $7598,8 \text{ mm}^2$) $>$ $A_{j,v} = 2671,261 \text{ mm}^2$. Maka tidak diperlukan lagi tulangan geser vertikal karena sudah ditahan oleh tulangan kolom yang terpasang.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan pengaku dengan menggunakan *Outrigger* sebagai alternatif sistem struktur untuk menahan gaya lateral gempa (Gempa Dinamik) maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Simpangan Horizontal yang terjadi :

Pada elevasi 54.00 adalah Simpangan X = 2.9819 dan simpangan Z = 9.8603

2. Dari hasil perhitungan balok yang terbesar terdapat pada lantai 2 join 161 dan 234 (pada tumpuan), join 265 (pada lapangan) diperoleh tulangan sebagai berikut :

BALOK	UKURAN /DIMENSI	TULANGAN TUMPUAN KIRI	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN KANAN
Balok Biasa	40/60	4 D 25 (atas) 3 D 25 (bawah)	3 D 25 (atas) 4 D 25 (bawah)	4 D 25 (atas) 3 D 25 (bawah)
Outrigger	40/120	5 D 25 (atas) 3 D 25 (bawah)	3 D 25 (atas) 4 D 25 (bawah)	5 D 25 (atas) 3 D 25 (bawah)

Tulangan Geser :

Join Kiri = Join Kanan

Daerah sendi plastis : 2 (kaki) Ø 10-70

Daerah Luar Sendi Plastis : 2 (kaki) Ø 10-150

3. Kolom pada portal ini direncanakan dengan menggunakan dimensi 60/80 dengan jumlah tulangan pada kolom nomor 241 didapat tulangan lentur 10 D 28, dengan spesifikasi tulangan geser:

Daerah sendi plastis : 2 kaki Ø12-100

Daerah luar sendi plastis : 2 kaki Ø12-200

5.2. Saran

Dengan berkembangnya dalam mendesain bangunan tingkat tinggi untuk merencanakan suatu struktur tahan gempa. Sistem outrigger biasanya digunakan sebagai salah satu sistem struktur untuk mengontrol beban yang bekerja secara lateral, tetapi tidak harus menggunakan sistem ini dan untuk lebih luasnya dapat dikembangkan dengan membandingkan atau mencoba dengan sistem yang lain seperti outrigger truss, X-Bracing.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 2012. Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung SNI – 1726 – 2012. Yayasan Badan Penerbit PU
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987. Yayasan Badan Penerbit PU
- Departemen Pekerjaan Umum. 2013. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version) SNI – 2847 – 2013. Yayasan Badan Penerbit PU Nasution, Amrinsyah. 2009. Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang. Bandung : ITB Press
- L. Schodek, Daniel. 1998. Struktur. Bandung : PT.Refika Aditama.
- Muto, Kiyoshy. 1974. Analisis perencanaan Gedung Tahan Gempa
- Purwono M.Sc , Prof. Ir. Rachmat. 2005. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa (edisi kedua). Surabaya : ITS Pers
- Angerik Verik, “ Analisis Respon Beban Angin Pada Bangunan Beton Tingkat Tinggi Yang Menggunakan Sistem Outrigger Truss” 2009. USU, Sumatera.

