

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN KOLOM TERHADAP KEANDALAN
STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS: GEDUNG KULIAH
TERPADU UNIVERSITAS PALANGKA RAYA)**

Oleh

AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM. DAB 118 042



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

2023

**ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN KOLOM TERHADAP KEANDALAN
STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS: GEDUNG KULIAH
TERPADU UNIVERSITAS PALANGKA RAYA)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh

AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM. DAB118042

**Disetujui sesuai dengan revisi dalam
Form Rekomendasi dan Berita Acara Ujian Skripsi**

Pembimbing Utama

(LILIANA, S.T.,M.T)
NIP. 19700221 199403 2 001

Pembimbing Pendamping

(OKTA MEILAWATY, S.T.,M.T.)
NIP. 19770505 200501 2 022

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua,

(Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.)
NIP. 19780608 200501 1 003

ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN KOLOM TERHADAP KEANDALAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS: GEDUNG KULIAH TERPADU UNIVERSITAS PALANGKA RAYA)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM. DAB 118 042

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal : Senin, 27 Februari 2023
Waktu : 13.00 – 14.30 WIB
Tempat : Meeting Room Jurusan (offline)

Tim Penguji :

1. **LILIANA, S.T.,M.T.**
NIP. 197002211994032001

..... (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)

2. **OKTA MEILAWATY, S.T.,M.T.**
NIP. 197705052005012022

..... (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

3. **FRIEDA, S.T.,M.T.**
NIP. 197212231997022002

..... (Penguji 3)

4. **Ir. MARYANTO, M.T.**
NIP. 196603081993021001

..... (Penguji 4)

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003



FRIEDA, S.T., M.T.
NIP. 19721223 199702 2 002

BIODATA PENULIS



Data Pribadi

Nama : AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM : DAB 118 042
Tempat, Tanggal lahir : PALANGKA RAYA, 28 Oktober 2001
Status : BELUM MENIKAH
Agama : KRISTEN PROTESTAN
Pekerjaan : MAHASISWA
No. Telp Rumah : -
Alamat : Jl. G.OBOS XXV
Email : Avilliyufensii@gmail.com
No Hp : 082350570400
No Wa : 082350570400
Facebook : -
Instagram : Avilliyufensii
Line : -
Nama Ayah : YUSEF FABIANUS HADIWINATA, S.P
Pekerjaan Ayah : SWASTA
Alamat : Jl. G.OBOS XXV
No. Hp : 08115234402
Nama Ibu : WILLYANE SINTA, A.Md. Keb
Pekerjaan Ibu : APARATUR SIPIL NEGARA (ASN)
Alamat : Jl. G.OBOS XXV
No. HP : 081520334555

Riwayat Pendidikan*)

- SD : SDN 8 LANGKAI PALANGKA RAYA (2006-2012)
- SLTP : SMPS GOLDEN CHRISTIAN SCHOOL (2012-2015)
- SLTA : SMAN 2 PALANGKA RAYA (2015-2018)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan Agustus 2017

Palangka Raya, Maret 2023
Yang membuat pernyataan

AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM. DAB 118 042

LEMBAR PERSEMBAHAN

1. Terima kasih Tuhan Yesus karena kasih karunia- Mu aku bisa ada di tahap ini dan melewati perjalanan panjang kuliah ini
2. Terima kasih mamah & papah yang sudah cukup sabar untuk menunggu anaknya mendapatkan gelar. Terima kasih sudah menjadi donatur dan mendukung selalu segala hal yang kulakukan selama ini.
3. Terima kasih untuk adikku Sydney, yang sudah menjadi penyemangat sekaligus moodbooster saat penat dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Terima kasih kepada dosen & staff jurusan terkhusus Ibu Liliana,S.T.,M.T dan Ibu Okta Meilawaty, S.T.,M.T yang sudah bersedia membimbing saya selama pembuatan skripsi ini dan memberikan saya ilmu yang sangat berguna untuk saya kedepannya.
5. Terima kasih kepada Ibu Frieda,S.T.,M.T, Bapak Ir. Lilik Hermawan, M.T dan Bapak Ir. Maryanto, M.T selaku Dosen Penguji saya di skripsi dan sudah memberikan banyak masukan untuk perbaikan skripsi saya yang lebih baik.
6. Terima kasih teman-teman SIPIL 2018 atas segala bantuan dan kerjasamanya selama ini. Semoga kita semua sukses selalu dan dilancarkan segala urusan.
7. Terima kasih untuk Kiewbo (Anis, Evita, Ivon, Yaya, Feren, Reno, Nigel) temanku sejak maba dan juga Ziza. Terima kasih sudah banyak membantu dari ospek, praktikum, TB sampai skripsi. Terima kasih sudah menjadi teman mendengar dan berbagi selama ini.
8. Terakhir, terima kasih untuk diri sendiri yang sudah berjuang sampai di titik ini.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, Maret 2023

Yang membuat pernyataan



Avillia Yufensi Ngagalan

NIM. DAB118042

RINGKASAN

ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN KOLOM TERHADAP KEANDALAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS: UNIVERSITAS PALANGKA RAYA), Avillia Yufensi Ngagalan, 2023, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Perancangan struktur merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu Gedung agar dapat menghasilkan Gedung yang kuat, aman, nyaman namun tetap ekonomis. Dalam perancangan struktur suatu Gedung bertingkat tinggi, keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan. Dan kolom sebagai salah satu elemen yang paling penting dari struktur atas bangunan Gedung. Kolom mengalami kemiringan akibat pelaksanaan pekerjaan pengecoran kolom beton. Akibatnya, timbul eksentrisitas pada kolom dan menghasilkan momen tambahan (*second moment*) yang sebenarnya tidak diharapkan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari kemiringan kolom dengan menjadikan Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya sebagai studi kasus. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data dengan bantuan program komputer yaitu SAP2000 dan divalidasi dengan perhitungan manual metode cross untuk beban gravitasi dan D-Value Muto untuk beban lateral.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kolom dengan momen terpasang sebesar 581,47 kN/m mampu menahan hingga 17,5% eksentrisitas yang disebabkan oleh miringan kolom. Sekaligus membenarkan terkait studi mengenai eksentrisitas minimum yang biasanya diambil sebesar 10% dimensi penampang untuk kolom persegi.

Kata kunci : *Eksentrisitas, Kolom, Momen Kedua*

SUMMARY

ANALYSIS THE EFFECT OF COLUMN SLOPE ON THE RELIABILITY OF BUILDING STRUCTURES (CASE STUDY: UNIVERSITY PALANGKA RAYA), Avillia Yufensi Ngagalan, 2023, Department Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

Structural design is an important element in the construction of a building in order to produce a building that is strong, safe, comfortable but still economical. In designing the structure of a high-rise building, safety is the main factor that must be considered. And the column as one of the most important elements of the superstructure of the building. The column is tilted due to the implementation of the concrete column casting work. As a result, eccentricity arises in the column and produces an unexpected second moment.

This study aims to analyze the effect of column slope by making the Integrated Lecture Building of the University of Palangka Raya as a case study. This research was conducted by analyzing the data with the help of a computer program, namely SAP2000 and validated by manual calculation of the cross method for gravity loads and D-Value Muto for lateral loads.

The results of this study indicate that a column with an attached moment of 581.47 kN/m is able to withstand up to 17.5% of the eccentricity caused by the tilt of the column. At the same time, it justifies the study of the minimum eccentricity which is usually taken as 10% of the cross-sectional dimensions for square columns.

Keywords: *Eccentricity, Column, Second Moment*

PRAKATA

Puji syukur bagi Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan kasih-Nya penyusunan Draft Skripsi ini dapat diselesaikan untuk diseminarkan dan ditinjau kembali untuk diperbaiki.

Draft Skripsi dengan judul “ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN KOLOM TERHADAP KEANDALAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG (STUDI KASUS : GEDUNG KULIAH TERPADU UNIVERSITAS PALANGKA RAYA)” disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini tidak lupa diucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya dan Dosen Penguji III Ujian Skripsi.
2. Selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.TP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum & Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Dr. Deddy Tenggara, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

6. Ibu Veronika Happy P, S.T.,M.T selaku Sekretaris Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
7. Bapak Dewantoro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Ibu Liliana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I Ujian Skripsi.
9. Ibu Okta Meilawaty, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II Ujian Skripsi.
10. Bapak Ir. Maryanto, M.T selaku Dosen Penguji IV Ujian Skripsi.
11. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
12. Keluarga dan teman-teman saya yang selalu memberikan dukungan serta doa sampai tahap ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Tugas Akhir ini diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan dimasa yang akan datang. Terima Kasih.

Palangka Raya, Februari 2023

AVILLIA YUFENSI NGAGALAN
NIM. DAB 118 042

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pengertian Keandalan Struktur.....	7
2.2. Pengertian Kolom	7
2.3. Fungsi Kolom	9
2.4. Struktur Kolom Komposit	9
2.4.1. Kolom Induk.....	9
2.4.2. Kolom Praktis.....	10
2.5. Tipe Kolom.....	10
2.5.1. Tipe kolom berdasarkan bentuk dan susunan tulang	10
2.5.2. Tipe kolom berdasarkan eksentrisitas.....	11

2.5.3. Tipe kolom berdasarkan beban yang bekerja	13
2.5.4. Tipe kolom berdasarkan Panjang kolom	13
2.6. Syarat- Syarat Beton.....	14
2.7. Dasar-Dasar Perhitungan.....	15
2.8. Asumsi dasar perencanaan kolom	16
2.9. Ketentuan perencanaan.....	17
2.10. Pembebanan.....	20
2.10.1. Beban Mati	20
2.10.2. Beban Hidup	20
2.10.3. Beban Angin	21
2.10.4. Beban Gempa	21
2.11. Pengaruh Beban Aksial pada Penampang Kolom.....	21
2.11.1. Penampang kolom pada kondisi beban sentris	22
2.11.2. Penampang kolom pada kondisi beton tekan menentukan.....	23
2.12. Kekuatan Kolom yang Dibebeani Eksentris : Beban Aksial dan Lentur.....	24
2.12.1. Perilaku Kolom Tak-Langsing Berpenampang Bulat yang Dibebeani Eksentris.....	24
2.13. Diagram Interaksi	27
2.14. Analisis Kekuatan Kolom Pendek.....	28

2.14.1. Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebeani Secara Konsentrik	28
2.15. Persyaratan Penulangan.....	29
2.16. Langkah-Langkah Perancangan Tulangan Geser Kolom.....	31
2.17. Metode Distribusi Momen (<i>Cross</i>)	32
2.18. Program SAP2000	39
BAB III METODE PENELITIAN	51
3.1 Umum	51
3.2 Tahapan Penelitian	51
3.3 Bagan Alir Penelitian	54
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Preliminary Design	55
4.2 Dimensi Elemen Struktur.....	56
4.3 Beban Struktur	57
4.4 Perhitungan Pembebanan.....	58
4.4.1 Perhitungan Beban Mati dan Beban Hidup	58
4.4.2 Beban Gempa.....	58
4.4.3 Kombinasi Pembebanan.....	58
4.5 Analisis Data.....	61
4.6 Kontrol Hasil Analisis Komputer	62
4.7 Konsep Dasar Metode Distribusi Momen.....	62

4.7.1 Momen Primer	62
4.7.2 Faktor Kekakuan dan Momen Induksi.....	63
4.7.3 Faktor Distribusi	63
4.8 Beban Lateral	71
4.9 Perencanaan Balok.....	76
4.10 Penulangan Kolom.....	90
4.10.1 Tulangan Lentur Kolom.....	90
4.10.2 Gaya Aksial Rencana.....	96
4.10.3 Perhitungan Gaya Geser Senggang Kolom.....	103
4.11 Hubungan Balok-Kolom.....	107
4.12 Panjang Penyaluran	113
BAB V PENUTUP	116
5.1 Kesimpulan	116
5.2 Saran.....	116
DAFTAR PUSTAKA	117
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Dimensi Elemen Struktur.....	56
Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban	58
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Beban Geser	60
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Metode Cross.....	66
Tabel 4.5 Hasil Verifikasi Perhitungan Manual dan SAP2000.....	69
Tabel 4.6 Perhitungan Harga k, a dan D	73
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Menggunakan Metode D-Value Muto.....	74
Tabel 4.8 Hasil Output Gaya Geser Menggunakan SAP2000	74
Tabel 4.9 Hasil Perbandingan Gaya Geser Manual dan SAP2000	75
Tabel 4.10 Jumlah Dan Jarak Tulangan Pada Momen Positif	80
Tabel 4.11 Jumlah Dan Jarak Tulangan Pada Momen Negatif.....	83
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan M Akibat Gaya Gempa Positif.....	92
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan M Akibat Gaya Gempa Negatif	93
Tabel 4.14 Perhitungan Pada Kolom	95
Tabel 4.15 Rekapitulasi Momen Dari Program PCACOL.....	100
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Momen Akibat Eksentrisitas	101
Tabel 4.17 Spesifikasi Balok.....	108
Tabel 4.18 Spesifikasi Kolom.....	108

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi Penelitian	6
Gambar 2.1. Macam-Macam Bentuk Kolom	11
Gambar 2.2. Kolom Dengan Beban Eksentris	24
Gambar 2.3. Momen Lentur Terhadap Sumbu	26
Gambar 2.4. Diagram Interaksi Kolom M-N	28
Gambar 2.5. Batang AC	33
Gambar 2.6. Batang AD	35
Gambar 2.7. Distribusi Momen	36
Gambar 2.8. Momen Primer Dan Momen Reaksi	38
Gambar 2.9. <i>Dialog Box</i> Jenis Pemodelan	40
Gambar 2.10. <i>Grid Dialog Box</i>	41
Gambar 2.11. Modifikasi <i>Grid Lines</i>	42
Gambar 2.12. <i>Material Property Data</i>	43
Gambar 2.13. Jenis Penampang Material	43
Gambar 2.14. Pembuatan Penampang Material Baja	44
Gambar 2.15. Pembuatan Penampang Material Beton	44
Gambar 2.16. <i>Define Load Pattern</i>	45
Gambar 2.17. <i>Define Mass Source</i>	45
Gambar 2.18. Kombinasi Pembebanan	46
Gambar 2.19. Menggambar Elemen Struktur	47
Gambar 2.20. Jenis Perletakan	47

Gambar 2.21. Pemilihan Tipe Pembebanan	48
Gambar 2.22. Input Nilai Beban Mati.....	49
Gambar 2.23. Input Nilai Beban Hidup	49
Gambar 2.24. <i>Run Analysis</i>	50
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian	54
Gambar 4.1. <i>Preliminary Design</i>	55
Gambar 4.2. Denah Potongan Melintang Dan Sistem Portal.....	61
Gambar 4.3. Potongan Portal Yang Ditinjau	64
Gambar 4.4. Pemodelan Struktur Portal di SAP2000	67
Gambar 4.5. Diagram Gaya-Gaya Dalam Pemodelan SAP2000.....	67
Gambar 4.6. Output Gaya Dalam Momen Balok AB	68
Gambar 4.7. Output Gaya Dalam Momen Balok BC	68
Gambar 4.8. Diagram Momen Kombinasi Pembebanan	70
Gambar 4.9. Kekakuan Muto	72
Gambar 4.10. Detail Balok Lapangan.....	87
Gambar 4.11. Detail Balok Tumpuan	88
Gambar 4.12. Penulangan Balok.....	89
Gambar 4.13. Arah Momen Kapasitas Dan Gaya Geser Balok Di Muka Kolom Akibat Gempa Positif	92
Gambar 4.14. Arah Momen Kapasitas Dan Gaya Geser Balok Di Joint Akibat Gempa Positif	92
Gambar 4.15. Arah Momen Kapasitas Dan Gaya Geser Balok Di Muka Kolom Akibat Gempa Negatif.....	94

Gambar 4.16.1 Arah Momen Kapasitas Dan Gaya Geser Balok Di Joint Akibat Gempa Negatif.....	94
Gambar 4.17. Output Dari PCACOL.....	98
Gambar 4.18. Diagram Interaksi Kolom.....	99
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Eksentrisitas Dan ϕM_n	102
Gambar 4.20. Detail Kolom 600 x 600.....	106
Gambar 4.21. Ilustrasi Sambungan Balok-Kolom SNI 2847 (2013).....	107
Gambar 4.22. Lokasi Pemutusan Tulangan Tarik Lentur	115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perancangan struktur merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu gedung agar dapat menghasilkan gedung yang kuat, aman, nyaman namun tetap ekonomis. Dalam perancangan struktur suatu gedung bertingkat tinggi, keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan.

Gaya lateral maupun aksial harus diperhitungkan agar struktur memiliki ketahanan terhadap gaya-gaya tersebut. Dalam perencanaan suatu gedung, analisis terhadap gaya-gaya dalam struktur diperlukan untuk memperkirakan reaksi yang akan ditimbulkan apabila suatu struktur bangunan dikenai gaya tersebut. Secara keseluruhan struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas yang berupa lantai, balok, kolom dan atap, sedangkan struktur bagian bawah berupa pondasi. Struktur atas berfungsi sebagai pendukung gaya-gaya yang bekerja pada suatu gedung, sedangkan struktur bawah berfungsi menahan serta menyalurkan gaya-gaya tersebut ke tanah.

Salah satu bagian dari struktur atas bangunan Gedung yaitu Kolom merupakan elemen yang penting dalam sebuah struktur gedung karena jika terjadi keruntuhan pada kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan. Kolom adalah komponen bangunan vertikal yang berdiri tegak dan digunakan untuk menopang suatu beban di atasnya sehingga mengalami gaya tekan aksial. Adapun dimana dalam kolom biaksial, letak sumbu netral dari penampang miring yang membentuk sudut θ karena interaksi antara gaya aksial kompleks dan momen lentur dua arah.

Menurut Sudarmoko (1996), “Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur”.

Elemen struktur kolom merupakan elemen tekan yang menumpu balok yang memikul gaya-gaya pada lantai. Kolom juga dapat di definisikan sebagai elemen struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan gaya tekan aksial, dengan atau tanpa momen, dari pelat lantai dan atap ke pondasi. Momen yang disalurkan dapat berupa momen uniaksial atau biaksial. Sama halnya dengan balok, kekuatan kolom di evaluasi dengan memperhatikan prinsip-prinsip berikut: Distribusi regangan di sepanjang tinggi penampang kolom bersifat linier, tidak terjadi *slip* antara beton dan tulangan, regangan tekan maksimum beton pada kondisi ultimit = 0,003 dan kekuatan tarik beton diabaikan (Imran, 2019 : 136)

Menurut Vis dan Kusuma (1993), sebuah kolom adalah suatu komponen struktur yang di beri beban tekan sentris atau beban tekan eksentris. Di lihat dari segi perencanaan ternyata sebuah kolom pendek (yaitu kolom yang bersendi pada setiap ujung) dari komponen struktur tekan merupakan contoh yang paling mudah di tinjau, karena pada dasarnya kolom ini hanya mengalami gaya-gaya normal (aksial). Dengan demikian kolom adalah sebuah komponen struktur yang mendapat beban tekan sentris. Pada struktur yang sederhana, kolom merupakan bagian dari struktural rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horisontal (balok), maka tegangan disebabkan oleh momen lentur. Kini di katakan sebuah komponen struktur yang

mendapat beban tekan eksentris.

Kolom bisa mengalami kemiringan akibat pelaksanaan pekerjaan pengecoran kolom beton. Akibatnya timbul eksentrisitas pada kolom. Dan akhirnya menimbulkan momen kedua (*second moment*) yang sebenarnya tidak diharapkan. Harusnya kolom berdiri tegak sehingga tugas kolom yang mentransfer beban yang di pikulnya itu, bekerja pada titik pusat kolom dan tidak menimbulkan eksentrisitas.

Beberapa penelitian yang dilakukan untuk meninjau eksentrisitas kolom yang berakibat munculnya momen baru. Sari, 2020 melakukan penelitian dengan memvariasikan eksentrisitas pada kolom, dengan membandingkan beban kolom secara teoritis dengan beban kolom yang terjadi di laboratorium. Di katakan bahwa kolom uji mengalami keruntuhan sebesar 51% dari beban kolom yang di tinjau secara teoritis.

Hafiz, 2016 juga melakukan kajian tentang kekuatan teoritis kolom dan hubungan beban lendutan ($P-\Delta$), pola retak dan kegagalan kolom. Dikatakan hasil analisis dengan memvariasikan eksentrisitas beban memperoleh lendutan yang terbesar pada eksentrisitas 200 mm dengan nilai lendutan sebesar 0,07 m. Peningkatan eksentrisitas beban pada kolom menyebabkan meningkatnya lendutan pada kolom. Sementara untuk beban aksial nya tersendiri mengalami penurunan. Secara mekanik, semakin meningkatnya eksentrisitas semakin meningkat pula lendutan yang terjadi pada kolom. Peningkatan nilai lendutan dengan eksentrisitas 50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm, dengan peningkatan masing - masing 29,03%, 103,22%, 125,81% terhadap beton dengan eksentrisitas

50 mm. Didapati peningkatan nilai eksentrisitas beban kolom menyebabkan nilai kekakuan mengalami penurunan. Secara mekanik, semakin besar eksentrisitas beban yang diberikan pada kolom semakin kecil kekakuan yang terjadi pada kolom.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan tinjauan kemiringan kolom yang terjadi pada struktur bangunan. Bagaimana pengaruhnya terhadap tingkat keandalan struktur bangunan tersebut. Sebagai studi kasus dan objek penelitian Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya, Kalimantan Tengah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka di kemukakanlah rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana variasi kemiringan kolom yang memberikan pengaruh yang besar terhadap keandalan struktur tersebut ?
2. Berapa besar *second moment* (M_2) yang dihasilkan dari kemiringan kolom ?
3. Apakah adanya kemiringan kolom berpengaruh terhadap besaran keandalan struktur ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini dapat terarah dan terencana, maka penulis membuat suatu batasan masalah di bawah ini.

1. Gedung yang menjadi objek studi kasus adalah Gedung Kuliah Terpadu Universitas Palangka Raya.

2. Peraturan pembebanan Gedung digunakan SNI 1727-2013 tentang Tata Cara Pembebanan Rumah dan Gedung.
3. Peraturan beton untuk bangunan Gedung digunakan SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.
4. Penelitian hanya meninjau satu portal saja.
5. Pemodelan hanya dibuat dalam bentuk 2D.
6. Analisis struktur dihitung menggunakan metode cross.
7. Analisis struktur menggunakan program bantu komputer yaitu SAP2000.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah di atas, maka diharapkan tujuan penelitian ini bisa tercapai yaitu untuk :

1. Mengetahui variasi kemiringan kolom yang memberikan pengaruh besar terhadap keandalan struktur.
2. Mengetahui besar *second moment* (M2) yang dihasilkan dari kemiringan kolom.
3. Mengetahui pengaruh kemiringan kolom terhadap besaran keandalan struktur yang terjadi akibat adanya kemiringan kolom tersebut.

1.5 Lokasi Penelitian

Proyek Percepatan peningkatan daya saing Universitas Palangka Raya melalui Skema SBSN akan dilaksanakan di lahan yang merupakan Barang Milik Negara (BMN) seluas 89 hektar dengan status Hak Pakai dengan Sertifikat Nomor 28 berdasarkan SK Gubernur KDH Tingkat I Kalteng, nomor: DA.205/DI-6/II/1979 tanggal 14 Februari 1979; dan luas 278,24 hektar dengan Status Hak

Pakai dengan Sertifikat Nomor 2679 berdasarkan Surat Keputusan Kepala Kanwil BPN Provinsi Kalimantan Tengah, nomor: 223/HP/BPN.42/1998, tanggal 11 Maret 1998, yang dimiliki oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi dan dikelola oleh Universitas Palangka Raya.

Lahan seluas 367,23 Ha berada di Kelurahan Palangka Kecamatan Jekan Raya Kota Palangka Raya. Rencana lokasi pelaksanaan proyek akan berada pada penataan ulang gedung yang ada saat ini sampai dengan pembangunan gedung baru. Lokasi tempat pelaksanaan proyek seperti terlihat pada Gambar berikut ini.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Keandalan Struktur Gedung

Dalam Undang – Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Gedung, setiap bangunan gedung harus memenuhi persyaratan administratif dan persyaratan teknis sesuai dengan fungsi bangunan gedung. Persyaratan administratif yang dimaksud meliputi status hak atas tanah, status kepemilikan bangunan gedung, dan izin mendirikan bangunan. Sedangkan untuk persyaratan teknis bangunan gedung meliputi persyaratan tata bangunan dan persyaratan keandalan bangunan gedung. Yang dimaksud dengan keandalan bangunan gedung struktur (*reliability*) adalah peluang tidak gagal dari suatu struktur ketika menahan beban yang bekerja. Keadaan batas menunjukkan batas aman antara resistensi dan beban dari struktur. Keandalan bangunan struktur adalah keadaan bangunan gedung yang memenuhi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bangunan gedung sesuai dengan kebutuhan fungsi yang telah ditetapkan.

2.2 Pengertian Kolom

Kolom adalah batang vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok dan pelat. Fungsi kolom meneruskan beban dari elevasi atas ke elevasi bawah sampai ke tanah melalui fondasi. Kolom berfungsi sangat penting agar bangunan tidak mudah roboh dan kuat menahan beban dari atas.

Sebuah kolom adalah suatu komponen struktur yang di beri beban tekan sentris atau beban tekan eksentris. Di lihat dari segi perencanaan ternyata sebuah kolom pendek (yaitu kolom yang bersendi pada setiap ujung) dari komponen struktur tekan merupakan contoh yang paling mudah di tinjau, karena pada dasarnya kolom ini hanya mengalami gaya-gaya normal (aksial). Dengan demikian kolom adalah sebuah komponen struktur yang mendapat beban tekan sentris. Pada struktur yang sederhana, kolom merupakan bagian dari struktural rangka. Bila pada kolom bagian atas dan bawah berhubungan kaku dengan komponen horisontal (balok), maka tegangan yang disebabkan oleh momen lentur.

Menurut Istimawan (1999), Kolom merupakan bagian dari suatu kerangka bangunan yang menempati posisi terpenting dalam sistem struktur bangunan. Bila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan.

Kolom meneruskan beban – beban dari elevasi atas ke elevasi di bawahnya hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. Didalam analisa maupun perencanaan kolom, dasar-dasar teori yang di gunakan dalam analisis balok dapat di terapkan dalam analisis kolom, tetapi ada tambahan faktor baru (selain momen lentur) yaitu gaya-gaya normal tekan yang di ikutkan dalam perhitungan. Karena itu perlu adanya penyesuaian dalam menyusun persamaan keseimbangan dengan meninjau kombinasi momen lentur dan gaya normal tekan.

2.3 Fungsi Kolom

Kolom sebagai struktur utama yang akan menahan beban sebanyak berat gedung dan akan meneruskan langsung beban yang ditahan ke pondasi, banyaknya jumlah kolom dan dimensi kolom akan berpengaruh penting pada pembangunan gedung dikarenakan kapasitas kolom tertentu untuk menahan beban tertentu pada kondisi tertentu.

Kesimpulannya dari semua bangunan yang dikerjakan akan terjaga kualitas bangunannya apabila pada saat mendesain pondasi dan kolom tersebut diperhitungkan sesuai untuk menahan beban yang akan di pikul pada masing - masing kolom dan pondasi, maka dari itu penentuan dan design kolom dan pondasi itu sangat penting, karena merupakan salah satu item terpenting pada suatu bangunan gedung dan bangunan lainnya.

2.4 Struktur Kolom Komposit

Struktur pada kolom komposit adalah badan struktur tekan yang di perkuat pada bagian arah yang memanjang dengan gelagar pada baja profil ataupun pipa, dengan bagian atas yang tidak di beri tulangan pokok yang memanjang. Bila berdasarkan kegunaan kolom pada bangunan sederhana bentuk kolom ada dua jenis yaitu kolom induk dan kolom praktis.

2.4.1 Kolom Induk

Kolom induk adalah kolom utama yang berfungsi untuk menyanggah atau menahan beban utama yang berada pada gedung atau pada atas nya, kolom utama

dapat didesain dengan dimensi yang besar mengikuti seberapa besar beban yang akan ditahan di atasnya. Biasanya untuk kolom utama khususnya pada bangunan gedung, rumah tinggal, dan bangunan lainnya memiliki peraturan tersendiri yang sudah ditetapkan.

2.4.2 Kolom Praktis

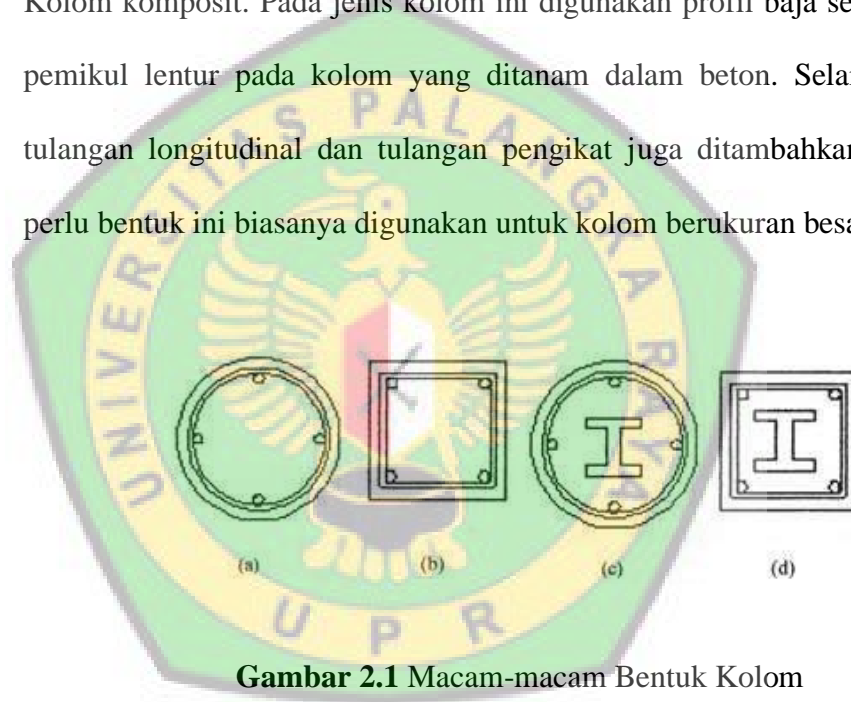
Kolom praktis merupakan kolom yang berfungsi sebagai struktur kolom pembantu, pada hal ini sebenarnya kolom praktis termasuk dalam pekerjaan arsitek bukan lah termasuk pada bagian pekerjaan struktur, akan tetapi mengingat kondisinya sebagai kolom menahan beban dapat dimasukkan juga dalam pekerjaan struktur, biasanya pekerjaan kolom praktis dapat dilakukan pada antara kolom-kolom utama dan biasanya tulangan kolom praktis dapat di stek pada beton plat atau balok yang sudah di cor dengan cara coring atau dengan cara di bor untuk memasukkan besi tulangan atau stek besi. Pada perancangan design kolom praktis juga memiliki metode tersendiri dan peraturan tersendiri mengenai ukuran, penulangan dan cara stek pada besi tulangan nya.

2.5 Tipe Kolom

2.5.1 Tipe Kolom Berdasarkan Bentuk Dan Susunan Tulang

Menurut Muin (1998), kolom bertulang dapat dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan bentuk dan komposisi material yang umum digunakan, yaitu :

- a. Kolom segi empat dengan tulangan longitudinal dan tulangan pengikat lateral/senggang. Bentuk penampang kolom bisa berupa bujur sangkar atau berupa empat persegi panjang.
- b. Kolom bulat dengan tulangan longitudinal dan tulangan pengikat spiral atau tulangan pengikat lateral. Kolom ini mempunyai bentuk yang lebih bagus di banding kolom empat persegi panjang.
- c. Kolom komposit. Pada jenis kolom ini digunakan profil baja sebagai pemikul lentur pada kolom yang ditanam dalam beton. Selain itu tulangan longitudinal dan tulangan pengikat juga ditambahkan bila perlu bentuk ini biasanya digunakan untuk kolom berukuran besar.



Gambar 2.1 Macam-macam Bentuk Kolom

2.5.2 Tipe Kolom Berdasarkan Eksentrisitas

Berdasarkan eksentrisitasnya kolom terbagi atas:

- a) Kolom dengan eksentrisitas kecil, jika $e < e_b$.
- b) Kolom dengan eksentrisitas besar, jika $e > e_b$.

Jenis kolom berdasarkan angka kelangsingan terbagi atas kolom pendek dan kolom panjang atau langsing. Angka kelangsingan suatu struktur kolom dapat dinyatakan dengan rasio kelangsingan,

$$\frac{kl_u}{r} \quad (2-1)$$

di mana, k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

l_u = panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang

r = jari-jari putaran potongan lintang komponen struktur tekan, r ditetapkan 0,30h dimana h adalah dimensi kolom persegi pada arah bekerjanya momen atau 0,25D dimana D adalah diameter kolom bulat

Menurut Dipohusodo (1999), Untuk komponen struktur tekan lateral tanpa pengaku lateral, atau tidak di sokong untuk tertahan ke arah samping, efek kelangsingan dapat di abaikan jika memenuhi :

$$\frac{kl_u}{r} < 1 \quad (2-2)$$

Menurut Istimawan (1999), Panjang efektif kl_u di perlakukan sebagai panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan efek tahanan ujung bukan sendi. Faktor Panjang efektif tahanan ujung k bervariasi antara nilai 0,50-2,0 tergantung kondisinya, untuk keadaan tipikal adalah sebagai nilai-nilai berikut:

Kedua ujung sendi, tidak tergerak lateral $k = 1,0$

Kedua ujung jepit $k = 0,50$

Satu ujung jepit, ujung lain bebas $k = 2,0$

Kedua ujung jepit, ada gerak lateral $k = 1,0$

Bilamana nilai angka kelangsingan memenuhi pada persamaan (2-2) maka kolom tersebut dapat digolongkan kolom pendek, tetapi sebaliknya apabila tidak maka digolongkan kolom panjang.

2.5.3 Tipe Kolom Berdasarkan Beban Yang Bekerja

- a. Kolom yang di bebani secara konsentrik

Jadi, di sini $M = 0$; namun dalam praktek, semua kolom harus di desain terhadap kemungkinan adanya eksentrisitas (akibat ketidaksempurnaan pengerjaan dan lain-lain). Besarnya nilai eksentrisitas minimum biasanya di ambil sebesar 10 % dimensi penampang untuk kolom persegi, dan 5% diameter untuk kolom bundar yang diberi spiral.

- b. Kolom yang di bebani secara eksentrik

Keruntuhan pada kolom dapat di sebabkan oleh :

- ❖ Kelelahan tulangan pada zona Tarik,
- ❖ *Crushing* beton pada zona tekan,
- ❖ Tekuk pada kolom langsing,

2.5.4 Tipe Kolom Berdasarkan Panjang Kolom

Berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, kolom dibedakan atas 2 macam, yaitu : Kolom panjang (sering pula disebut kolom langsing atau kolom kurus), dan Kolom pendek (sering pula disebut kolom tidak langsing atau kolom gemuk). Beban yang bekerja pada kolom panjang, dapat menyebabkan terjadi

kegagalan/keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk. Tetapi pada kolom pendek, kehilangan stabilitas lateral karena tekuk ini tidak pernah dijumpai. Jadi kegagalan/keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dan atau hancurnya beton).

2.6 Syarat-Syarat Beton

Berdasarkan SNI 03-2847-2013, syarat-syarat untuk kolom beton bertulang yaitu :

1. Ukuran penampang kolom tidak boleh kurang dari 15 cm.
2. Luas tulangan memanjang kolom tidak boleh di ambil kurang dari 1% penampang beton, dengan minimum satu batang tulangan di masing-masing sudut penampang.
3. Luas tulangan memanjang kolom tidak boleh di ambil lebih dari 6% dari penampang luas penampang beton. Apabila tulangan memanjang kolom di sambung dengan sambungan lewatan pada stek, maka luas tulangan memanjang maksimum di batasi sampai 4% dari penampang beton yang ada.
4. Tulangan kolom harus di pasang simetris terhadap masing-masing sumbu utama penampang. Tulangan-tulangan memanjang harus di sebar merata sepanjang keliling teras kolom.
5. Tulangan memanjang kolom harus di ikat oleh sengkang-sengkang dengan jarak maksimum sebesar ukuran terkecil penampang.

6. Apabila tulangan memanjang kolom di sambung melalui tulangan pada stek, maka ujung-ujung batang tidak boleh di beri kait kecuali di tempat tersebut tersedia ruang yang cukup.

2.7 Dasar-Dasar Perhitungan

Menurut SNI-03-2847-2013 ada empat ketentuan untuk perhitungan kolom, yaitu :

- a. Kolom harus di rencanakan 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 di tinjau. Kombinasi pembebanan yang menghasilkan rasio maksimum dari momen terhadap beban aksial juga harus di perhitungkan.
- b. Pada konstruksi rangka atau struktur menerus pengaruh dari adanya beban tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar atau dalam harus di perhitungkan. Demikian pula pengaruh dari beban eksentris karena sebab lainnya juga harus di perhitungkan.
- c. Dalam menghitung momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom, ujung-ujung terjauh kolom dapat di anggap jepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu dengan komponen struktur lainnya.
- d. Momen-momen yang bekerja pada setiap level lantai atau atap harus di distribusikan pada kolom dengan memperhatikan kondisi kekekangan pada ujung kolom.

2.8 Asumsi Dasar Perencanaan Kolom

Sama halnya dengan balok, pada perencanaan kolom juga digunakan asumsi dasar sebagai berikut :

- 1) Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002 : Distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (*linear*).
- 2) Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002 : Tidak terjadi *slip* antara beton dan tulangan.
- 3) Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002 : Regangan tekan maksimal beton dibatasi pada kondisi ultimit $\varepsilon_{cu} = 0,003$.
- 4) Pasal 12.5.4 SNI 03-2847-2002 : Kekuatan Tarik beton diabaikan.
- 5) Pasal 12.5.4 SNI 03-2847-2002 : Tegangan baja tulangan Tarik maupun tekan (f_s maupun f_s') yang belum mencapai leleh ($< f_y$) dihitung sebesar modulus elastisitas baja tulangan (E_s) dikalikan dengan regangannya (ε_s maupun ε_s').
- 6) Pasal 12.2.6 SNI 03-2847-2002 : Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya.
- 7) Pasal 12.2.7.1 SNI 03-2847-2002 : Bila hubungan antara distribusi tegangan dan regangan beton diasumsikan berbentuk tegangan beton persegi ekuivalen, maka dipakai nilai tegangan beton sebesar $0,85f_c'$ yang terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar garis netral sejarak $a = \beta_1 \cdot c$ dari serat tekan maksimal.
- 8) Pasal 12.2.7.3 SNI 03-2847-2002 : Faktor β_1 diambil sebagai berikut :
 - a) Untuk $f_c' \leq 30$ MPa, $\beta_1 = 0,85$ (2 – 3)

$$b) \text{ Untuk } f_c' > 30 \text{ MPa, } \beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 30}{7} \right) \quad (2 - 4)$$

$$\text{Tetapi } \beta_1 \geq 0,65 \quad (2 - 5)$$

2.9 Ketentuan Perencanaan

Beberapa ketentuan yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan kolom meliputi hal-hal berikut :

1) Luas tulangan total (A_{st})

Menurut pasal 12.9.1 SNI 03-2847-2002, luas total (A_{st}) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat berikut :

$$0,01 \cdot A_g \leq A_{st} \leq 0,08 \cdot A_g \quad (2 - 6)$$

Dengan : A_{st} = luas total tulangan memanjang, mm^2

A_g = luas bruto penampang kolom, mm^2

2) Diameter tulangan geser (begel atau Sengkang)

Diameter begel kolom (ϕ_{begel}) disyaratkan :

$$10 \text{ mm} \leq \phi_{\text{begel}} \leq 16 \text{ mm}$$

3) Gaya Tarik dan gaya tekan pada penampang kolom

Jika kolom menahan beban eksentris P_n , maka pada penampang kolom sebelah kiri menahan beban tarik yang akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan sebelah kanan menahan beban tekan yang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan.

Gaya Tarik bagian kiri ditahan oleh tulangan, sebesar

$$T_s = A_s \cdot f_s$$

Gaya tekan yang ditahan beton bagian kanan, sebesar

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

Sedangkan gaya tekan yang ditahan oleh tulangan kanan (C_s), yaitu :

- a) Jika luas beton tekan diperhitungkan, maka
- b) Jika luas beton tekan diabaikan, maka

Selanjutnya dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal, diperoleh gaya aksial

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

- 4) Nilai regangan dan tegangan baja tulangan

Untuk regangan tarik baja tulangan sebelah kiri, dihitung sebagai berikut :

$$\frac{\epsilon_s}{d-c} = \frac{\epsilon_c'}{c} \text{ sehingga diperoleh}$$

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

Untuk regangan tekan baja tulangan sebelah kanan, dihitung sebagai berikut

:

$$\frac{\epsilon_s'}{c-d_s'} = \frac{\epsilon_c'}{c} \text{ sehingga diperoleh}$$

$$\epsilon_s = \frac{c-d_s'}{c} \cdot \epsilon_c'$$

Untuk baja tulangan (Tarik maupun tekan) yang sudah leleh, maka nilai regangannya diberi notasi dengan:

$$\epsilon_y = f_y / E_s \text{ dengan } E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Selanjutnya tegangan baja tulangan tarik dan tekan dihitung sebagai berikut :

$$f_s = \epsilon_y \cdot E_s \text{ dan } f_s' = \epsilon_s' \cdot E_s \quad (2-7)$$

Jika ϵ_s (atau ϵ_s') $\geq \epsilon_y$, maka tulangan sudah leleh, dipakai

$$f_s \text{ (atau } f_s') = f_y$$

5) Kolom dengan beban aksial tekan kecil

Pasal 11.3.2.2 SNI 03-2847-2002 mensinyalir, bahwa untuk komponen struktur yang memakai $f_y \leq 400$ MPa dengan tulangan simetris dan dengan $(h-ds-ds')/h \geq 0,7$ boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja apabila nilai $\phi.P_n$ kurang

6) Penempatan tulangan kolom

S_b = lapis lindung beton

= 50 mm, jika berhubungan dengan tanah atau cuaca dan $D \geq 19$ mm

= 40 mm, jika tidak berhubungan dengan tanah atau cuaca atau $D < 19$ mm

S_n = jarak bersih antar tulangan $\geq 1,5 \cdot D$ (D = diameter tulangan) ≥ 40 mm

$ds_1 = s_b + \emptyset \text{ begel} + D/2$

$ds_2 = S_n + D$

7) Jumlah tulangan longitudinal dalam satu baris

Jumlah tulangan longitudinal maksimal perbaris dirumuskan :

$$m = \frac{b - 2 \cdot ds_1}{D + S_n} + 1 \quad (2-8)$$

dengan :

m_1 jumlah tulangan longitudinal per baris (dibulatkan kebawah, jika angka desimal $> 0,81$ dapat dibulatkan ke atas)

b = lebar penampang kolom, mm

d_s = jarak *decking* pertama, sebesar tebal lapis lindung beton + ϕ begel + $D/2$,
mm

S_n = jarak bersih antar tulangan

D = diameter tulangan longitudinal, mm

2.10 Pembebanan

2.10.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (SNI 03-2847-2002, Pasal 3.10).

2.10.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/ atau beban akibat air hujan pada atap (SNI 03-2847-2002, Pasal 3.8)

2.10.3 Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan atau bagiannya karena adanya selisih tekanan udara (hembusan angin kencang). Beban angin ini di tentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan angin), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang bangunan yang di tinjau. Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, besarnya tekanan tiup angin ini harus di ambil minimum 25 kg/m² luas bidang bangunan yang di tinjau. Sedangkan untuk di laut sampai sejauh 5 km dari tepi pantai tekanan tiup angin ini di ambil minimum 40 kg/m², serta untuk daerah-daerah di dekat laut dan daerah-daerah lain dimana kemungkinan terdapat kecepatan angin yang mungkin dapat menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar dari yang ditentukan di atas.

2.10.4 Beban Gempa

Suatu bangunan gedung harus di rencanakan tahan terhadap gempa sesuai dengan peraturan yang ada yaitu SNI -1726-2002. Ada beberapa hal yang harus di perhatikan dalam perencanaan gempa yaitu wilayah gempa, kategori gedung, jenis sistem struktur gedung, dan daktilitas.

2.11 Pengaruh Beban Aksial Pada Penampang Kolom

Beban aksial yang bekerja pada penampang kolom dibedakan atas 2 macam, yaitu beban sentris dan beban eksentris. Untuk penampang kolom dengan beban eksentris masih dibedakan lagi menjadi 4 macam yaitu :

- 1) Penampang kolom pada kondisi beton tekan menentukan.
- 2) Penampang kolom pada kondisi seimbang (*balance*).
- 3) Penampang kolom ada kondisi tulangan tarik menentukan.
- 4) Penampang kolom dengan eksentrisitas sangat besar, sehingga beban P_n dianggap nol (diabaikan).

2.11.1 Penampang Kolom Pada Kondisi Beban Sentris

Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa baja tulangan (A_1 dan A_2) sudah mencapai leleh, jadi tegangan baja tulangan $f_s = f_s' = f_y$. Di samping itu, regangan tekan beton sudah mencapai batas maksimal, yaitu $c' = c_u' = 0,003$.

Pada kondisi beban sentris (P_0) ini dapat dianalisis seperti berikut :

$$A_g = b \cdot h = \text{luas bruto penampang kolom, mm}^2$$

$$A_{st} = A_1 + A_2 = \text{luas total baja tulangan, mm}^2$$

$$A_n = \text{luas bersih (netto) beton} = A_g - A_{st}, \text{ mm}^2$$

$$\text{Gaya tekan beton : } C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_n$$

$$\text{Gaya tekan tulangan : } C_1 = A_1 \cdot f_y$$

$$C_2 = A_2 \cdot f_y$$

Pada kenyataannya, beban yang betul-betul sentris itu jarang sekali ditemukan, dan dianggap tidak ada. Oleh karena itu Pasal 12.3.5 SNI 03-2847-2002 memberi batasan kuat tekan nominal maksimal sebesar 80% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan sengkang, atau 85% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan spiral. Dengan demikian diperoleh rumus berikut :

$P_n \text{ maks} = 0,80 \cdot P_0$ (kolom dengan tulangan sengkang)

$P_n \text{ maks} = 0,85 \cdot P_0$ (kolom dengan tulangan spiral)

Kuat rencana dihitung dengan memasukkan faktor reduksi kekuatan

$\Phi \cdot P_n \text{ maks} = 0,80 \cdot \phi \cdot P_0$ (kolom dengan tulangan sengkang)

$\Phi \cdot P_n \text{ maks} = 0,85 \cdot \phi \cdot P_0$ (kolom dengan tulangan spiral)

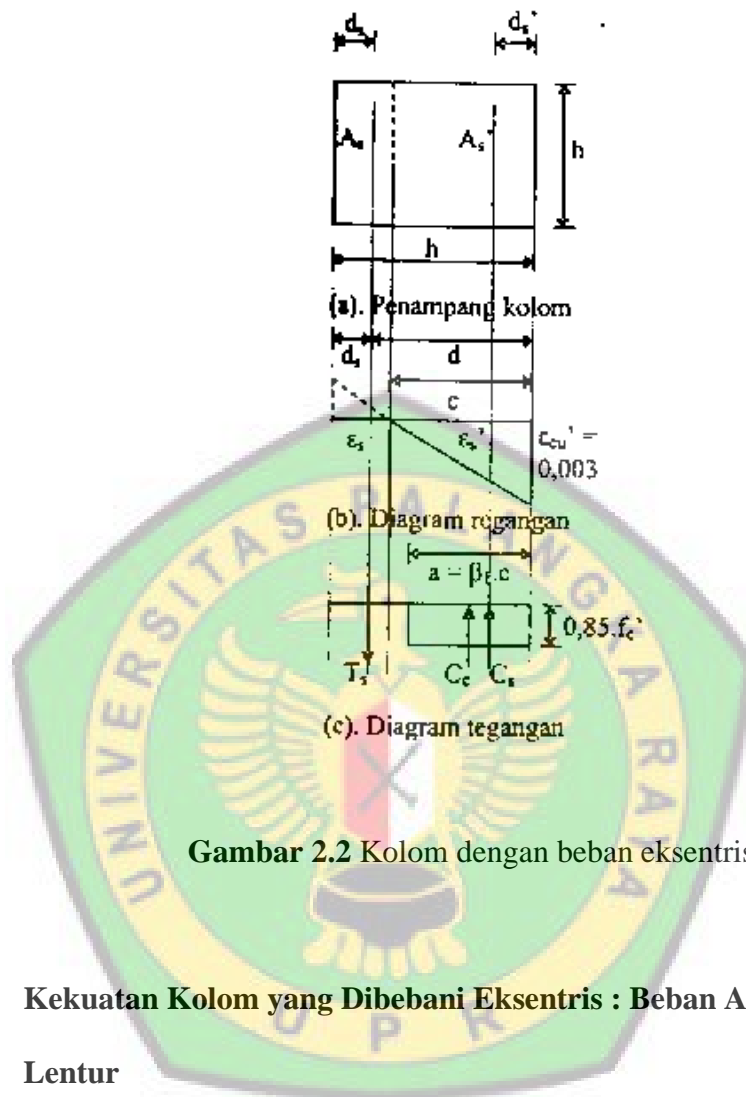
2.11.2 Penampang Kolom Pada Kondisi Beton Tekan Menentukan

Jika beban P_n pada kondisi beban sentris digeser ke kanan, maka pada penampang kolom sebelah kiri mulai menahan beban tarik relatif kecil (sehingga baja tulangan tarik belum leleh), sedangkan penampang kolom sebelah kanan tetap menahan beban tekan yang cukup besar (sehingga dapat menimbulkan retak beton tekan). Kekuatan penampang kolom pada kondisi ini bergantung pada kekuatan tekan dari beton, sehingga disebut: kolom pada kondisi beton tekan menentukan atau kondisi patah tekan, dan dilukiskan pada gambar dibawah ini.

Batas pada penampang kolom yang menahan tegangan tarik (sebelah kiri) dan menahan tegangan tekan (sebelah kanan) berupa garis lurus yang tegangannya nol, disebut: garis netral. Garis ini berada pada jarak c dari batas tepi beton tekan.

Karena kolom menahan beban eksentrisitas, maka kolom akan menahan beban aksial dan momen lentur, Beban aksial yang ditahan oleh kolom dapat dihitung dengan cara menjumlahkan beban vertikal = 0, sedangkan untuk momen lentur dihitung dari beban – beban T_s , C_c dan C_s dikalikan dengan jarak

masing beban ke sumbu kolom.



Gambar 2.2 Kolom dengan beban eksentris

2.12 Kekuatan Kolom yang Dibebeani Eksentris : Beban Aksial dan Lentur

2.12.1 Perilaku Kolom Tak-Langsing Berpenampang Bulat yang Dibebeani Eksentris

Pada kolom yang dibebani eksentrisitas e , perhitungannya berbeda dari yang sebelumnya karena timbulnya sisi tarik pada penampang kolom. Besarnya luasan sisi tarik dan sisi tekan bergantung pada ketinggian sumbu netral yang terjadi saat pembebanan. Maka ketinggian sumbu netral penting dalam

menganalisis kekuatan kolom. Persamaan kesetimbangan untuk memperoleh gaya tahan aksial nominal berdasarkan gaya tekan beton dan tulangan tekan terhadap tulangan tarik. Seperti yang dijabarkan pada rumus berikut: Gaya tahanan aksial nominal P_n pada saat kegagalan :

$$P_n = C_c + C_s - T_s \quad (2.9)$$

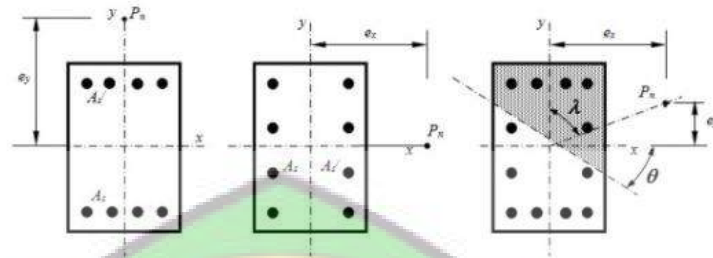
Untuk kolom berpenampang bulat memiliki perbedaan dengan kolom berpenampang persegi atau bujur sangkar. Hal ini dikarenakan karena tulangan tarik dan tekan pada kolom bulat tidak sejajar maka tulangan pada kolom tersebut memiliki jarak ke sumbu netral yang berbeda-beda. Sehingga diperlukan untuk mengetahui jarak ke sumbu netral pada tiap-tiap tulangan untuk menghitung momen tahanan nominal M_n . Dimana M_n sebesar $P_n e$ yang dapat diperoleh dengan menuliskan keseimbangan momen terhadap pusat plastis penampang.

Pada umumnya selain beban aksial tekan, kolom pada saat yang bersamaan juga memikul momen lentur. Ketika sebuah elemen kolom diberi beban aksial, P , dan momen lentur, M , maka biasanya dapat diekivalenkan dengan beban P yang bekerja pada eksentrisitas, $e = M/P$.

Eksentrisitas, e , merepresentasikan jarak dari titik berat plastis penampang ke lokasi beban bekerja. Titik berat plastis dapat diperoleh dengan menentukan lokasi gaya resultan yang dihasilkan oleh tulangan baja dan beton yang keduanya mengalami tegangan tekan sebesar f_y dan $0,85f_c$.

Apabila P_n bekerja pada sumbu y dengan eksentrisitas sebesar e_y akan menghasilkan momen terhadap sumbu x , yang besarnya adalah $M_{nx} = P_n e_y$ atau P_n dapat pula bekerja pada sumbu x dengan eksentrisitas e_x , yang menghasilkan

momen $M_{ny} = P_n e_x$. Namun beban P_n dapat juga bekerja pada suatu titik yang berjarak e_y terhadap sumbu x , dan berjarak e_x terhadap sumbu y . Pada kasus yang terakhir ini, akan timbul beban kombinasi antara P_n , $M_{nx} = P_n e_y$ dan $M_{ny} = P_n e_x$. Kolom pada kondisi ini dikatakan mengalami lentur dua arah (*biaxial bending*).



Gambar 2.3 Momen lentur terhadap sumbu

Tegangan maksimum di kolom dengan beban aksial eksentris terjadi di penampang di mana defleksi dan momen lentur mempunyai harga terbesar, yaitu di titik tengah.

Pada penampang ini bekerja gaya tekan P dan momen lentur M_{maks} yang menimbulkan tegangan tekan maksimum sebesar :

$$\sigma_{maks} = \frac{P}{A} + \frac{M_{maks} \cdot c}{I}$$

Momen lentur maksimum :

$$M_{maks} = Pe \cdot \sec\left(\frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}}\right) \quad \text{atau} \quad M_{maks} = Pe \cdot \sec\left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}}\right)$$

Dengan mensubstitusikan M_{maks} ke dalam persamaan untuk tegangan, maka diperoleh besarnya tegangan maksimum sebagai berikut :

$$\sigma_{maks} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left(\frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right) \right]$$

Persamaan ini dikenal dengan rumus sekan (*secant formula*) untuk kolom yang dibebani secara eksentris dengan kedua ujung sendi. Besaran (ec/r^2) dikenal sebagai rasio eksentrisitas.

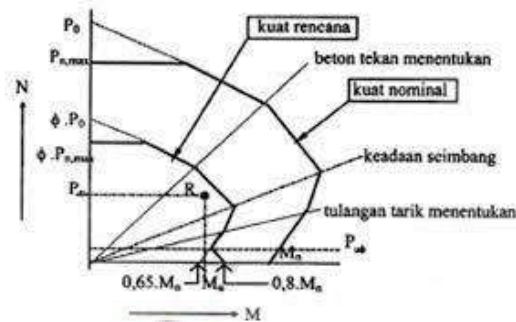
2.13 Diagram Interaksi

Beban yang bekerja pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran/dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada/terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur di gambarkan dalam suatu diagram yang disebut Diagram Interaksi Kolom M-N. Manfaat dari diagram interaksi kolom M-N, yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Untuk satu penampang kolom, dapat di gambarkan diagram interaksi kolom yang meliputi 3 macam, yaitu : diagram interaksi kolom untuk kuat rencana, diagram interaksi kolom untuk kuat nominal, dan diagram interaksi kolom untuk kuat batas (kapasitas).

Diagram interaksi kolom dibuat dengan pertolongan 2 buah sumbu (yaitu sumbu vertikal dan sumbu horizontal) yang saling berpotongan tegak lurus sesamanya. Sumbu vertikal menggambarkan besar beban aksial P atau gaya

normal N , sedangkan sumbu horizontal menggambarkan besar momen lentur M yang dapat ditahan oleh kolom. (Asroni, 2010:18)



Gambar 2.4 Contoh Diagram Interaksi Kolom M-N

2.14 Analisis Kekuatan Kolom Pendek

2.14.1 Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebani Secara Konsentrik

Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara konsentrik terdiri atas komponen sumbangan beton dan sumbangan baja, yaitu :

$$P_{oc} = 0,85f_c' (A_g - A_{st}) \quad (2 - 10)$$

$$P_{os} = f_y A_{st1} \quad (2 - 11)$$

Di mana A_{st} = luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A_s'$

Penggunaan nilai 0,85 dalam perhitungan kuat tekan kolom didasari atas adanya perbedaan kuat tekan beton pada elemen struktur kolom aktual terhadap kuat tekan beton islander, yaitu $f_{c_o}' = 0,85 f_c'$. Berdasarkan persamaan di atas, kuat tekan kolom adalah :

$$P_{oc} = 0,85f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad (2 - 12)$$

Untuk menghindari perlunya perhitungan eksentrisitas minimum seperti yang dijabakan sebelumnya, SNI Beton Pasal 10.3.6 mensyaratkan adanya reduksi

kekuatan sedemikian rupa sehingga :

- Untuk kolom dengan tulangan spiral :

$$P_n (\text{maks}) = 0,85 (0,85f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2 - 13)$$

- Untuk kolom dengan tulangan sengkang pengikat :

$$P_n (\text{maks}) = 0,80 (0,85f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2 - 14)$$

Nilai kuat tekan nominal di atas harus dikalikan lagi dengan faktor reduksi untuk elemen struktur tekan sesuai SNI Beton Pasal 9.3.2.2, yaitu :

$\phi = 0,75$ untuk kolom dengan tulangan spiral,

$\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan sengkang pengikat

2.15 Persyaratan Penulangan

- **Tulangan Longitudinal**

Rasio tulangan longitudinal kolom dihitung sebagai berikut :

$$P_g = A_{st}/A_g$$

SNI Beton Pasal 10.9.1 mensyaratkan $0,01 \leq p_g \leq 0,08$. Pada SNI pasal 10.9.2, mensyaratkan jumlah tulangan minimum yang harus dipasang pada kolom :

- ❖ Minimal 6 tulangan pada kolom berspiral,
- ❖ Minimal 4 tulangan pada kolom dengan sengkang persegi atau sengkang cincin,
- ❖ Minimal 3 tulangan pada kolom dengan sengkang ikat segitiga

- **Tulangan Lateral Atau Sengkang Pengikat**

SNI Beton Pasal 7.10.5.1 mensyaratkan ukuran tulangan lateral kolom

:

- $D \leq 110$ mm jika D longitudinal ≤ 32 mm
- $D \leq 13$ mm jika D longitudinal ≤ 136 mm,
- $D \leq 113$ mm jika tulangan longitudinal dibundel

SNI Beton Pasal 7.10.5.1 mensyaratkan ukuran tulangan lateral pada kolom yaitu :

- $s \leq 16d$ (db untuk tulangan longitudinal),
- $s \leq 48d$ (db untuk sengkang ikat),
- $s \leq$ ukuran dimensi kolom terkecil

SNI Beton Pasal 7.10.5.3 mensyaratkan pemasangan spasi vertikal tulangan lateral sebagai berikut :

- 1) Sengkang harus diatur hingga setiap sudut dan tulangan longitudinal yang berselang harus didukung secara lateral oleh sudut atau kait sengkang yang sudut dalamnya tidak lebih dari 135°
- 2) Tidak boleh ada batang tulangan longitudinal di sepanjang sisi sengkang yang jarak bersihnya lebih dari 150 mm terhadap batang tulangan yang didukung secara lateral

- **Tulangan spiral**

SNI Beton Pasal 7.10.4.3 mengharuskan diameter minimum baja tulangan spiral = 10 mm yang dipasang dengan spasi (bersih) minimum 25

mm dan maksimum 75 mm.

Persyaratan rasio tulangan spiral minimum :

$$P_s = 0,45 \times \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \left(\frac{f_c'}{f_y} \right) \text{ SNI Beton Persamaan 10-5}$$

Di mana A_{sp} = luas penampang tulangan spiral

$$A_c = \text{luas inti beton} = \pi D_c^2 / 4$$

D_c = diameter inti kolom beton = jarak tepi ke tepi tulangan spiral

f_y = kuat leleh tulangan spiral (≤ 400 MPa)

s = spasi spiral (*center to center*)

- Persyaratan Kekuatan

Dalam perencanaan kolom, harus dipenuhi kondisi berikut :

$$\phi P_n \leq P_u$$

2.16 Langkah – langkah perancangan tulangan geser kolom

1) Menentukan gaya geser kolom (V_u, k)

$$V_{u_k} = \frac{M k_u + M u_{k,b}}{l u_k}$$

Dengan Batasan gaya geser kolom sebesar

$$V_{u_k} \geq V_u \text{ hasil analisis struktur}$$

2) Menghitung kuat geser beton (V_c)

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_{gr}} \right) \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

- 3) **Memeriksa syarat penampang struktur dengan ketentuan sebagai berikut**

Bila $V_u < 0,5 \Phi V_c \rightarrow$ tidak memerlukan sengkang

Bila $0,5 \Phi V_c < V_u < \Phi V_c \rightarrow$ gunakan tulangan minimum

Bila $(V_u - \Phi V_c) < 0,67bwd \rightarrow$ hitung V_s

Bila $(V_u - \Phi V_c) > 0,67bwd \rightarrow$ ukuran penampang diperbesar

- 4) **Menghitung sisa gaya geser dari gaya geser kapasitas beton yang harus ditahan oleh tulangan geser V_s .**

$$V_u \leq \Phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \leq \Phi V_c + \Phi V_s$$

$$\text{maka } V_s = (V_u / \Phi) - V_c$$

- 5) **Menghitung tulangan geser yang diperlukan**

Menghitung jarak/spasi tulangan geser s

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

2.17 Metode Distribusi Momen (*Cross*)

Metode *Cross* (Distribusi Momen) pada mulanya dikemukakan oleh Prof. Hardy Cross pada tahun 1930-an, kemudian metode ini dikenal dengan metode *Cross*.

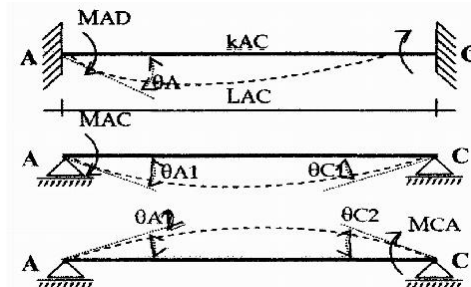
Metode ini merupakan salah satu metode yang dipakai untuk menganalisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu.

Dalam proses analisis, metode ini melakukan distribusi momen dan induksi (*carry over*) terhadap momen primer (*Fixed End Moment*) sebanyak beberapa putaran (*iterasi*) guna mendapatkan keseimbangan di setiap titik simpul. Hal ini dilakukan karena momen-momen primer yang bekerja di setiap tumpuan maupun simpul suatu struktur tidak sama besarnya, sehingga simpul tidak seimbang. Untuk mendapatkan keseimbangan simpul melakukan perputaran, sehingga momen-momen primer di tiap simpul melakukan distribusi (pembagian) sampai jumlah momen primer di masing-masing simpul seimbang atau mendekati nol.

Tahapan perhitungan dengan menggunakan metode *Cross* (Distribusi Momen) adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Faktor Kekakuan (*Stiffness Factor, SF*)

Untuk mengetahui faktor kekakuan batang dan momen induksi pada portal, dapat diuraikan berdasarkan rumus *slope deflection* (sudut kemiringan lendutan) pada masing-masing jenis batang.



Gambar 2.5 Batang AC

Batang prismatik AC dengan tumpuan jepit-jepit, bekerja momen distribusi sebesar MAC di ujung A (simpul) dengan sudut kemiringan lendutan sebesar θ_A .

Sedangkan, ujung B (tumpuan jepit) berhak menerima momen induksi sebesar MCA dengan arah yang sama. Dengan demikian, diperoleh persamaan :

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = \theta_A \text{ dan } \theta_{C2} - \theta_{C1} = 0$$

Akibat pengaruh momen induksi MCA saja akan menimbulkan rotasi dengan sudut kemiringan lendutan pada kedua ujung batang sebesar :

$$\theta_{A1} = \frac{MAC.LAC}{3EI} ; \theta_{C1} = \frac{MAC.LAC}{6EI}$$

Selanjutnya, pengaruh momen induksi MCA saja akan menimbulkan rotasi dengan sudut kemiringan lendutan pada kedua ujung batang sebesar :

$$\theta_{A2} = \frac{MCA.LCA}{6EI} ; \theta_{C2} = \frac{MCA.LCA}{3EI}$$

Dengan demikian:

$$\theta_{C2} - \theta_{C1} = 0$$

$$\frac{MCA.LCA}{3EI} - \frac{MAC.LAC}{6EI} = 0$$

$$MCA = 1/2MAC$$

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = \theta_A$$

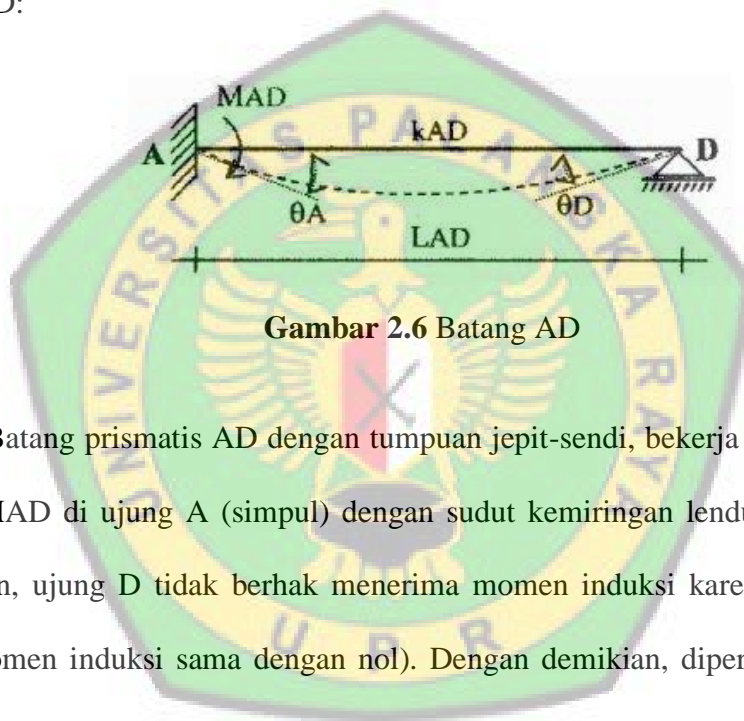
$$\frac{MAC.LAC}{3EI} - \frac{MAC.LAC}{6EI} = \theta_A$$

$$MAC = \frac{4EI}{LAC} \cdot \theta_A$$

$$\text{Apabila } \theta_A = 1 \text{ radian, maka: } MAC = \frac{4EI}{LAC}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa ujung A memberi induksi pada ujung C sebesar setengah momen distribusi ($1/2M$) dengan arah yang sama. Selanjutnya, nilai momen M_{AC} telah menyebabkan terjadinya rotasi hingga membentuk sudut kemiringan lendutan di ujung A sebesar θ_A . Nilai momen ini disebut sebagai kekakuan batang AC yang diberi rotasi K_{AC} . Dengan demikian, kekakuan batang AC (tumpuan jepit-jepit) dapat diketahui dengan rumus : $K_{AC} = 4EI/LAC$,

Batang AD:



Gambar 2.6 Batang AD

Batang prismatis AD dengan tumpuan jepit-sendi, bekerja momen distribusi sebesar M_{AD} di ujung A (simpul) dengan sudut kemiringan lendutan sebesar θ_A . Sedangkan, ujung D tidak berhak menerima momen induksi karena jenis tumpuan sendi (momen induksi sama dengan nol). Dengan demikian, diperoleh persamaan : $\theta_{A1} - \theta_{A1} = \theta_A$

Akibat pengaruh momen dsitribusi M_{AD} akan menimbulkan rotasi dengan sudut kemirigan lendutan pada ujung batang A sebesar :

$$\theta_A = \frac{M_{AD} \cdot L_{AD}}{3EI}; \text{ dimana } \theta_A = 1 \text{ radian, maka:}$$

$$M_{AD} = \frac{3EI}{L_{AD}}$$

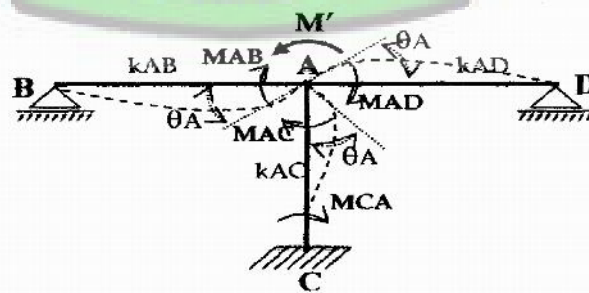
Persamaan ini menunjukkan bahwa nilai momen MAD merupakan nilai yang dibutuhkan hingga menyebabkan terjadinya rotasi di ujung A (ujung D sendi), sehingga membentuk sudut kemiringan lendutan di ujung A sebesar θ_A . Nilai momen ini disebut sebagai kekakuan batang AD yang diberi notasi K_{AD} . Dengan demikian, kekakuan batang AD (tumpuan jepit-send) dapat diketahui dengan rumus: $k_{AD} = 3EI/L_{AD}$.

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Kekakuan batang dengan tumpuan jepit-jepit: $k = 4EI/L$
- 2) Kekakuan batang dengan tumpuan jepit-send: $k = 3EI/L$

2. Menghitung Faktor Distribusi (*Distribution Factor, DF*)

Apabila struktur portal bekerja momen primer sebesar M' di simpul A (Gambar 2), maka di masing-masing ujung batang simpul A akan terjadi distribusi momen sebesar M_{AB} , M_{AC} , dan M_{AD} dengan arah berlawanan dengan momen primer M' . Hal ini terjadi karena simpul A kaku sempurna, sehingga batang-batang berputar menurut garis elastisnya guna mendapatkan keseimbangan.



Gambar 2.7 Distribusi Momen

Jika diamati pada gambar 2.7 pada batang AB terjadi rotasi (perputaran sudut) sebesar θA akibat pengaruh M_{AB} , pada batang AC terjadi rotasi (perputaran sudut) sebesar θA akibat pengaruh M_{AC} , dan pada batang AD terjadi rotasi (perputaran sudut) sebesar θA akibat pengaruh M_{AD} . Jadi, keseimbangan simpul A, yaitu:

$$M_A = M_{AB} + M_{AC} + M_{AD}$$

Apabila k_{AB} , k_{AC} , dan k_{AD} merupakan faktor kekakuan masing-masing batang AB, AC dan AD, maka :

$$M_{AB} = k_{AB} \theta A; \quad M_{AC} = k_{AC} \theta A; \quad M_{AD} = k_{AD} \theta A$$

Jadi:

$$M_A = (k_{AB} + k_{AC} + k_{AD}) \theta A$$

$$M_A = \sum k_A \cdot \theta A$$

$$\theta A = M_A / \sum k_A$$

Dengan demikian, diperoleh:

$$M_{AB} = \frac{k_{AB}}{\sum k_A} \cdot M_A \quad M_{AC} = \frac{k_{AC}}{\sum k_A} \cdot M_A \quad M_{AD} = \frac{k_{AD}}{\sum k_A} \cdot M_A$$

Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa:

- Faktor distribusi (FD) adalah perbandingan kekakuan batang (k) dengan kekakuan batang total di titik simpul ($\sum k$).

Jadi, faktor distribusi $DF = k / \sum k$

Catatan: Apabila FD dijumlahkan, maka nilai faktor distribusi tiap batang pada suatu titik harus sama dengan satu.

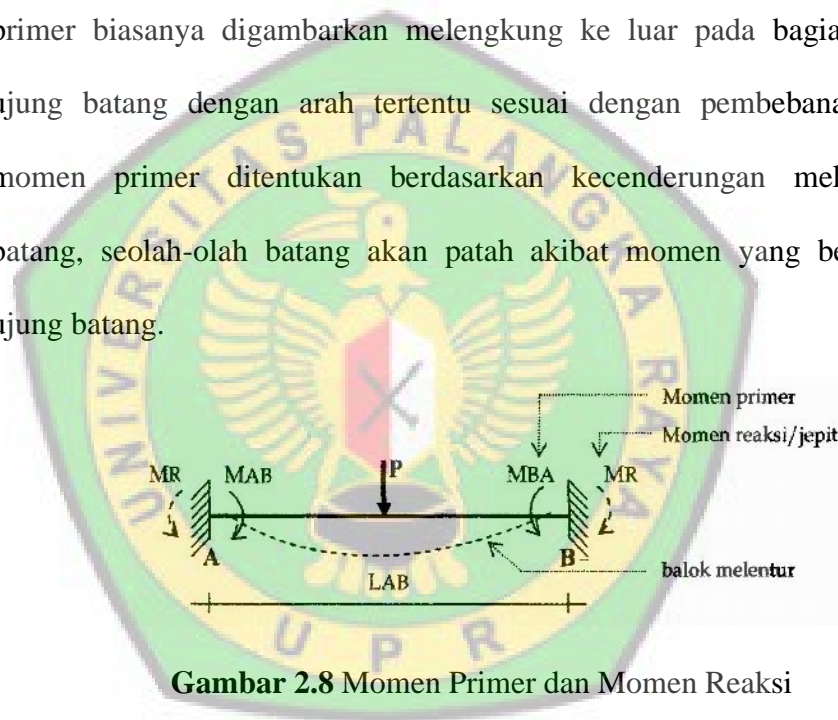
- Momen distribusi (MD) adalah hasil perkalian faktor distribusi dengan momen primer (M').

Jadi, momen primer $MD = M' \cdot FD$

3. Akibat Beban Luar:

- *Fixed End Moment*

Fixed end moment atau momen ujung batang yang juga dikenal sebagai momen primer adalah akibat dari beban-beban yang bekerja di sepanjang batang. Besarnya momen primer sama dengan momen jepit (momen reaksi) dengan tanda atau arah yang berlawanan. Dengan kata lain, momen jepit atau momen reaksi merupakan kebalikan dari momen primer. Momen primer biasanya digambarkan melengkung ke luar pada bagian dalam ujung batang dengan arah tertentu sesuai dengan pembebanan. Arah momen primer ditentukan berdasarkan kecenderungan melenturnya batang, seolah-olah batang akan patah akibat momen yang bekerja di ujung batang.



Gambar 2.8 Momen Primer dan Momen Reaksi

- Distribusi Momen


Untuk mendapatkan keseimbangan momen dilakukan distribusi momen pada masing-masing simpul dengan bantuan tabel *cross*. Sedapat mungkin tabel *cross* dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan. Dalam hal ini proses distribusi dan induksi momen cukup dilakukan hingga empat kali putaran atau mendekati nol.

- *Freebody*
 - Kontrol Keseimbangan ($\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, dan $\Sigma M=0$)
4. Akibat Goyangan ($\Delta 1$):
- *Fixed End Momen*
 - Tabel Distribusi Momen
 - *Freebody*
 - Kontrol Keseimbangan ($\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, dan $\Sigma M=0$)
5. Akibat Goyangan ($\Delta 2$):
- *Fixed End Momen*
 - Tabel Distribusi Momen
 - *Freebody*
 - Kontrol Keseimbangan ($\Sigma H=0$, $\Sigma V=0$, dan $\Sigma M=0$)
6. Menghitung Reaksi Perletakan
7. Kontrol Keseimbangan Keseluruhan Portal ($\Sigma H=0$; $\Sigma V=0$; $\Sigma M=0$)
8. Menghitung dan Menggambar Gaya-gaya Dalam

2.18 Program SAP2000

Pada penelitian ini menggunakan bantuan dari komputer yaitu SAP2000. Langkah-langkah menganalisa struktur dengan program SAP2000 v.14.0.01 adalah sebagai berikut:

1. Buat folder pada direktori penyimpanan untuk menyimpan data-data SAP2000.
2. Buka program SAP2000
3. Buat file baru :

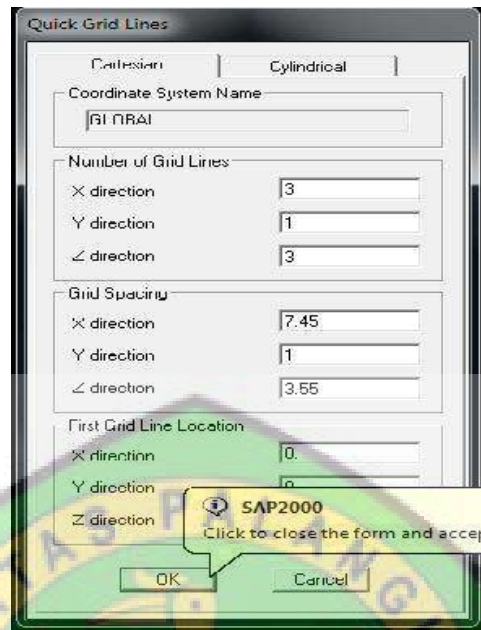
- Menu *File* atau klik pada icon  *New Model* yang berada di paling kiri *toolbar*.
- Ganti satuan dalam ukuran panjang (m)



Gambar 2.9 *Dialog Box* Jenis Pemodelan

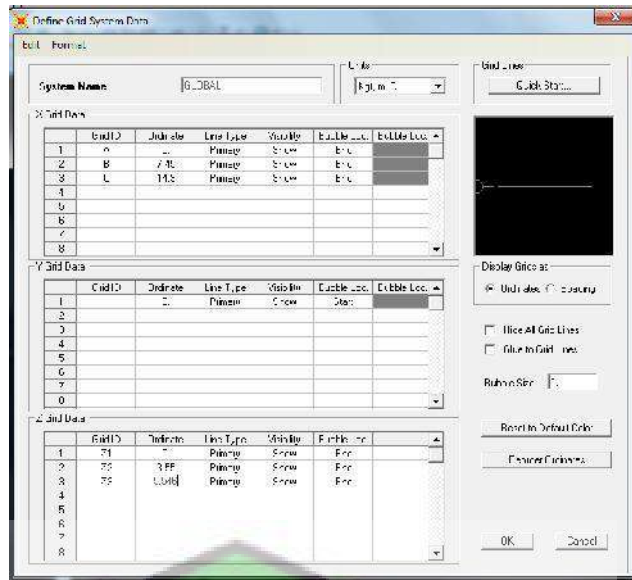
- Pilih *Grid Only* pada *Dialog Box* dan input data model struktur yang akan dibuat. *Grid* berfungsi sebagai garis bantu untuk menginput elemen struktur. Untuk membuat struktur portal 2D, pada *Y direction* dimasukan angka satu karena tidak ada elemen struktur untuk arah y pada sumbu global. Pada *Number of Grid Lines* masukkan data garis bantu yang

diinginkan untuk arah X dan arah Z, sedangkan untuk *Grid Spacing* masukan masing-masing panjang garis bantu yang diperlukan.



Gambar 2.10 Grid Dialog Box

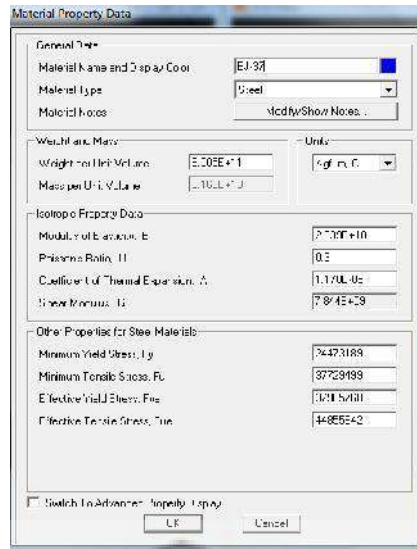
- Untuk memodifikasi garis bantu atau *grid line* jika ada elemen struktur yang memiliki *grid spacing* yang berbeda yang dalam pembahasan ini ada elemen struktur yang diagonal yaitu pada bagian atas yang berbentuk atap dengan sudut lima belas derajat yang dihitung sehingga didapatkan tinggi atap yang akan dimodifikasi, klik kiri *mouse* dua kali dengan pointer pada *grid lines* yang ada lalu ubah *ordinate* pada *grid* data Z3 sesuai hasil yang didapatkan dengan ditambah dengan nilai pada Z2.



Gambar 2.11 Modifikasi *Grid Lines*

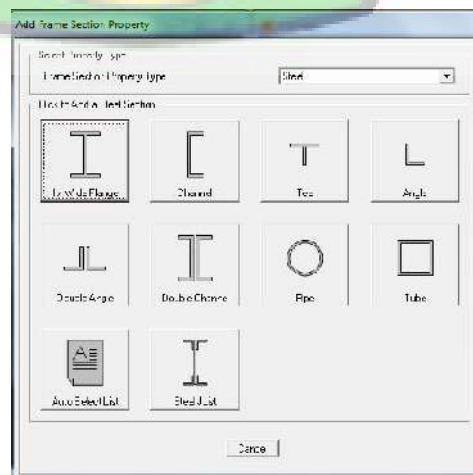
4. Mendefinisikan material yang akan digunakan:

- *Define*
- Material dan klik *Add New Material* untuk membuat material baru.
- Ganti *Weight per unit volume* dari tiap-tiap material (untuk baja 7850 kg/m³ dan untuk beton 540 kg/m³)
- Ganti *modulus of elasticity* tiap material (untuk baja 2.1 x 10⁵ kg.cm² dan untuk beton 4700√fc')
- Data mutu baja sesuaikan dengan mutu yang digunakan.



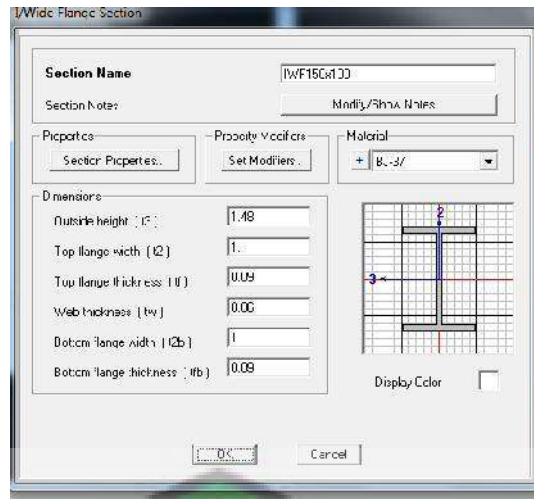
Gambar 2.12 Material Property Data

- Pilih jenis material yang akan dibuat dan diberi nama, ok.
5. Mendefinisikan penampang struktur yang akan digunakan:
- *Define*
 - Pilih *Section Properties-Frame Section*
 - *Add New Property*, pilih jenis material yang digunakan dan tipe penampangnya.

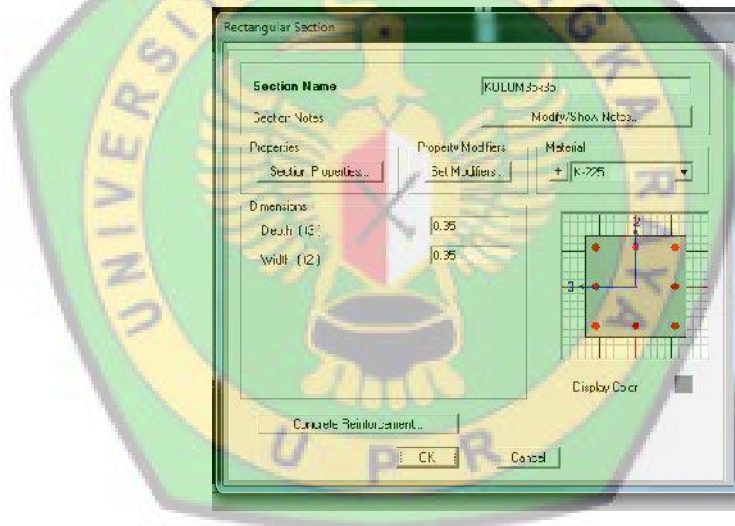


Gambar 2.13 Jenis Penampang Material

- Input data penampang sesuai ukuran yang digunakan.



Gambar 2.14 Pembuatan Penampang Material Baja



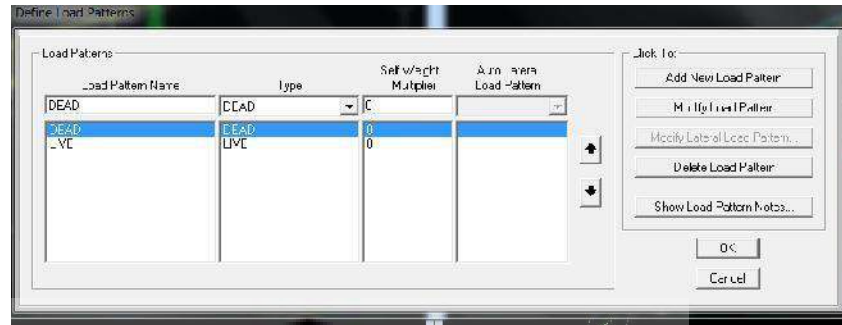
Gambar 2.15 Pembuatan Penampang Material Beton

6. Mendefinisikan tipe beban yang akan bekerja pada struktur:

- *Define*
- *Load pattern*
- Beban mati/ *Dead*, *self weight multiplier* = 0 (nol dimaksudkan berat sendiri elemen struktur tidak dihitung otomatis oleh program,

sedangkan satu berarti berat sendiri elemen struktur akan dihitung otomatis oleh program)

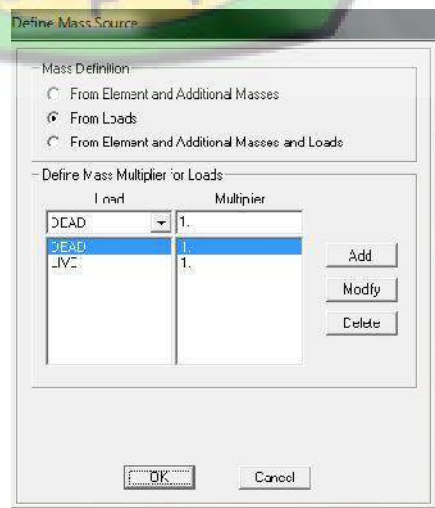
- Beban hidup/ *Live, self weight multiplier = 0*



Gambar 2.16 *Define Load Pattern*

7. Mendefinisikan sumber beban:

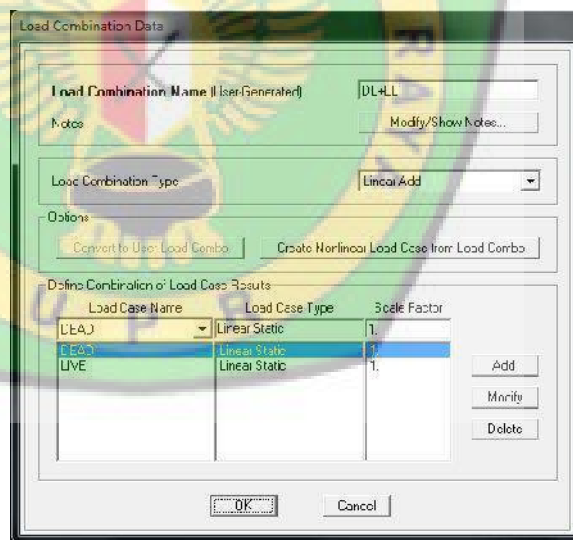
- *Define*
- *Mass source*
- Pilih from *load*, *Dead* = 1 dan *Live* = 1 (Satu dimaksudkan agar beban yang bekerja adalah satu kali beban yang di input sendiri pada struktur)




Gambar 2.17 *Define Mass Source*

8. Mendefinisikan kombinasi pembebanan:

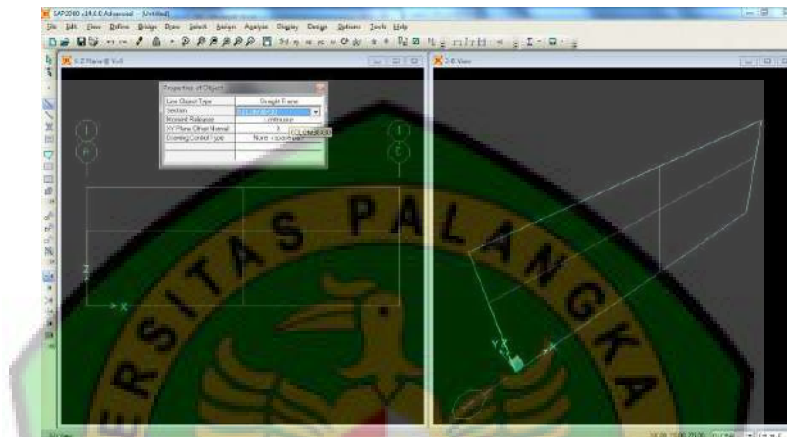
- *Define*
- *Load combination*
- *Add new combo, DL + LL (beban mati + beban hidup), Dead-scale factor = 1, Live-scale factor = 1.* Penambahan combo atau kombinasi ini untuk mempermudah saat mendapatkan reaksi perletakan dan gaya-gaya dalam karena jika tidak menggunakan kombinasi, hasil reaksi dan gaya-gaya dalam akan keluar masing-masing untuk beban mati dan beban hidup sehingga digunakan kombinasi pembebanan untuk membantu dalam mendapatkan hasil akhir dari beban mati dan beban hidup sekaligus.



Gambar 2.18 Kombinasi Pembebanan

9. Gambar elemen struktur menggunakan icon  *1Draw Frame/ Cable* Elemen T, klik pada joint awal menuju joint ujung elemen batang, seperti pada pembahasan ini dari joint paling kiri bawah ke joint

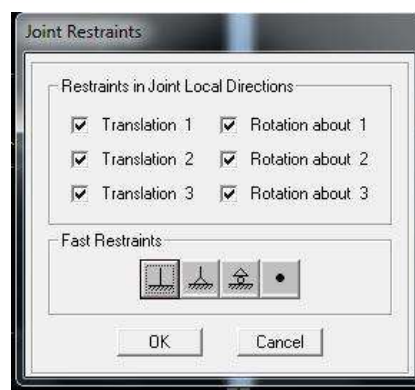
diatasnya lalu pada *Properties of Object* ubah Section sesuai penampang struktur yang akan digunakan, lanjutkan menggambar dari joint ke joint dan ubah penampang sesuai dengan yang digunakan. (Catatan: jika perhitungan hanya untuk mencari reaksi perletakan dan gaya-gaya dalam, maka dimensi penampang dan jenis material tidak berpengaruh.)



Gambar 2.19 Menggambar Elemen Struktur

10. Memasang perletakan:

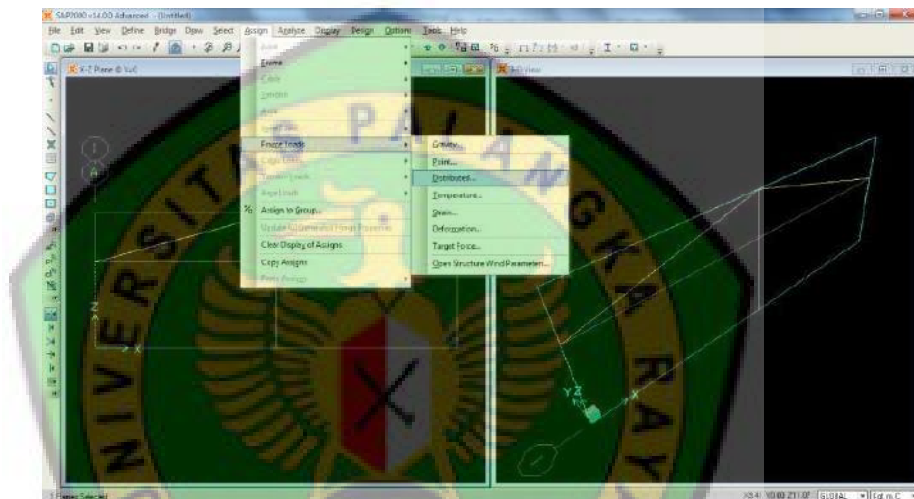
- Klik joint yang akan diberikan perletakan, lalu *assign-joint-restraints*, klik pada icon (perletakan jepit), OK.



Gambar 2.20 Jenis Perletakan

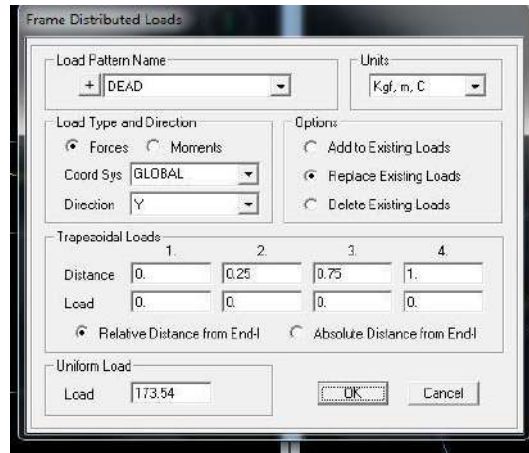
11. Input beban mati dan beban hidup berdasarkan perhitungan pembebanan:

- Klik pada masing-masing elemen struktur yang akan diberikan beban mati dengan bentuk beban terbagi rata jika beban setiap batangnya berbeda tetapi jika sama, pilih semua elemen struktur yang akan diberikan beban yang sama besar, lalu pilih menu *Assign, Frame Load-Distributed* (untuk beban terbagi rata).



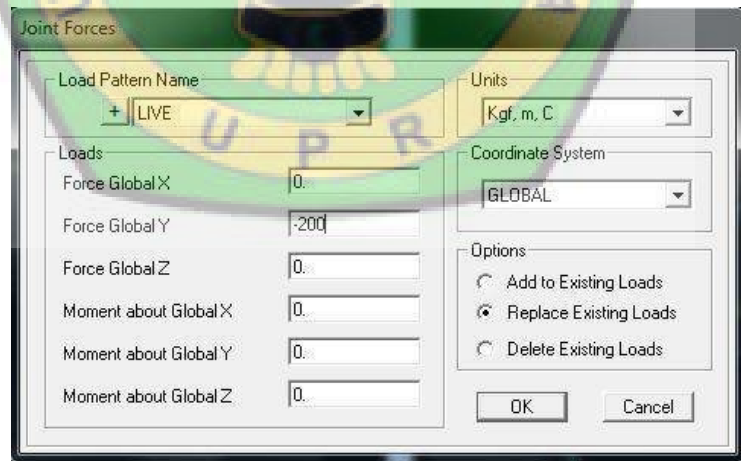
Gambar 2.21 Pemilihan Tipe Pembebanan

- Beban yang bekerja pada portal 2D ini bekerja pada arah Y jadi ubah direction menjadi Y, lalu input nilai beban mati pada *Uniform Load*, OK. (Catatan: jika beban bekerja ke arah kanan/kebawah maka nilainya positif tetapi jika ke arah kiri/ ke atas maka nilai beban negatif.)



Gambar 2.22 Input Nilai Beban Mati

- Pada pembahasan ini beban hidup hanya pada joint, jadi klik semua joint yang akan diberikan beban hidup kemudian *Assign, Joint Load-Forces*, ganti *Load pattern* jadi *LIVE LOAD*, lalu input nilai beban hidup pada *Force Global Y*, OK. (Catatan: jika beban bekerja ke arah kanan/ke bawah maka nilainya positif tetapi jika ke arah kiri/ ke atas maka nilai beban negatif).



Gambar 2.23 Input Nilai Beban Hidup

12. Analisa Perhitungan:

- Sebelum memulai analisa perhitungan *save* terlebih dahulu ke direktori atau folder yang sudah dibuat pada langkah pertama.
- Untuk mulai menganalisis struktur tekan F5 atau pilih pada menu *Analyze- Run Analysis*, pada *dialog box* pilih Modal dan klik *Run/Do Not Run Case*, lalu klik *Run Now*.



Gambar 2.24 *Run Analysis*

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Gambaran Umum

Objek penelitian dalam skripsi ini adalah studi kasus terhadap pengaruh kemiringan kolom terhadap keandalan struktur bangunan Gedung. Bangunan sarana Pendidikan yaitu Gedung kuliah terpadu Universitas Palangka Raya yang memiliki 6 lantai. Variabel dalam penelitian ini adalah eksentrisitas yang terjadi akibat dari kemiringan kolom.

3.2. Tahapan Penelitian

a. Tahap pengumpulan data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap dimana penulis mengumpulkan data yang akan digunakan untuk menganalisis struktur kolom dengan mengidentifikasi masalah seperti Jenis Bangunan, Lokasi Bangunan, Zona Gempa, Jenis Tanah, Mutu dan Modulus Elastisitas Beton, Mutu dan Modulus Elastisitas Baja serta Beban yang digunakan.

b. Tahap *Preliminary Design*

Setelah didapatkan data mengenai Jenis Bangunan, Lokasi Bangunan, Zona Gempa, Jenis Tanah, Mutu dan Modulus Elastisitas Beton, Mutu dan Elastisitas Baja serta beban yang digunakan, maka dilakukan desain awal (*Preliminary Design*) terhadap balok dan kolom.

Sesudah *Preliminary Design*, dilakukan perhitungan pembebanan yaitu Beban Mati, Beban Hidup, Beban Gempa Statik Ekuivalen serta Kombinasi Pembebanan.

c. Tahap input

Tahap input merupakan tahap dimana penulis memodelkan struktur bangunan 3D dengan bantuan aplikasi SAP2000 kemudian memasukkan dimensi, mendefinisikan setiap elemen struktur dan memasukkan beban-beban yang bekerja.

d. Tahap analisis

Namun setelah itu, perlu di verifikasi hasil dengan perhitungan manual terkait beban gravitasi dengan menggunakan metode *Cross* dan metode D-Value Muto untuk beban lateral.

Setelah itu dilakukan perhitungan penulangan Lentur dan Aksial Kolom. Selain itu akan dilakukan perhitungan penulangan geser kolom dan pada joint. Setelah didapati perhitungan di atas, maka dilakukan variasi eksentrisitas pada kolom dan dianalisis terkait pengaruh dari eksentrisitas yang disebabkan oleh kemiringan kolom karena kesalahan saat pengecoran.

e. Tahap output

Dari beberapa tahapan tersebut, maka diharapkan memberikan hasil akhir yaitu Diagram Interaksi sehingga bisa memberikan kesimpulan berupa variasi kemiringan kolom yang memberikan pengaruh yang besar terhadap

keandalan struktur tersebut, bagaimana besaran kemiringan yang terjadi yang berpengaruh terhadap keandalan struktur tersebut, berapa besar *second moment* (M_2) yang dihasilkan dari kemiringan kolom dan dapat ditarik kesimpulan dengan adanya kemiringan kolom tersebut apakah berpengaruh terhadap besaran keandalan struktur sehingga dapat ditarik kesimpulan berapa besar eksentrisitas yang bisa ditahan oleh kolom sehingga bangunan struktur Gedung tetap dalam kondisi aman.



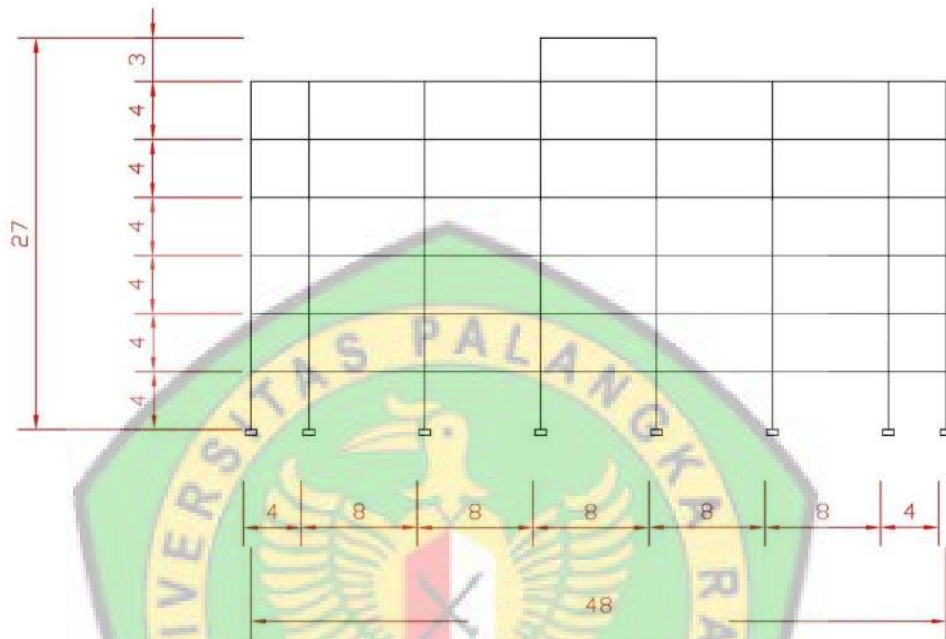
3.3. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Preliminary Design



Gambar 4.1 Preliminary Design

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data teknis gedung dan mutu bahan yang digunakan pada komponen struktur gedung.

1. Data Teknis Gedung

- a) Nama gedung : Gedung Kuliah Terpadu (SBSN 2021) Universitas Palangka Raya
- b) Fungsi gedung : Gedung kuliah
- c) Lokasi gedung : Kampus Tunjung Nyaho, Jalan Yos Sudarso Palangka Raya, Kalimantan Tengah
- d) Jumlah lantai : 6 lantai + atap datar
- e) Bahan Konstruksi : Beton Bertulang

- f) Jenis struktur : Gedung tahan gempa
- g) Tebal pelat atap : 150 mm
- h) Tebal pelat lantai : 120 mm
- i) Bentang memanjang : 48,00 m
- j) Bentang melintang1: 14,00 m
- k) Tinggi Bangunan : 26,50 m

2. Data Mutu Bahan Gedung

Mutu baja polos (f_y) : 235 MPa

Mutu beton (f_c') : 21,7 Mpa

4.2 Dimensi Elemen Struktur

Tabel 4.11 Dimensi Elemen Struktur

Elemen Struktur	Keterangan
Balok	B1 = 30 x 60 cm B-2 = 25 x 40 cm
Kolom	K-1 = 60 x 60 cm K-2 = 40 X 40 cm KL-1 = 50 x 50 x 25 cm KL-2 = 65 x 50 x 25 cm KP = 12 x 12 cm
Pelat Lantai	Lantai 1,2, 3, 4, 5 : T= 0,12 m Lantai 6 dan 7 : T= 0,15 m

4.3 Beban Struktur

Beban Struktur diambil dari peraturan Pedoman Perencanaan Pembebanan Bangunan Gedung (PPURG 1987) untuk beban mati dan untuk beban hidup menggunakan SNI 1727: 2013.

a. Beban Mati

Beton Bertulang = 2400 Kg/m²

Dinding pas. bata1 =1250 Kg/m²

Plafond + rangka =118 Kg/m²

Tegel = 24 Kg/m²

Spesi1 =121 Kg/m²

Berat Instalasi (ME) =120 Kg/m²

b. Beban Hidup

Beban Hidup untuk Gedung fungsi Perkuliahan adalah sebesar 250 kg/cm².



4.4 Perhitungan Pembebanan

4.4.1 Perhitungan Beban Mati dan Beban Hidup

Tabel 4.2 Rekapitulasi Beban

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Berat Lantai (kg)		
		Beban Mati	Beban Hidup	Jumlah
7	27	70186,00	2349,36	72535,36
6	24	621706,50	18662,73	640369,23
5	20	588025,00	74458,36	662483,36
4	16	588025,00	74458,36	662483,36
3	12	588025,00	74458,36	662483,36
2	8	588025,00	74458,36	662483,36
1	4	588025,00	74458,36	662483,36
Σ		3632017,50	393303,88	4025321,38

4.4.2 Beban Gempa

Gedung SBSN UPR berfungsi sebagai ruang perkuliahan, dan masuk ke dalam bangunan kategori risiko IV. Maka berdasarkan SNI 1726-2019 tabel 2, faktor keutamaan gempa $I_e = 1,50$.

4.4.3 Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus dirancang sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726:2012 sebagai berikut:

1. $1,4 D I$
2. $1,2 D + 1,6 L I$
3. $(1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + \rho E_x + 0,3 \rho E_y I$
4. $(1,2 + 0,2 S_{Ds}) D + 1,0 L + \rho E_x - 0,3 \rho E_y I$

$$5. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$$

$$6. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$$

$$7. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$8. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$9. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$10. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 L - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$11. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x + 0,3 \rho E_y$$

$$12. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + \rho E_x - 0,3 \rho E_y$$

$$13. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x + 0,3 \rho E_y$$

$$14. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - \rho E_x - 0,3 \rho E_y$$

$$15. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$16. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x + \rho E_y$$

$$17. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$

$$18. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D - 0,3 \rho E_x - \rho E_y$$



Base shear :

$$V = C_s \times \Sigma Q_{DL+LL}$$

Beban geser dasar (V) harus dibagikan menjadi gaya-gaya horizontal terpusat

yang bekerja pada masing-masing tingkat lantai menurut rumus :

$$F_x = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\Sigma w_i \cdot h_i^k} \times V$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan beban geser

Cs	V	k	$w_i \cdot h_i^k$	$C_x = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\Sigma w_i \cdot h_i^k}$	Fx	Vx
	(kg)				(kg)	(kg)
0,09450	380392,87	1,3850	6966082,03	0,04121	15676,579	15676,579
			52242388,50	0,30907	117567,080	133243,658
			41985711,44	0,24839	94485,295	227728,953
			30823443,04	0,18235	69365,553	297094,507
			20693835,79	0,12243	46569,728	343664,235
			11801972,67	0,06982	26559,342	370223,577
			4518851,41	0,02673	10169,293	380392,870
			169032284,87	1,000	380392,870	

Keterangan :

Cs = Koefisien Seismik

V = Gaya geser seismik

k = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

1. untuk struktur yang mempunyai $T \leq 0,5$ detik $k = 1$
2. untuk struktur yang mempunyai $T \geq 2,5$ detik $k = 2$
3. untuk struktur yang mempunyai $0,5 < T < 2,5$ detik, k ditentukan dengan interpolasi linier antara poin 1 dan 2 di atas

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

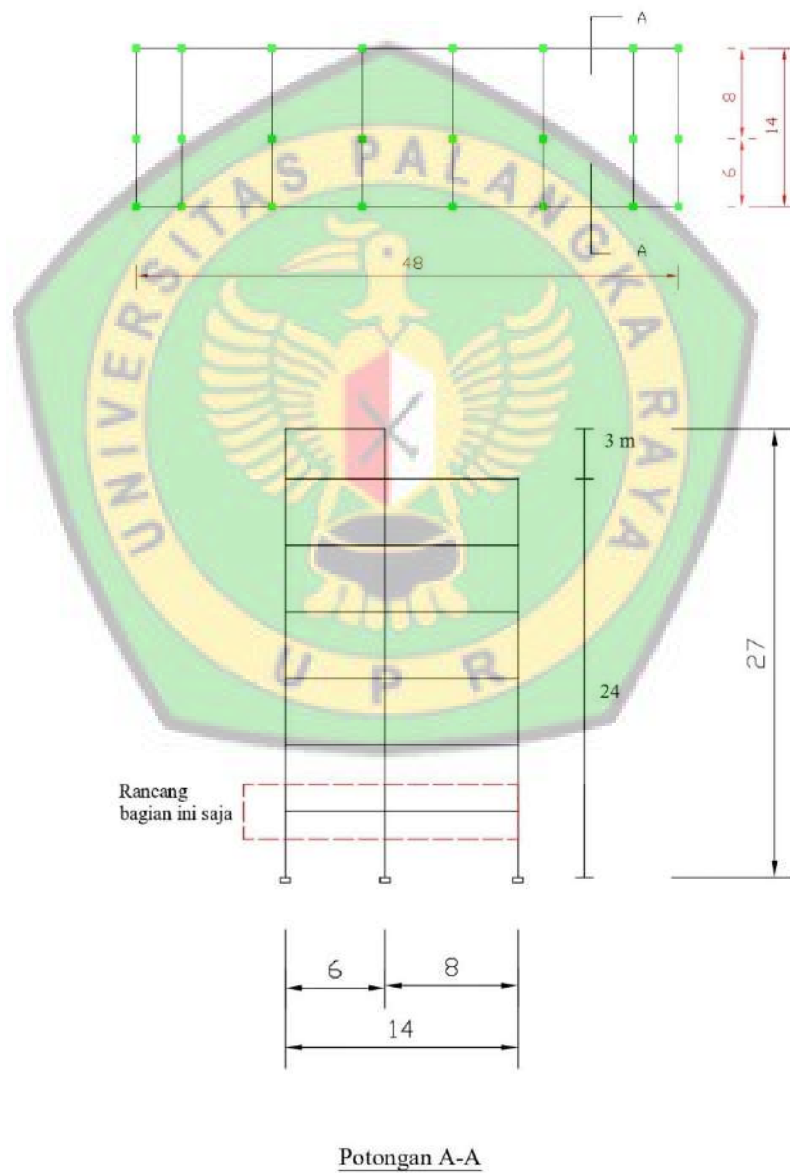
h_i = Tinggi dari dasar sampai tingkat i (m)

F_x = Distribusi Vertikal Gaya Gempa

V_x = Gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur

4.5 Analisis Data

Perencanaan Gedung ini didasarkan atas analisis 2 dimensi dengan menggunakan program SAP2000 yang nantinya dibandingkan dengan perhitungan secara manual menggunakan metode *cross*.



Gambar 4. 2 Denah potongan melintang dan sistem portal

4.6 Kontrol hasil analisis komputer

Hasil yang diperoleh dari perhitungan komputer diperiksa lagi dengan bantuan metode aproksimasi, untuk menentukan apakah hasil yang diperoleh dapat digunakan atau tidak.

Metode aproksimasi yang dipakai adalah cara *cross* untuk menganalisis beban gravitasi dan cara “D-value Muto” untuk menganalisis beban lateral.

4.7 Konsep Dasar Metode Distribusi Momen

Mulyati (2015) menjelaskan apabila suatu balok menerus memikul beban-beban yang bekerja, tanggapan deformasinya tidak akan mengandung rotasi sumbu batang yang tak diketahui, sedangkan titik hubung pada suatu kerangka kaku dapat mempunyai atau tak mempunyai kebebasan untuk menjalani translasi yang tak diketahui besarnya.

4.7.1 Momen Primer

Zacoeb (2014), menjelaskan momen primer adalah momen yang terjadi pada ujung batang sebagai akibat dari beban-beban yang bekerja di sepanjang batang. Besarnya momen primer sama dengan momen jepit (momen reaksi) dengan tanda atau arah yang berlawanan. Dengan kata lain, momen jepit atau momen reaksi merupakan kebalikan dari momen primer dan disebut juga dengan momen perlawanan. Momen primer biasanya digambarkan melengkung keluar pada bagian dalam ujung batang dengan arah tertentu sesuai dengan pembebanan.

4.7.2 Faktor Kekakuan dan Momen Induksi

Untuk mencari nilai kekakuan batang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

- $K = \frac{4EI}{L}$ untuk kondisi jepit-jepit1
- $K = \frac{3EI}{L}$ untuk kondisi jepit-sendi

Keterangan :

K = Kekakuan batang

E = Modulus elastisitas (MPa)

I = Momen Inersia (kg/m²)

L = Panjang bentang (m)

4.7.3 Faktor Distribusi

Untuk mencari nilai faktor distribusi adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

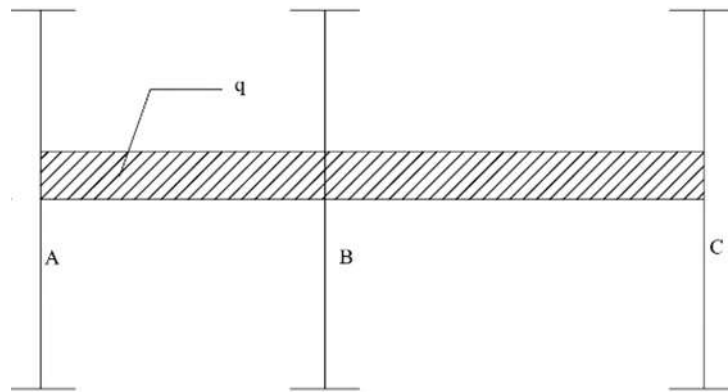
$$FD = \frac{K}{\Sigma K}$$

Keterangan :

FD = Faktor Distribusi

K1= Kekakuan batang

$\Sigma K1$ = Nilai kekakuan batang total



Gambar 4.3 Potongan portal yang ditinjau

$$Q = 1,2DL + 1,6LL$$

$$= 1,2 (588025) + 1,6 (74458,36)$$

$$= 1175,21919 \text{ kN/m}$$

$$\text{Inersia balok } I_b = 1/12 \times b \times h^3$$

$$I_b = 1/12 \times 0,3 \times (0,6)^3$$

$$I_b = 0,0054$$

$$\text{Inersia kolom } I_k = 1/12 \times b \times h^3$$

$$I_k = 1/12 \times 0,6 \times (0,6)^3$$

$$I_k = 0,0108$$

Momen Primer :

$$M_{AB} = 1/12ql^2$$

$$I = 1/12 \times 1175,21919 \times (6)^2$$

$$I = 3525,65756 \text{ Kn/m}$$

$$M_{BA} = -1/12ql^2$$

$$I = 1/12 \times 1175,21919 \times (6)^2$$

$$I = -3525,65756 \text{ Kn/m}$$

$$MBC = 1/12ql^2$$

$$1 = 1/12 \times 1175,21919 \times (8)^2$$

$$1 = 6267,83567 \text{ Kn/m}$$

$$MCB = -1/12 ql^2$$

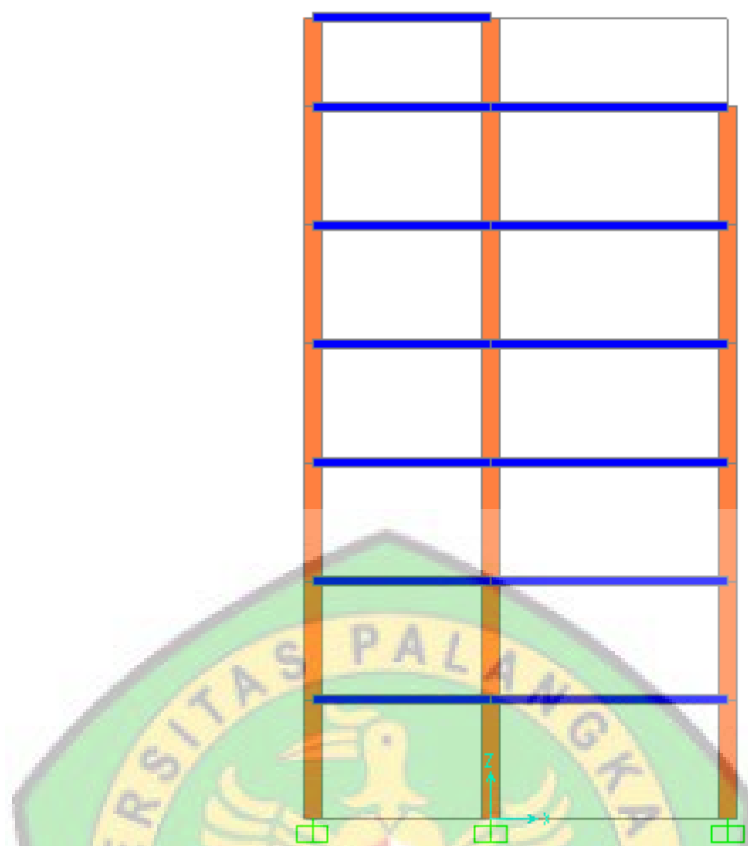
$$1 = 1/12 \times 1175,21919 \times (8)^2$$

$$1 = -6267,83567 \text{ Kn/m}$$



Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Metode Cross

Q=	1175,21919			
KOLOM	0,6	0,6		
BALOK	0,3	0,6		
SAMBUNGAN	A	B		C
BATANG	AB	BA	BC	CB
UKURAN BALOK KOLOM	30/60	30/60	30/60	30/60
PANJANG (L)	6	6	8	8
I	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
KEKAKUAN (4EI/L)	0,0009	0,0009	0,000675	0,000675
FAKTOR DISTRIBUSI	1	0,571428571	0,428571429	1
KONTROL FD	1	1		1
SIKLUS 1	3525,65757	3525,65757	6267,83568	6267,83568
	-3525,65757	-5596,28186	-4197,21139	-6267,83568
SIKLUS 2	-2798,14093	-1762,82879	-3133,91784	-2098,60570
	2798,14093	2798,14093	2098,60570	2098,60570
SIKLUS 3	1399,07046	1399,07046	1049,30285	1049,30285
	-1399,07046	-1399,07046	-1049,30285	-1049,30285
SIKLUS 4	-699,53523	-699,53523	-524,65142	-524,65142
	699,53523	699,53523	524,65142	524,65142
SIKLUS 5	349,76762	349,76762	262,32571	262,32571
	-349,76762	-349,76762	-262,32571	-262,32571
SIKLUS 6	-174,88381	-174,88381	-131,16286	-131,16286
	174,88381	174,88381	131,16286	131,16286
SIKLUS 7	87,44190	87,44190	65,58143	65,58143
	-87,44190	-87,44190	-65,58143	-65,58143
SIKLUS 8	-43,72095	-43,72095	-32,79071	-32,79071
	43,72095	43,72095	32,79071	32,79071
SIKLUS 9	21,86048	21,86048	16,39536	16,39536
	-21,86048	-21,86048	-16,39536	-16,39536
SIKLUS 10	-10,93024	-10,93024	-8,19768	-8,19768
	10,93024	10,93024	8,19768	8,19768
SIKLUS 11	5,46512	5,46512	4,09884	4,09884
	-5,46512	-5,46512	-4,09884	-4,09884
SIKLUS 12	-2,73256	-2,73256	-2,04942	-2,04942
	2,73256	2,73256	2,04942	2,04942
SIKLUS 13	1,36628	1,36628	1,02471	1,02471
	-1,36628	-1,36628	-1,02471	-1,02471
SIKLUS 14	-0,68314	-0,68314	-0,51235	-0,51235
	0,68314	0,68314	0,51235	0,51235
SIKLUS 15	0,34157	0,34157	0,25618	0,25618
	-0,34157	-0,34157	-0,25618	-0,25618
SIKLUS 16	-0,17078	-0,17078	-0,12809	-0,12809
	0,17078	0,17078	0,12809	0,12809
SIKLUS 17	0,08539	0,08539	0,06404	0,06404
	-0,08539	-0,08539	-0,06404	-0,06404
SIKLUS 18	-0,04270	-0,04270	-0,03202	-0,03202
	0,04270	0,04270	0,03202	0,03202
SIKLUS 19	0,02135	0,02135	0,01601	0,01601
	-0,02135	-0,02135	-0,01601	-0,01601
SIKLUS 20	-0,01067	-0,01067	-0,00801	-0,00801
	0,01067	0,01067	0,00801	0,00801
SIKLUS 21	0,00534	0,00534	0,00400	0,00400
	-0,00534	-0,00534	-0,00400	-0,00400
SIKLUS 22	-0,00267	-0,00267	-0,00200	-0,00200
	0,00267	0,00267	0,00200	0,00200
SIKLUS 23	0,00133	0,00133	0,00100	0,00100
	-0,00133	-0,00133	-0,00100	-0,00100
SIKLUS 24	-0,00067	-0,00067	-0,00050	-0,00050
	0,00067	0,00067	0,00050	0,00050
SIKLUS 25	0,00033	0,00033	0,00025	0,00025
	-0,00033	-0,00033	-0,00025	-0,00025
SIKLUS 26	-0,00017	-0,00017	-0,00013	-0,00013
	0,00017	0,00017	0,00013	0,00013
SIKLUS 27	0,00008	0,00008	0,00006	0,00006
	-0,00008	-0,00008	-0,00006	-0,00006
SIKLUS 28	-0,00004	-0,00004	-0,00003	-0,00003
	0,00004	0,00004	0,00003	0,00003
SIKLUS 29	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002
	-0,00002	-0,00002	-0,00002	-0,00002
SIKLUS 30	-0,00001	-0,00001	-0,00001	-0,00001
	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
SIKLUS 31	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000
	-0,00001	-0,00001	-0,00000	-0,00000
SIKLUS 32	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	-0,00000	-0,00000	-0,00000	-0,00000
JUMLAH	0,00000	-1035,31214	1035,31214	0,00000
KONTROL		0,00000		

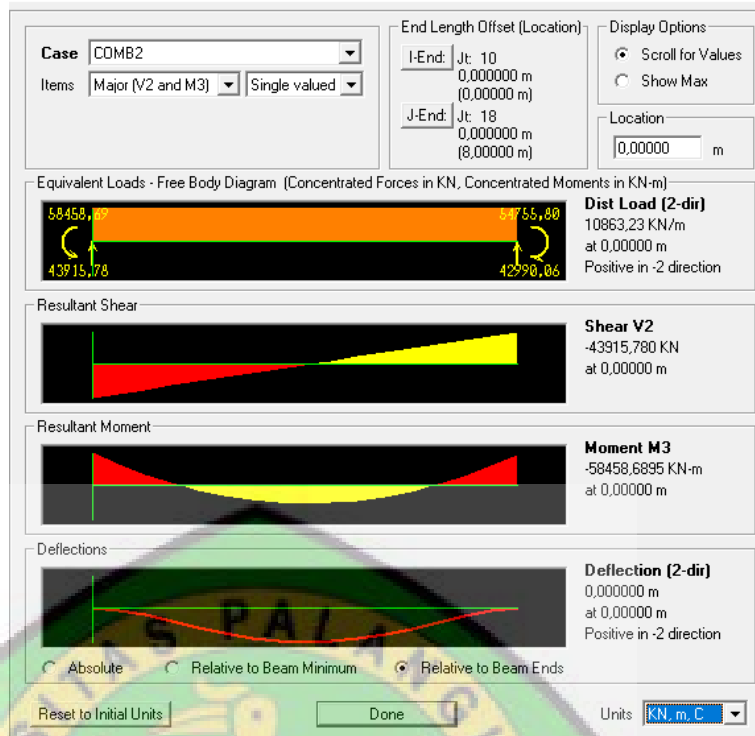


Gambar 4.4 Pemodelan Struktur Portal di SAP2000



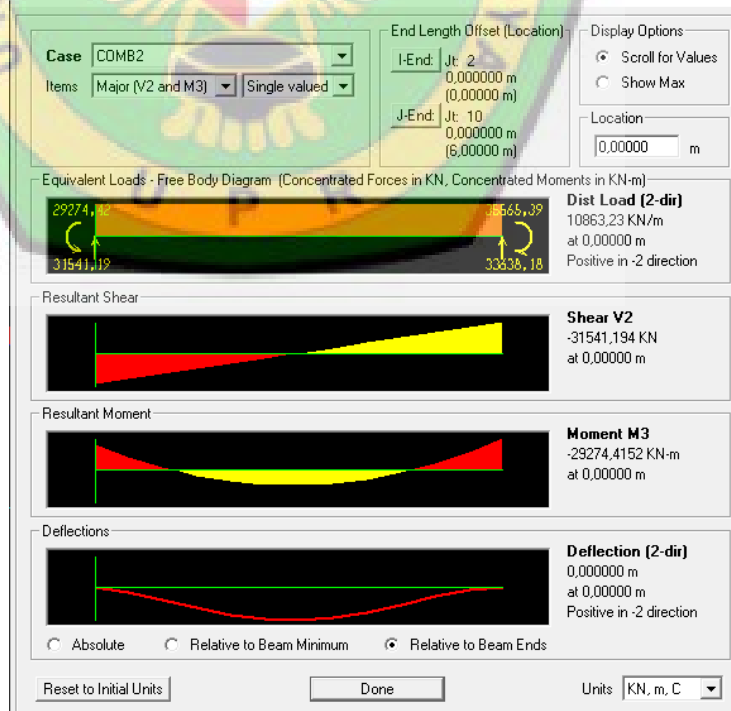
Gambar 4.5 Diagram Gaya-Gaya Dalam Pemodelan SAP2000 (Tinjau lantai dasar saja)

Diagrams for Frame Object 22 (BALOK 30/60)



Gambar 4.6 Output Gaya Dalam Momen Balok AB

Diagrams for Frame Object 21 (BALOK 30/60)



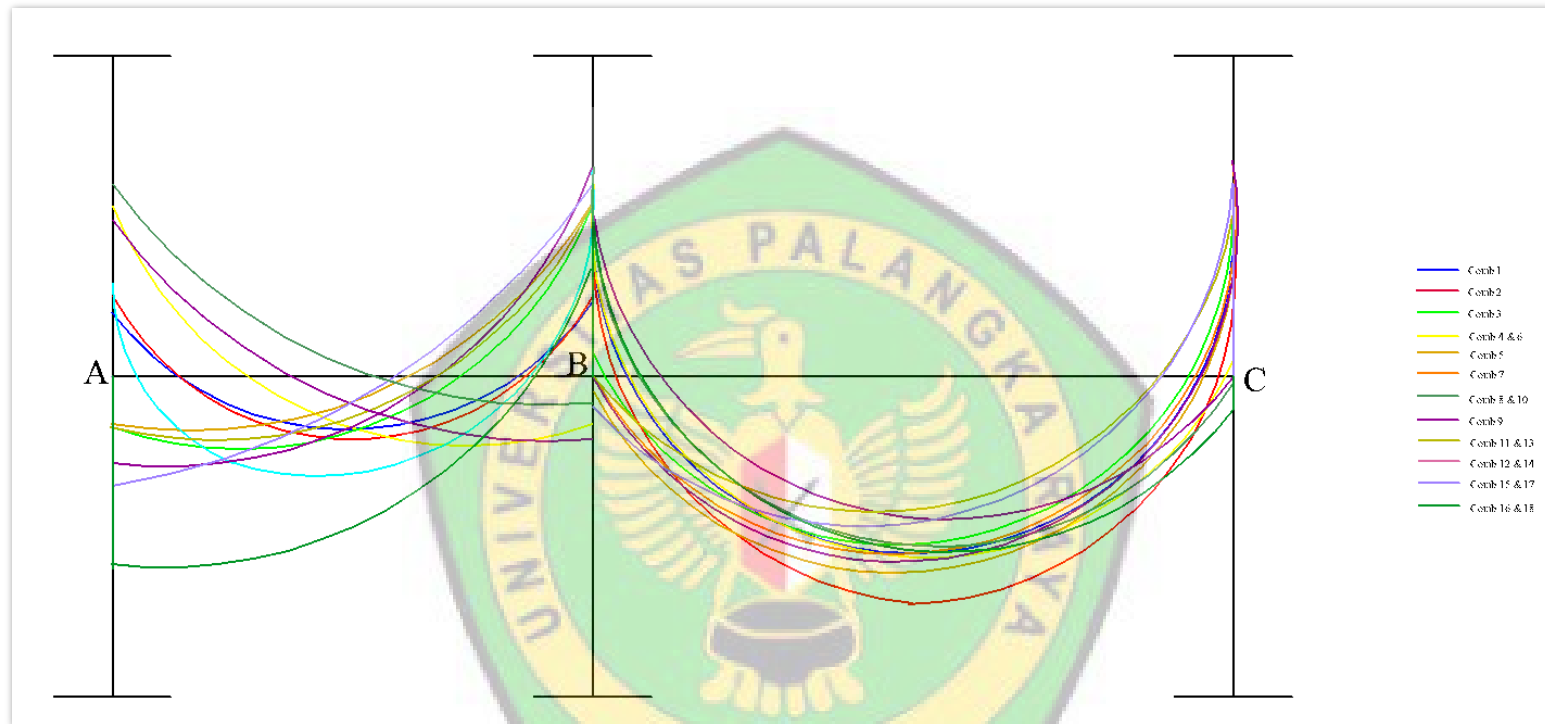
Gambar 4.7 Gaya Dalam Momen Balok BC

Tabel 4.5 Hasil Verifikasi Perhitungan Manual dan SAP2000

Bentang	Manual	Aplikasi	Selisih	Kontrol
	Kn/m	kN/m	Kg	%
AB	-3525,658	29274,415	-32800	9,303249735
BC	-6267,836	58458,690	-64727	10,32677444

Dari tabel diatas, maka dapat disimpulkan bahwa selisih perhitungan manual dengan menggunakan metode *cross* dan output pemodelan SAP2000 adalah sebesar 9-10%.





Gambar 4.8 Diagram Momen Kombinasi Pembebanan

Perhitungan menggunakan 16 kombinasi pembebanan dan diolah dalam bentuk diagram momen kombinasi sehingga didapatkan M_{max} sebesar 574,4978 kN/m.

4.8 Beban Lateral

Beban lateral yang bekerja adalah beban yang diakibatkan oleh gaya gempa. Untuk menghitung gaya geser pada masing-masing kolom digunakan cara “D-value Muto”.

Perhitungan gaya geser pada masing-masing kolom dengan cara “D-value Muto”

1. Tentukan gaya geser pada masing-masing kolom dan balok

Kekakuan kolom $K_c = I_c/h$

$$K_c = 10,8 \times 10^{-3} / 4 = 2,7 \times 10^{-3} = 0,0027 \text{ (untuk kolom lantai 1-6)}$$

$$K_c = 10,8 \times 10^{-3} / 3 = 3,6 \times 10^{-3} = 0,0036 \text{ (untuk kolom lantai 7)}$$

Kekakuan balok $K_b = I_b/l$

$$K_b = 5,4 \times 10^{-3} / 4 = 1,35 \times 10^{-3} = 0,00135 \text{ (untuk kolom lantai 1-6)}$$

$$K_b = 5,4 \times 10^{-3} / 8 = 6,75 \times 10^{-4} = 0,000675 \text{ (untuk kolom lantai 7)}$$

Dan kekakuan standar $K = 10^{-3}$

2. Hitung $D = a \times K_c \times \frac{12EK}{h^2}$

Keterangan :

E = modulus elastisitas = $25,7 \times 10^6$ Pa

K = kekakuan standar = 10^{-3}

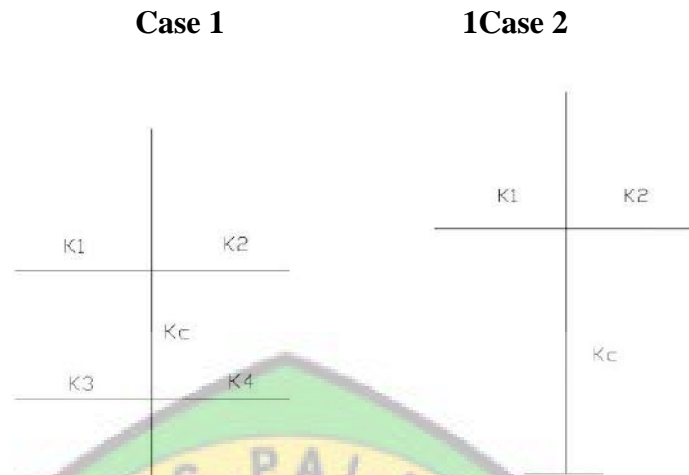
H = tinggi kolom

K_c = kekakuan kolom yang ditinjau

a = konstanta

$$\text{Secara umum } a = \frac{\bar{k}}{2 + \bar{k}}$$

Untuk struktur yang salah satu ujungnya terjepit maka $a = \frac{0,5 + \bar{k}}{2 + \bar{k}}$



Gambar 4.9 Kekakuan Muto

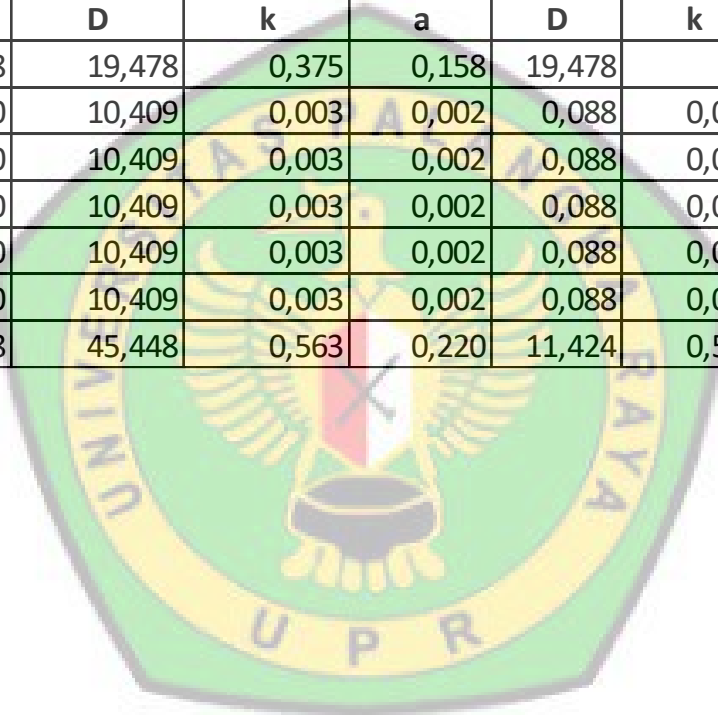
$$\text{Case 1 : } \bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{k_c}$$

$$\text{Case 2 : } \bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$$



Tabel 4. 6 Perhitungan harga k, a dan D

	Kolom 1			Kolom 2			Kolom 3			Dtotal =
	k	a	D	k	a	D	k	a	D	
Lantai 7	0,375	0,158	19,478	0,375	0,158	19,478				38,956
Lantai 6	0,500	0,200	10,409	0,003	0,002	0,088	0,003	0,002	0,088	10,584
Lantai 5	0,500	0,200	10,409	0,003	0,002	0,088	0,003	0,002	0,088	10,584
Lantai 4	0,500	0,200	10,409	0,003	0,002	0,088	0,003	0,002	0,088	10,584
Lantai 3	0,500	0,200	10,409	0,003	0,002	0,088	0,003	0,002	0,088	10,584
Lantai 2	0,500	0,200	10,409	0,003	0,002	0,088	0,003	0,002	0,088	10,584
Lantai 1	0,375	0,368	45,448	0,563	0,220	11,424	0,563	0,220	11,424	68,296



Besarnya gaya geser pada masing-masing kolom adalah :

$$V = \frac{D}{D_{total}} \times F$$

Keterangan :

V = gaya geser pada kolom yang ditinjau

D = D-value kolom yang ditinjau

D_{total} = D-value total pada lantai yang ditinjau

F = total gaya yang bekerja pada lantai yang ditinjau

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Menggunakan Metode D-Value Muto

	GAYA GESER KOLOM (MANUAL)			
	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	V (Kn)
Lantai 7	10,718	10,718		21,436
Lantai 6	49,13819	0,413905	0,413905	49,966
Lantai 5	49,4853417	0,416829	0,4168292	50,319
Lantai 4	49,2689865	0,415007	0,4150067	50,099
Lantai 3	49,1686764	0,414162	0,4141618	49,997
Lantai 2	49,0388633	0,413068	0,4130684	49,865
Lantai 1	33,3055587	8,371721	8,3717206	50,049

Tabel 4.8 Hasil Output Gaya Geser Menggunakan SAP2000

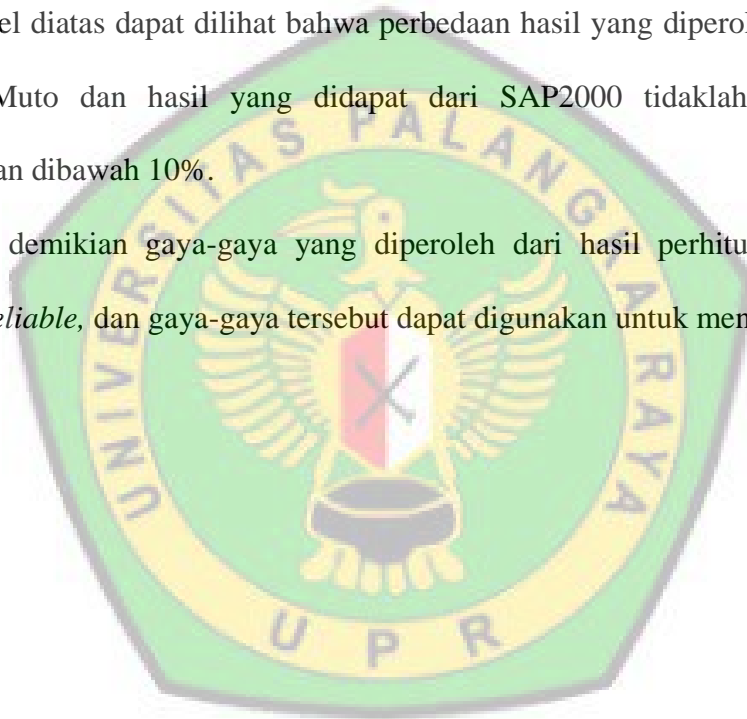
	GAYA GESER KOLOM (SAP2000)			
	Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	V (Kn)
Lantai 7	8,649	8,649		17,298
Lantai 6	6,298	7,936	14,864	29,098
Lantai 5	5,297	3,321	8,618	17,236
Lantai 4	5,413	4,26	9,673	19,346
Lantai 3	5,352	3,997	9,349	18,698
Lantai 2	5,624	4,403	10,027	20,054
Lantai 1	3,464	2,59	6,054	12,108

Tabel 4.9 Hasil Perbandingan Gaya Geser Manual dan SAP2000

	PERBANDINGAN MANUAL DAN SAP2000			
	Manual	Aplikasi	Selisih	Kontrol
	Kg	Kg	Kg	%
Lantai 1	50,049	12,108	37,941	0,758
Lantai 2	49,865	20,054	29,811	0,598
Lantai 3	49,997	18,698	31,299	0,626
Lantai 4	50,099	19,346	30,753	0,614
Lantai 5	50,319	17,236	33,083	0,657
Lantai 6	49,966	29,098	20,868	0,418
Lantai 7	21,436	17,298	4,138	0,193

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa perbedaan hasil yang diperoleh dari cara D-Value Muto dan hasil yang didapat dari SAP2000 tidaklah besar dengan perbedaan dibawah 10%.

Dengan demikian gaya-gaya yang diperoleh dari hasil perhitungan komputer cukup *reliable*, dan gaya-gaya tersebut dapat digunakan untuk mendesain.



4.9 Perencanaan balok

- **Data Perencanaan**

$$f_c' = 21,7 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{Lebar balok (b)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (h)} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan yang digunakan (D)} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal bersih selimut beton (ds)} = 40 \text{ mm}$$

Berdasarkan output dari SAP2000 maka didapatkan:

$$\text{Momen rencana positif akibat beban terfaktor (Mu}^+) = 301,752 \text{ kN/m}$$

$$\text{Momen rencana negatif akibat beban terfaktor (Mu}^-) = 187,333 \text{ kN/m}$$

Untuk $f_c' \leq 30 \text{ MPa}$, faktor bentuk distribusi tegangan beton (β_1) = 0,85

- **Perhitungan Tulangan**

Rasio tulangan pada kondisi balance (ρ_b)

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times f_c' / f_y \times 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 21,7 / 235 \times 600 / (600 + 235)$$

$$= 0,0479$$

- **Faktor tahanan momen maksimum**

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y / (0,85 \times f_c')]]$$

$$= 0,75 \times 0,0479 \times 235 \times [1 - \frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,0479 \times 235 / (0,85 \times 21,7)]$$

$$= 6,514$$

Faktor reduksi kekuatan lentur $\Phi = 0,80$

- **Jarak tulangan terhadap sisi luar beton (d_s)**

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + \emptyset + D/2 \\ &= 40 + 10 + 26/2 \\ &= 62,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Jumlah tulangan dalam satu baris (n_s)**

$$\begin{aligned} n_s &= (b - 2 \times d_s) / (25 + D) \\ &= (300 - 2 \times 63) / (25 + 26) \\ &= 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

- **Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan (X)**

$$\begin{aligned} X &= (b - n_s \times D - 2 \times d_s) / (n_s - 1) \\ &= (300 - 3 \times 25 - 2 \times 63) / (3 - 1) \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Jarak vertical pusat ke pusat antara tulangan (y)**

$$\begin{aligned} Y &= D + 25 \\ &= 25 + 25 \\ &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Tulangan Momen Positif

- **Momen positif nominal rencana (Mn)**

$$\begin{aligned} M_n &= M_u^+ / \Phi \\ &= 301,752 / 0,8 \\ &= 377,190 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Diambil jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton $d' = 120 \text{ mm}$

- **Tinggi efektif balok (d)**

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 600 - 120 \\ &= 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Faktor tahanan momen (Rn)**

$$\begin{aligned} R_n &= M_n * 10^6 / (b * d^2) \\ &= 377,190 * 10^6 / (300 * 480^2) \\ &= 5,4570 \end{aligned}$$

Faktor tahanan momen, $R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK!}$

- **Rasio tulangan yang diperlukan (ρ)**

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 * f_c' / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0,85 * f_c')}] \\ &= 0,85 * 21,7 / 235 * [1 - \sqrt{1 - 2 * 5,4570 / (0,85 * 21,7)}] \\ &= 0,02834 \end{aligned}$$

- **Rasio tulangan minimum (ρ_{min})**

$$\rho_{min} = \frac{1,4 * f_c'}{f_y} = \frac{1,4 * 21,7}{235} = 0,0496$$

Rasio tulangan yang digunakan (ρ) sebesar 0,02834

- **Luas tulangan yang diperlukan (A_s)**

$$\begin{aligned} A_s &= \rho * b * d \\ &= 0,02834 * 300 * 480 \\ &= 4080 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Jumlah tulangan yang diperlukan (n)**

$$\begin{aligned} n &= A_s / (\pi/4 * D^2) \\ &= 4080 / (3,14 / 4 * 25^2) \\ &= 8,313 \approx 9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sehingga, digunakan tulangan 9D25

- **Luas tulangan terpakai (A_s')**

$$\begin{aligned} A_s' &= n * (\pi/4 * D^2) \\ &= 8 * (3,14/4 * 25^2) \\ &= 4418 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Jumlah baris tulangan (nb)**

$$\begin{aligned} nb &= n / n_s \\ &= 8/3 \\ &= 2,67 \text{ baris} \approx 3 \text{ baris} \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Jumlah dan jarak tulangan pada Momen Positif

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	3	62,50	187,50
2	3	112,50	337,50
3	3	162,50	487,50
n =	9	$\Sigma [n_i * y_i] =$	1012,5

- **Letak titik berat tulangan (d')**

$$\begin{aligned} d' &= \Sigma [n_i * y_i] / n \\ &= 861 / 9 \\ &= 112,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Tinggi efektif balok (d)**

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 600 - 112,50 \\ &= 487,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s * f_y / (0,85 * f_c' * b) \\ &= 4418 * 235 / (0,85 * 21,7 * 300) \\ &= 187,621 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Momen nominal (Mn)**

$$\begin{aligned} M_n &= A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} \\ &= 4418 * 235 * (492,38 - 187,6211 / 2) * 10^{-6} \\ &= 408,728 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- **Tahanan momen balok (ΦM_n)**

$$\begin{aligned} \Phi M_n &= \Phi * M_n \\ &= 0,80 * 408,728 \\ &= 326,982 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Syarat : $\Phi M_n > M_u^+$

$$326,982 > 301,752 \rightarrow \text{AMAN (OK!)}$$

2. Tulangan Momen Negatif

- **Momen positif nominal rencana (Mn)**

$$\begin{aligned} M_n &= M_u^- / \Phi \\ &= 187,333 / 0,8 \\ &= 234,166 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Diambil jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton $d' = 80 \text{ mm}$

- **Tinggi efektif balok (d)**

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 600 - 80 \\ &= 520 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Faktor tahanan momen (Rn)**

$$\begin{aligned} R_n &= M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) \\ &= 234,166 \cdot 10^6 / (300 \cdot 520^2) \\ &= 2,8867 \end{aligned}$$

Faktor tahanan momen, $R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK!}$

- **Rasio tulangan yang diperlukan (ρ)**

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \cdot f_c' / f_y \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot R_n / (0,85 \cdot f_c')}] \\ &= 0,85 \cdot 21,7 / 235 \cdot [1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 2,8867 / (0,85 \cdot 21,7)}] \\ &= 0,01343 \end{aligned}$$

- **Rasio tulangan minimum (ρ_{min})**

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{235} = 0,00596$$

Rasio tulangan yang digunakan (ρ) sebesar 0,01343

- **Luas tulangan yang diperlukan (A_s)**

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,01343 \cdot 300 \cdot 520 \\ &= 2096 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Jumlah tulangan yang diperlukan (n)**

$$\begin{aligned} n &= A_s / (\pi/4 \cdot D^2) \\ &= 2096 / (3,14 / 4 \cdot 26^2) \\ &= 4,269 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Sehingga, digunakan tulangan 4D25

- **Luas tulangan terpakai (A_s')**

$$\begin{aligned} A_s' &= n * (\pi/4 * D^2) \\ &= 4 * (3,14/4 * 25^2) \\ &= 2454 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Jumlah baris tulangan (n_b)**

$$\begin{aligned} n_b &= n / n_s \\ &= 5/3 \\ &= 1,67 \text{ baris} \approx 1 \text{ baris} \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Jumlah dan jarak tulangan pada Momen negatif

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Juml. Jarak $n_i * y_i$
1	5	62,50	312,50
2	0	0,00	0,00
3	0	0,00	0,00
n =	5	$\Sigma [n_i * y_i] =$	312,5

- **Letak titik berat tulangan (d')**

$$\begin{aligned} d' &= \Sigma [n_i * y_i] / n \\ &= 312,5 / 5 \\ &= 62,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- **Tinggi efektif balok (d)**

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 600 - 62,5 \\ &= 537,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= A_s * f_y / (0.85 * f_c' * b) \\
 &= 2124 * 235 / (0.85 * 21,7 * 300) \\
 &= 90,191 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- **Momen nominal (Mn)**

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s * f_y * (d - a / 2) * 10^{-6} \\
 &= 2454 * 235 * (537 - 90,191 / 2) * 10^{-6} \\
 &= 279,958 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- **Tahanan momen balok (ΦM_n)**

$$\begin{aligned}
 \Phi M_n &= \Phi * M_n \\
 &= 0,80 * 279,958 \\
 &= 223,966 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Syarat : $\Phi M_n > M_u^+$

$$223,966 > 187,333 \rightarrow \text{AMAN (OK!)}$$

3. Tulangan Geser

Gaya geser ultimit rencana (V_n) diambil berdasarkan output SAP2000 sebesar 69,379 kN/m

Faktor reduksi kekuatan geser (Φ) = 0,75

Tegangan leleh tulangan geser (f_y) = 235 MPa

$$\begin{aligned}
 V_u &= V_n / \Phi \\
 &= 69,379 / 0,75 \\
 &= 86,723 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- **Tahanan geser beton (ΦV_c)**

$$\begin{aligned}\Phi V_c &= \Phi * V_c \\ &= \Phi * \frac{1}{6} * \sqrt{f_c'} * b * d \\ &= 0,75 * \frac{1}{6} * \sqrt{21,7} * 300 * 480 \\ &= 83,850 \text{ Kn}\end{aligned}$$

Menentukan daerah penulangan

$$V_u > \Phi V_c$$

$$86,723 > 83,850 \rightarrow \text{OK!}$$

- **Gaya geser yang ditahan begel (V_s)**

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{(V_u - \Phi V_c)}{\Phi} \\ &= \frac{(86,723 - 83,849)}{0,75} \\ &= 3,833 \text{ kN}\end{aligned}$$

- **Kontrol V_s :**

$$\begin{aligned}1. \frac{1}{3} * \sqrt{f_c'} * b * d \\ &= \frac{1}{3} * \sqrt{21,7} * 300 * 480 \\ &= 223,599 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$2. \frac{2}{3} * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$= \frac{2}{3} * \sqrt{21,7} * 300 * 480$$

$$= 447,199 \text{ Kn}$$

Cek kontrol :

$$V_s < \frac{1}{3} * \sqrt{f_c'} * b * d$$

$$3,833 < 223,599 \text{ kN} \rightarrow \text{OK!}$$

Digunakan tulangan geser sengkang $\emptyset 10$

- **Jarak sengkang yang diperlukan (A_v)**

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \pi d^2 \right) \\ &= 2 \times \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \right) \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- **Jarak Sengkang yang diperlukan (s)**

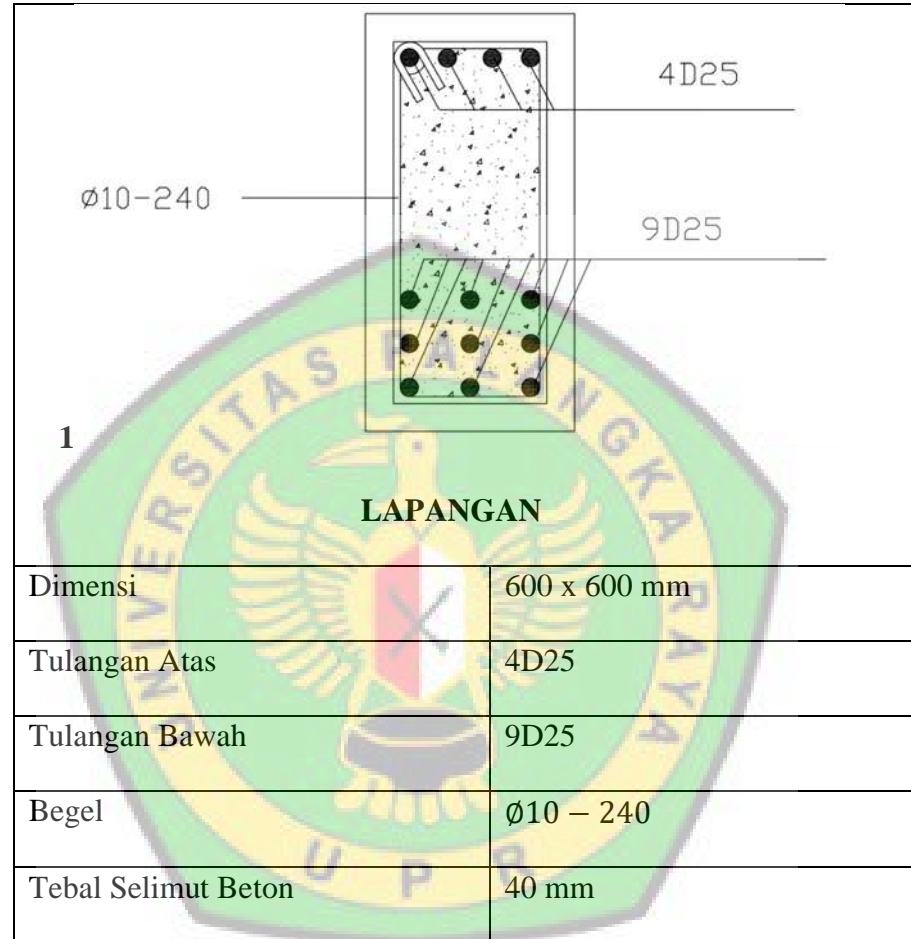
$$\begin{aligned} s &= d/2 \\ &= 487,50 / 2 \\ &= 243,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak Sengkang maksimum (S_{max}) = 250 mm

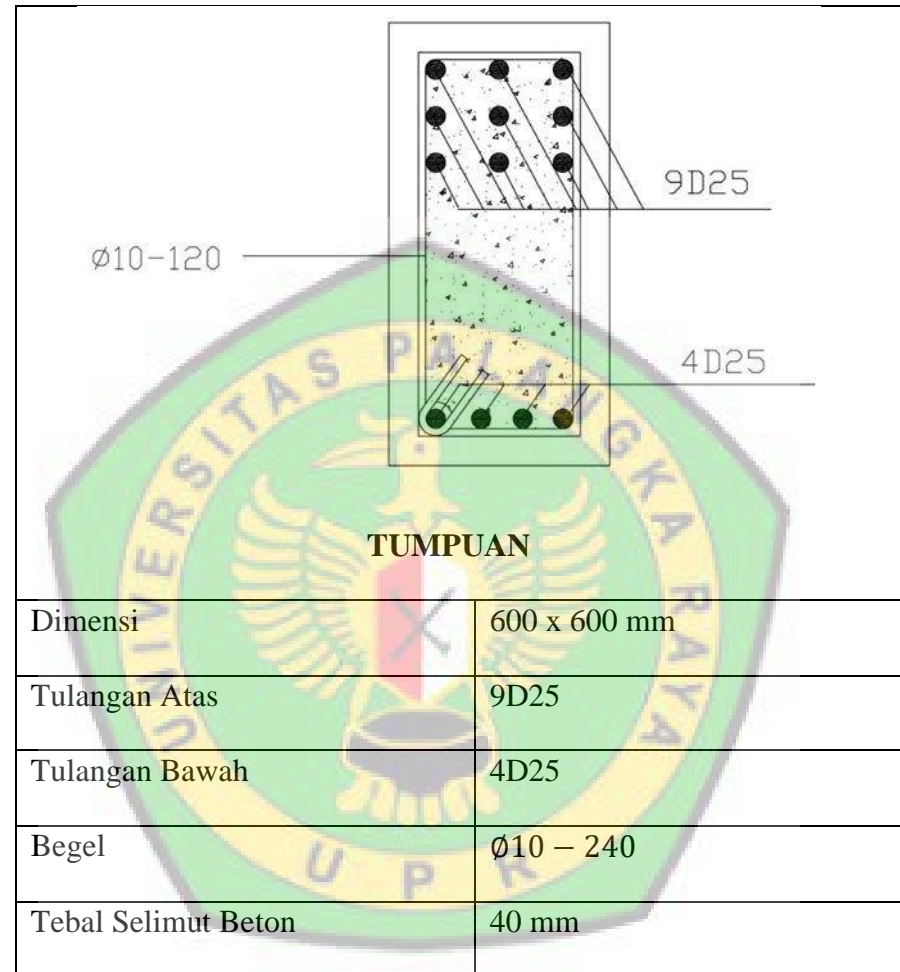
Jarak Sengkang yang harus digunakan adalah sebesar 243,75 mm

Diambil jarak Sengkang terkecil yaitu 240 mm

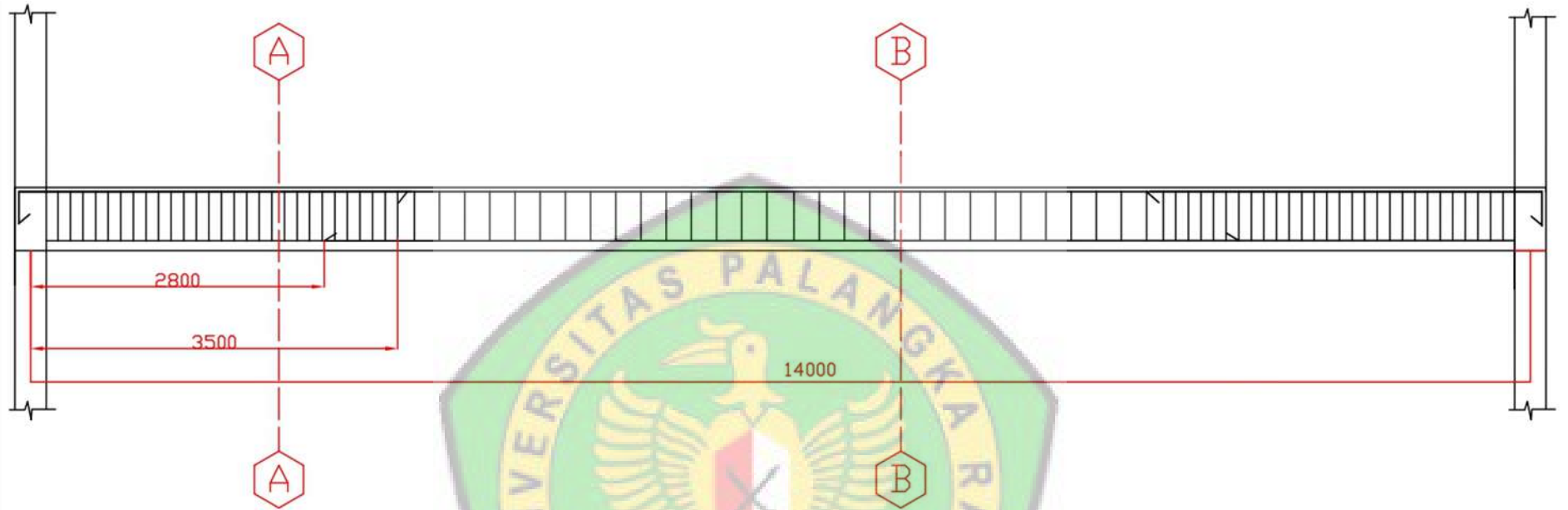
Sehingga, digunakan Sengkang D10-240 mm.



Gambar 4.10 Detail Balok Lapangan



Gambar 4.11 Detail Balok Tumpuan



Gambar 4. 12 Gambar Penulangan Balok

4.10 Penulangan Kolom

Kolom yang akan didesain yaitu kolom eksterior dan interior dari lantai dasar. Pada prinsip kolom kuat-balok lemah, sendi plastis tidak diijinkan terbentuk pada kolom kecuali kolom bawah dan kolom paling atas. Sendi plastis tersebut diharapkan terjadi pada ujung-ujung balok.

Dengan tidak terbentuknya sendi plastis pada ujung-ujung kolom, akan memberikan keuntungan, antara lain :

1. Kolom yang lebih sulit diperbaiki dari pada balok kini dilindungi dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi terhadap bahaya kerusakan.
2. Penyambungan tulangan memanjang kolom sebenarnya dapat dilakukan segera di atas lantai berikutnya, tidak perlu lagi direncanakan di tengah-tengah kolom
3. Karena resin inelastis bolak-balik tidak terjadi pada daerah ujung kolom, maka kontribusi beton terhadap kuat geser penampang dapat diperhitungkan, sehingga kebutuhan tulangan geser lebih sedikit.
4. Pencegahan terhadap lelehnya tulangan memanjang kolom menyebabkan kolom balok berperilaku lebih baik.

4.10.1 Tulangan Lentur Kolom

Kolom adalah kompoen struktur rangka yang mengalami beban lentur dan beban aksial.

Contoh perhitungan ini menggunakan kombinasi 2.

Beban Lentur Rencana

Momen lentur rencana yang bekerja pada kolom diperoleh dari momen kapasitas balok pada saat terjadi sendi plastis di ujung-ujung balok. Jadi kuat lentur kolom harus memenuhi persamaan:

$$\Sigma M_{u,k} \geq \phi \times \phi_d \Sigma M_{kap, balok}$$

$$M_{kap, balok} = 1,25 M_{a,b}$$

Keterangan :

$\Sigma M_{u,k}$ = jumlah momen rencana kolom pada pusat join

ϕ_d = koefisien pembesaran dinamis yang memperhitungkan pengaruh terjadinya sendi plastis pada struktur secara keseluruhan

$$\phi_d = 0,8$$

$M_{kap, balok}$ = jumlah momen kapasitas balok, pada pusat join yang berhubungan dengan kapasitas lentur aktual dari balok

$M_{a,b}$ = kuat momen lentur nominal aktual balok

Menentukan momen rencana kolom, $\Sigma M_{u,k}$

Momen di join (M_ϕ) dapat dihitung sebagai berikut :

$$M_\phi = M_{ov} + R_v * \Delta x$$

Keterangan:

M_{ov} = Momen Kapasitas Balok

R_v = Gaya geser balok di muka kolom

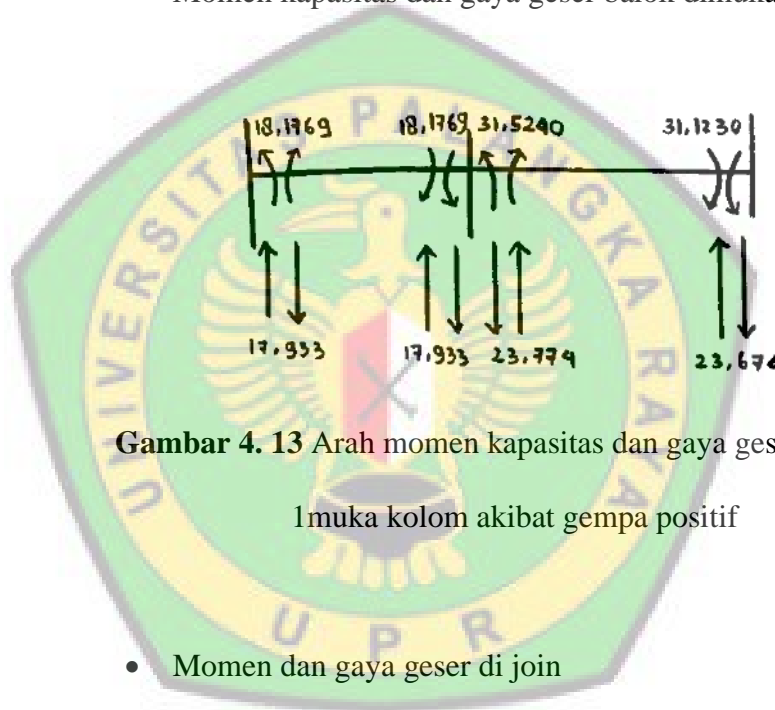
Dimana Δx adalah jarak dari muka kolom ke join ($\Delta x = 0,25$ m)

- Akibat gaya gempa positif

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan M akibat gaya gempa positif

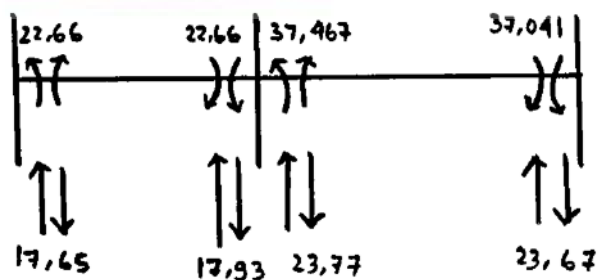
	join 4	join 5		join 6
	ka	ki	ka	ki
Mov	18,1769	18,1769	31,524	31,123
Rv	17,933	17,933	23,774	23,674
Δx	0,25	0,25	0,25	0,25
$M\phi$	22,66015	22,66015	37,4675	37,0415

- Momen kapasitas dan gaya geser balok dimuka kolom :



Gambar 4. 13 Arah momen kapasitas dan gaya geser balok di muka kolom akibat gempa positif

- Momen dan gaya geser di join



Gambar 4. 14 Arah momen kapasitas dan gaya geser balok di join akibat gempa positif

$$\begin{aligned}\Sigma M_{u,k}(\text{join 4}) &= 0,8 \times 1,3 \times (122,660) \\ &= 23,5664 \text{ KN m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{u,k}(\text{join 5}) &= 0,8 \times 1,3 \times (22,660 + 37,467) \\ &= 62,531 \text{ KN m}\end{aligned}$$

$\Sigma M_{u,k}$ harus didistribusikan pada kolom atas dan kolom bawah.

Distribusi pada kolom dapat dilakukan dengan cara skala bidang momen. Caranya dengan mengambil perbandingan momen antara momen ultimate dengan momen kapasitas.

$$\beta = \frac{(M_{ki} + M_{ka,\phi})_{overstrength}}{M_{balok,ki} + M_{balok,ka} \text{ ultimate}}$$

$$\text{Untuk kolom eksterior (join 4)} \quad \beta = \frac{22,660}{22,660 + 37,041} = 0,38$$

$$\text{Untuk kolom interior (join 5)} \quad \beta = \frac{(22,660 + 37,041)}{22,660 + 37,041} = 1$$

Momen pada kolom atas dan kolom bawah dapat dihitung.

$$M_{kol,atas} = \beta \times (M_{kol,atas})_{mektek} \times 0,8 \times 1,3$$

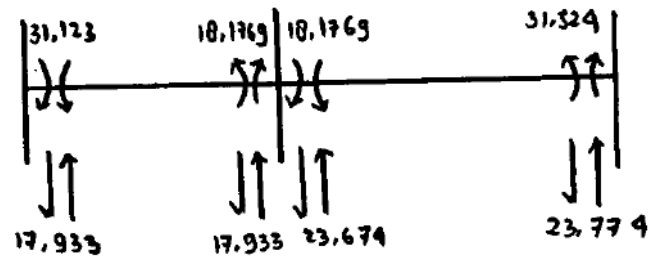
$$M_{kol,bawah} = \beta \times (M_{kol,bawah})_{mektek} \times 0,8 \times 1,3$$

- Akibat gaya gempa negatif (berbalik arah)

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan M akibat gaya gempa negatif

	join 4	join 5		join 6
	ka	ki	ka	ki
Mov	31,123	18,1769	18,1769	31,524
Rv	17,933	17,933	23,674	23,774
Δx	0,25	0,25	0,25	0,25
$M\phi$	35,60625	22,66015	24,0954	37,4675

- Momen kapasitas dan gaya geser balok dimuka kolom :



Gambar 4. 15 Arah momen kapasitas dan gaya geser balok di
 Imuka kolom akibat gempa negatif

- Momen dan gaya geser di join



Gambar 4. 16 Arah momen kapasitas dan gaya geser balok di join
 akibat gempa negatif

$$\begin{aligned}\Sigma M_{u,k} (\text{join 4}) &= 0,8 \times 1,3 \times (35,61) \\ &= 37,03 \text{ KNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{u,k} (\text{join 5}) &= 0,8 \times 1,3 \times (22,66 + 24,09) \\ &= 48,62 \text{ KNm}\end{aligned}$$

$\Sigma M_{u,k}$ harus didistribusikan pada kolom atas dan kolom bawah.

Cara perhitungan selanjutnya sama dengan diatas dan hasil perhitungan dapat dimuat dalam tabel.

Tabel 4. 14 Perhitungan Pada Kolom

Case	Mbalok,ki	Mbalok,ka	Mkol,atas	Mkol,bawah	β	Mu,kol atas	Mu, kol bawah
Comb 1 & 2	17, 3364	31,123	2,983	-1,580	0,38	7,5478	-3,9991
Comb 3 & 5	13,1063	48,0684	8,884	25,529	0,28	30,5094	87,6691
Comb 4 & 6	42, 8258	5,2853	-15,425	-82,988	0,84	-17,5703	-94,528
Comb 7 & 9	23,368	55,914	11,575	34,532	0,28	40,2704	120,1414
Comb 10	53,0875	2,5603	-68,386	-14,718	0,52	-126,9971	-27,3313
Comb 11 & 13	16,8213	55,914	8,159	24,999	0,27	28,892	88,5261
Comb 12 & 14	39,1109	1,3839	-18,354	-89,596	0,92	-19,1877	-93,6678
Comb 15 & 17	27,083	49,2448	29,056	90,957	0,72	38,653	120,9984
Comb 16 & 18	49,3726	9, 2295	-18,040	-78,605	0,60	-28,9487	-126,1401



4.10.2 Gaya Aksial Rencana

Gaya aksial rencana $N_{u,k}$ yang bekerja pada kolom dihitung sebagai berikut :

$N_{u,k} = N_{u}$ akibat gempa ($N_{u, E}$) + N_{u} akibat beban gravitasi ($N_{u,g}$)

$$= \frac{\phi R_V \times 1,25 \sum M_{n,balok \varphi}}{I_\varphi} + 1,05 N_{(DL+LL)}$$

Keterangan :

R_V = faktor reduksi yang dihitung dari

$$\begin{aligned} R_V &= 1,0 && \text{untuk } 1 < n \leq 4 \\ &= 1,1 - 0,025 n && \text{untuk } 4 < n \leq 20 \\ &= 0,6 && \text{untuk } n > 120 \end{aligned}$$

N = jumlah lantai tingkat diatas kolom yang ditinjau

Sehingga R_V didapatkan :

$$\begin{aligned} R_V &= 1,1 - 0,025 n \\ &= 1,1 - 0,025(6) \\ &= 10,95 \end{aligned}$$

Tetapi dalam segala hal :

$$N_{u,k} \geq 1,05 \left(N_{g,k} + \frac{1,0}{k} N_{g,k} \right)$$

Keterangan :

$\sum M_{\varphi,balok \varphi}$ = momen balok pada pusat join dengan memperhitungkan kombinasi momen positif dan momen negatif

I_φ = bentang balok, diukur dari pusat join

$N_{g,k}$ = gaya aksial akibat beban gravitasi terfaktor pada join

$N_{E,k}$ = gaya aksial akibat gaya gempa pada pusat join

$$\emptyset = 0,8$$

Menghitung $N_{u,E}$ akibat gempa ($N_{u,E}$)

Dengan menggunakan program SAP2000 diketahui gaya geser di join maka besarnya $N_{u,E}$ didapat sebesar 80, 484 Kn/m.

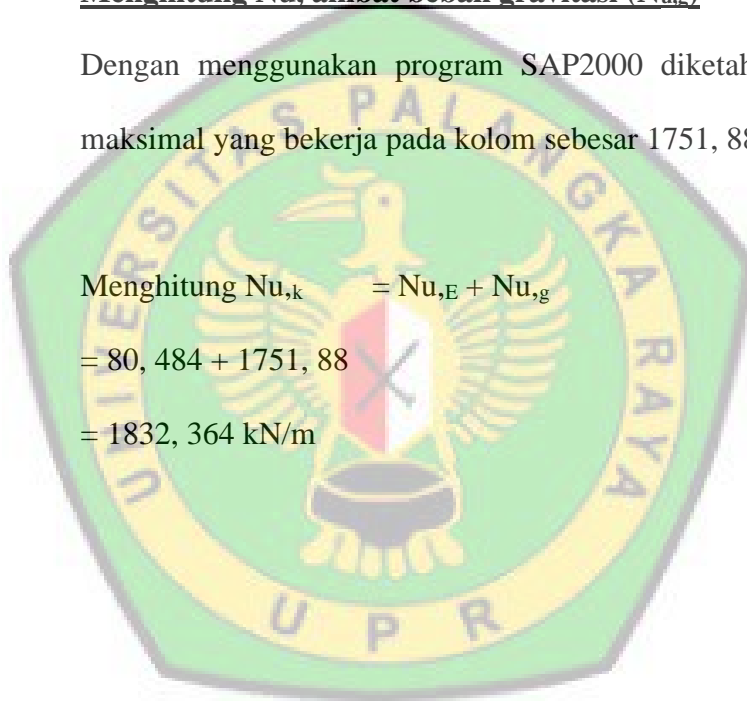
Menghitung $N_{u,k}$ akibat beban gravitasi ($N_{u,g}$)

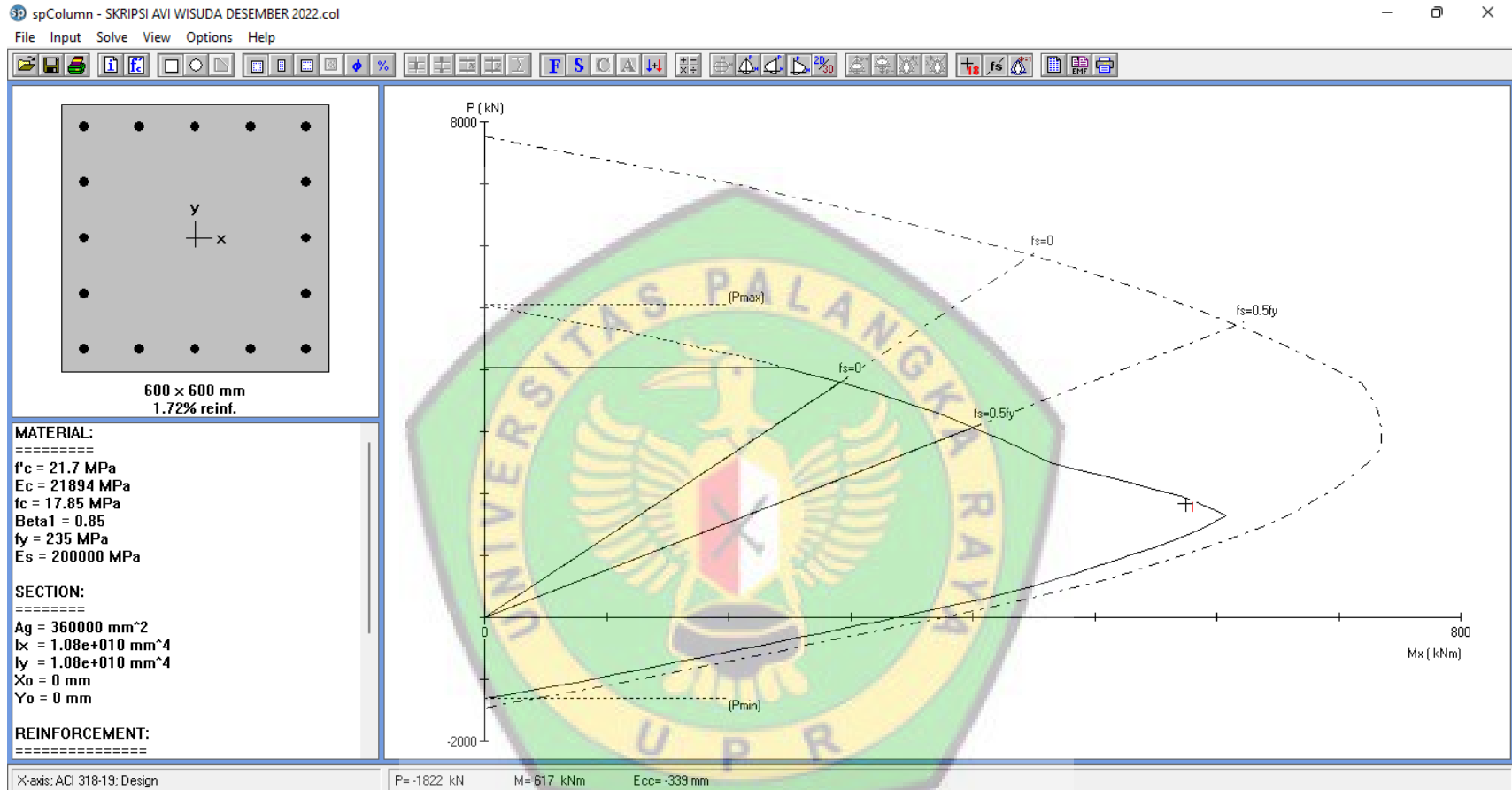
Dengan menggunakan program SAP2000 diketahui gaya aksial maksimal yang bekerja pada kolom sebesar 1751, 88 kN/m.

$$\text{Menghitung } N_{u,k} = N_{u,E} + N_{u,g}$$

$$= 80, 484 + 1751, 88$$

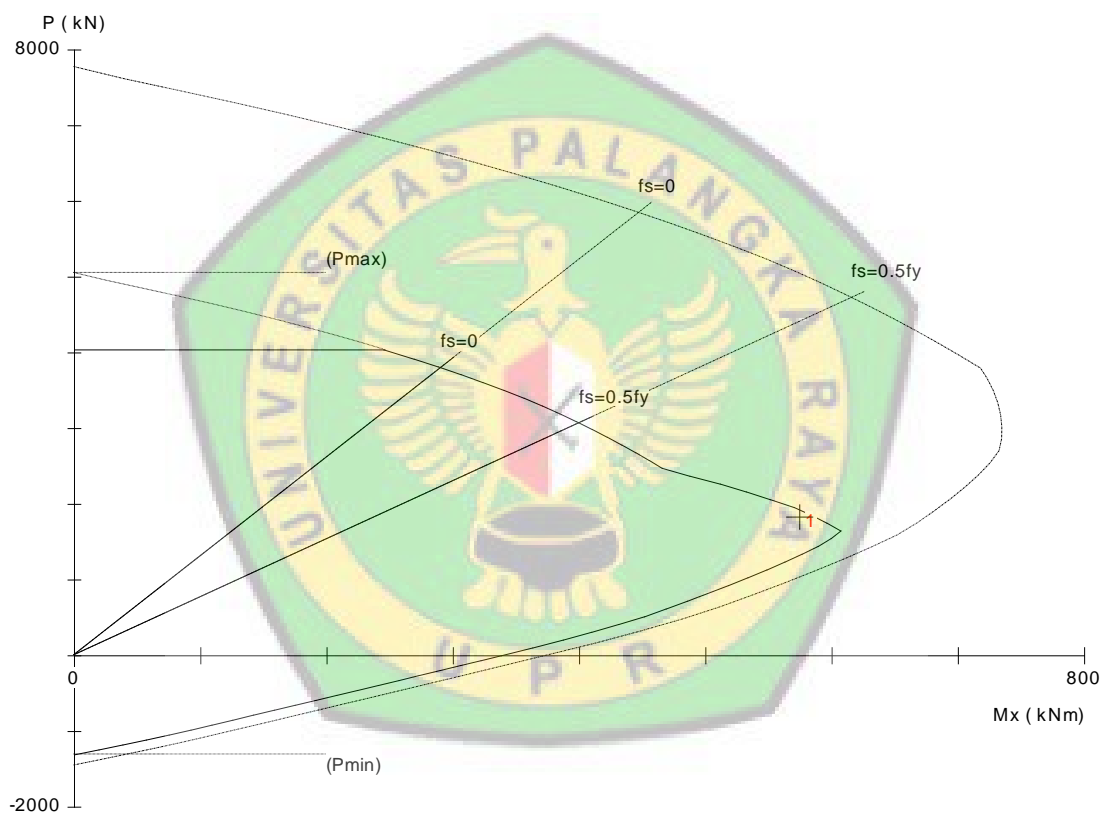
$$= 1832, 364 \text{ kN/m}$$





Gambar 4.17 Output dari PCACOL

Setelah semua gaya yang bekerja pada kolom (momen lentur dan gaya aksial) diketahui, hitung dan rencanakanlah tulangan kolom. Dengan bantuan program PCACOL diperoleh jumlah dan dimensi tulangan yang dibutuhkan. Berdasarkan output dari PCACOL, didapatkan untuk kolom ukuran 600x600 dipasangkan baut dengan diameter 22 sebanyak 16 buah.



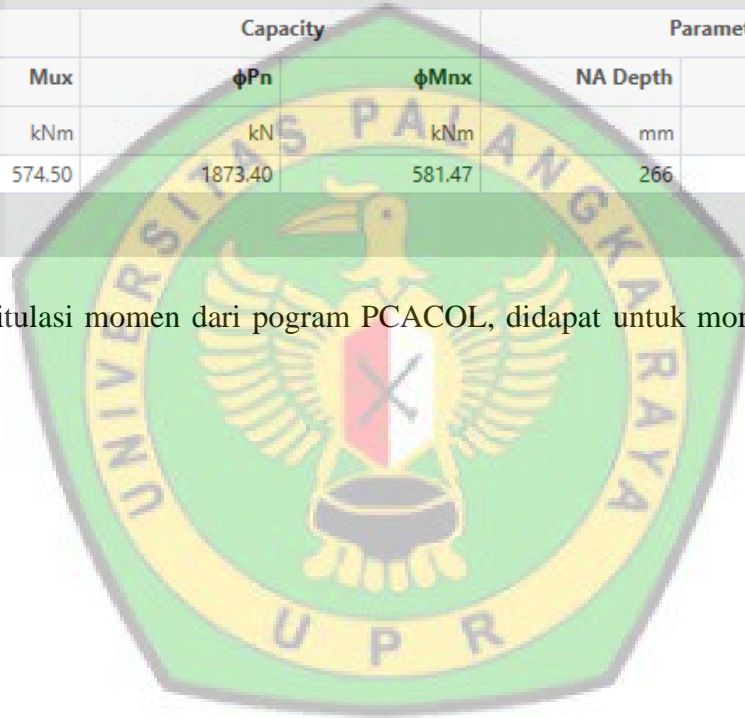
Gambar 4. 18 Diagram Interaksi Kolom

Dari diagram interaksi diatas, dapat disimpulkan bahwa kolom tersebut mengalami keruntuhan Tarik.

Tabel 4.15 Rekapitulasi momen dari program PCACOL

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacity Ratios									
No.	Demand		Capacity		Parameters at Capacity			Capacity	
	Pu	Mux	ϕP_n	ϕM_{nx}	NA Depth	ϵ_t	ϕ	Ratio	
	kN	kNm	kN	kNm	mm				
1	1832.36	574.50	1873.40	581.47	266	0.00319	0.818	0.98	

Berdasarkan hasil rekapitulasi momen dari program PCACOL, didapat untuk momen terpasang (ϕM_n) pada kolom adalah sebesar 581,47 kN/m.



Tabel 4. 16 Hasil perhitungan momen akibat eksentrisitas

Nu,k	e	e	ϕ	Mn	ϕ Mn	%
kN/m	mm	m		kN/m	kN/m	
1832,364	5	0,01	0,65	9,162	5,955	0,3
1832,364	10	0,01	0,65	18,324	11,910	0,5
1832,364	15	0,02	0,65	27,485	17,866	0,8
1832,364	20	0,02	0,65	36,647	23,821	1,0
1832,364	25	0,03	0,65	45,809	29,776	1,3
1832,364	30	0,03	0,65	54,971	35,731	1,5
1832,364	35	0,04	0,65	64,133	41,686	1,8
1832,364	40	0,04	0,65	73,295	47,641	2,0
1832,364	45	0,05	0,65	82,456	53,597	2,3
1832,364	50	0,05	0,65	91,618	59,552	2,5
1832,364	55	0,06	0,65	100,780	65,507	2,8
1832,364	100	0,10	0,65	183,236	119,104	5,0
1832,364	150	0,15	0,65	274,855	178,655	7,5
1832,364	200	0,20	0,65	366,473	238,207	10,0
1832,364	250	0,25	0,65	458,091	297,759	12,5
1832,364	300	0,30	0,65	549,709	357,311	15,0
1832,364	350	0,35	0,65	641,327	416,863	17,5
1832,364	500	0,50	0,65	916,182	595,518	25,0
1832,364	750	0,75	0,65	1374,273	893,277	37,5
1832,364	1000	1,00	0,65	1832,364	1191,037	50,0
1832,364	1250	1,25	0,65	2290,455	1488,796	62,5
1832,364	2000	2,00	0,65	3664,728	2382,073	100,0

Menurut Iswandi, besarnya nilai eksentrisitas minimum biasanya diambil sebesar 10% dimensi penampang untuk kolom persegi dan 5% diameter untuk kolom bundar. Pada kasus ini diuji eksentrisitas dari 5 mm-2000 mm, semakin tinggi eksentrisitas maka semakin besar pula momen yang dihasilkan. Dan didapatkan hasil dengan tulangan terpasang yang memiliki momen sebesar 581,47 kN/m mampu menahan hingga 17,5% eksentrisitas yang disebabkan oleh kemiringan kolom.



Gambar 4.19 Grafik hubungan eksentrisitas dan ØMn

Berdasarkan grafik diatas yang merupakan hubungan antara eksentrisitas dan momen nominal menunjukkan dengan meningkatnya eksentrisitas, maka semakin besar pula momen yang akan dihasilkan.

4.10.3 Perhitungan Gaya Geser Senggang Kolom

Dari output SAP2000 didapat gaya geser perlu kolom (V_u) sebesar 309, 979 kN/m.

- **Gaya geser nominal (V_n)**

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{309,979}{0,75} = 413,305 \text{ Kn}$$

- **Gaya geser yang ditahan oleh beton (V_c)**

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) b_w \cdot d \\ &= \left(1 + \frac{1832,364}{14 \cdot 360000}\right) \left(\frac{\sqrt{21,7}}{6}\right) 600 \cdot 560 \\ &= 260,96109 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Gaya geser yang ditahan oleh begel (V_s) dan V_s maksimum**

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{309,979 - 0,75 \times 260,96109}{0,75} \\ &= \frac{309,979 - 0,75 \times 260,96109}{0,75} \\ &= 152,344 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{2}{3} \sqrt{21,7} \cdot 600 \cdot 560 \\ &= 1043,464 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika :

$(V_n - V_c) < V_s$ maksimum, maka penampang cukup

$(V_n - V_c) \geq V_s$ maksimum, maka penampang harus diperbesar

$$(413,305 - 260,96109) < 1043,464$$

152, 34391 < 1043, 464 (Penampang cukup)

$$\emptyset V_c = 0,75 \times 260,961 \text{ k N}$$

$$= 195, 720 \text{ kN}$$

Jika $V_u < \emptyset V_c$, tidak perlu tulangan geser

$V_u \geq \emptyset V_c$, perlu tulangan geser

309, 979 \geq 195, 720 (Diperlukan tulangan geser)

Karena $V_u \geq \emptyset V_c$ penampang perlu dipasang tulangan geser minimum.

Dihitung luas begel perlu ($A_{v,u}$) untuk setiap Panjang kolom $S = 1000 \text{ mm}$,

dengan memilih yang terbesar dari nilai A_v berikut :

$$A_v = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} = \frac{1043,46494 \times 1000}{235 \times 560} = 7,929 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y} = \frac{600 \times 1000}{3 \times 235} = 851,063 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \frac{75 \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y} = \frac{75 \times \sqrt{21,7} \times 600 \times 1000}{1200 \times 235} = 537,499 \text{ mm}^2$$

Pilih yang terbesar yaitu $851,063 \text{ mm}^2$

Digunakan begel 2 kaki dengan $d_p=10,1$ dengan jarak begel sebagai berikut :

$$S = \frac{\frac{n}{4} \times \pi \times d_p^2 \times S}{A_{v,u}}$$

$$= \frac{\frac{2}{4} \times 3,14 \times 10^2 \times 1000}{851,063}$$

$$= 184, 475 \text{ mm}$$

$$s \leq 16D = 16 \times 221 = 352 \text{ mm}$$

$$s \leq 48d_p = 48 \times 10 = 480 \text{ mm}$$

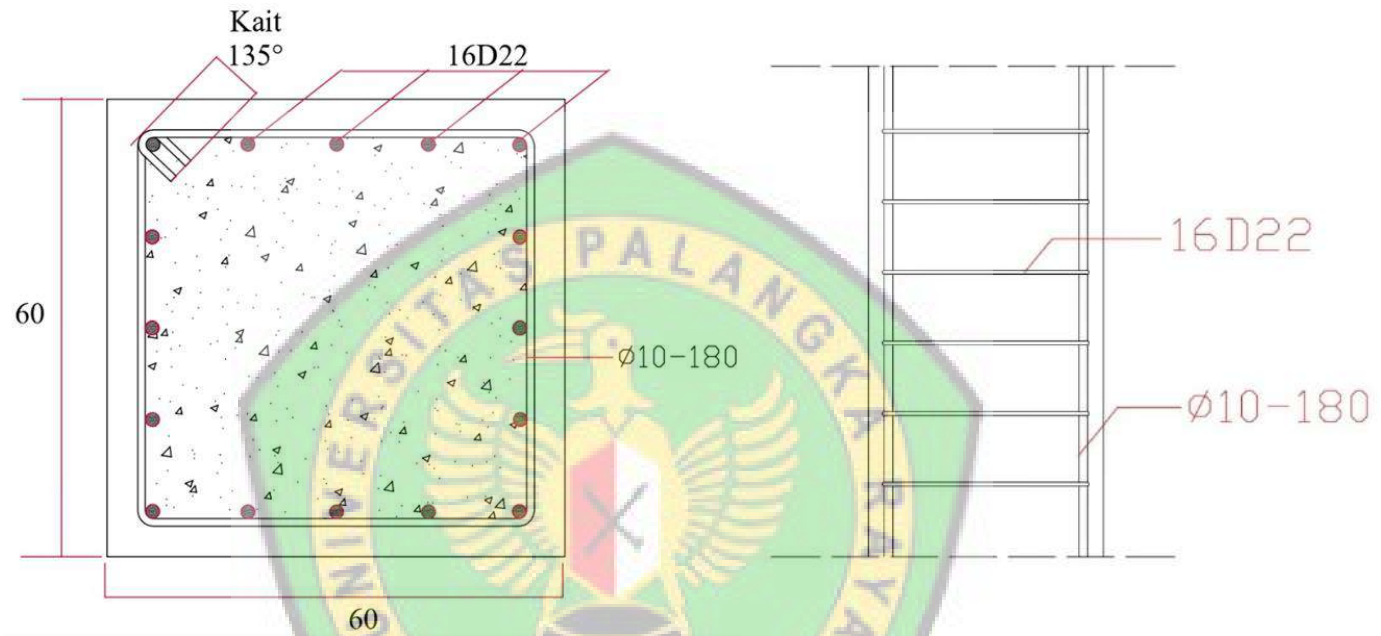
$$s \leq \frac{d}{2} = \frac{560}{2} = 280 \text{ mm}$$

Dipakai nilai terkecil dan dibulatkan kebawah sehingga didapatkan

$$s = 180 \text{ mm} < 184,475 \text{ mm.}$$

Jadi, digunakan begel $\emptyset 10-180$

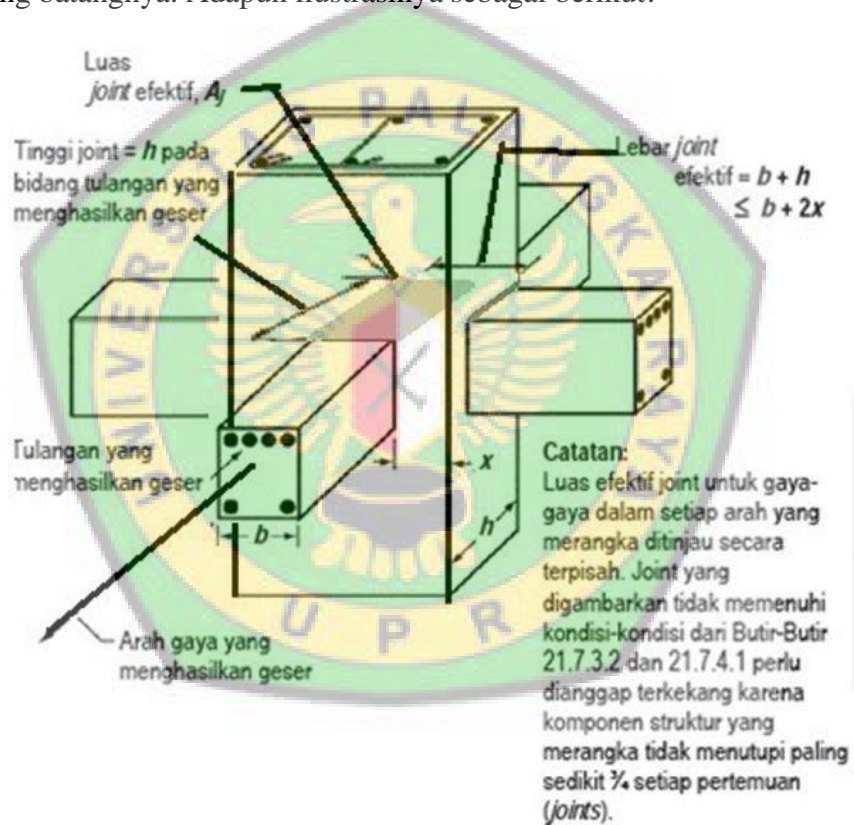




Gambar 4.20 Detail Kolom 600 x 600

4.11 Hubungan Balok- Kolom

Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013 memberikan suatu penjelasan bahwa gaya geser desain V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antar muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi terfaktor sepanjang batangnya. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:



Gambar 4. 21 Ilustrasi Sambungan Balok Kolom SNI 2847 (2013)

- **Spesifikasi Balok dan Kolom**

Tabel 4.17 Spesifikasi balok

Dimensi	300 x 600 mm	
Posisi	Tumpuan	Lapangan
Tulangan Atas	9D25	4D25
Tulangan Bawah	4D25	9D25
Sengkang	Ø10-120	Ø10-240
Selimit Beton	40 mm	40 mm

Tabel 4.18 Spesifikasi Kolom

Dimensi	600 x 600
Tulangan Utama	16D22
Sengkang	Ø10-180
Selimit Beton	40 mm

Langkah perhitungan analisis joint kolom balok adalah sebagai berikut :

Menghitung Probable Moment Balok (M_{pr})

$$F_c' = 21,7 \text{ MPa}$$

$$F_y = 235 \text{ MPa}$$

$$B = 300 \text{ m}$$

$$H = 600 \text{ mm}$$

$$D = h - 40 = 600 - 40 = 560 \text{ mm}$$

$$A_s = 4418 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 1963 \text{ mm}^2$$

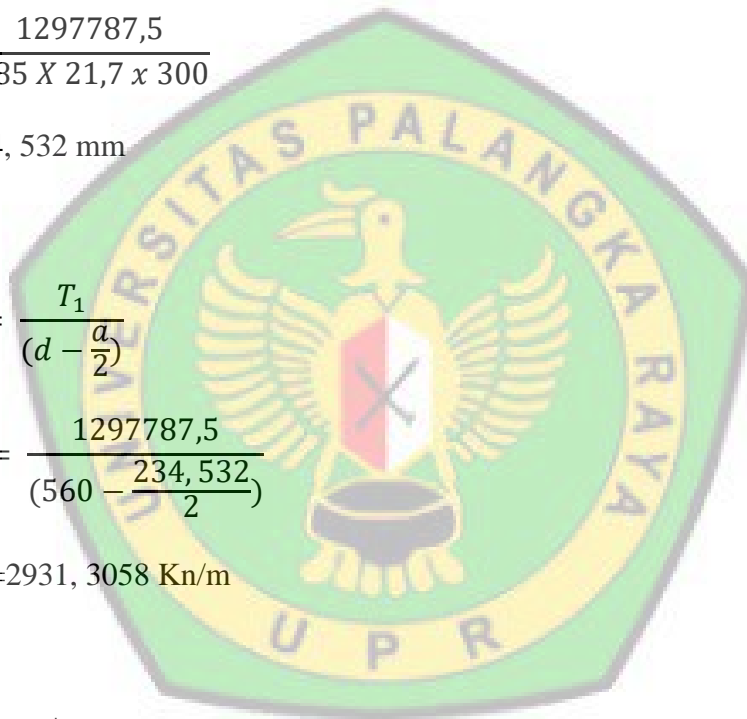
$$H_1 = h_2 = 4 \text{ m}$$

Untuk M_{pr}^-

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
 &= 1,25 \times 4418 \times 235 \\
 &= 1297,78 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{T_1}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{1297787,5}{0,85 \times 21,7 \times 300} \\
 &= 234,532 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= \frac{T_1}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} \\
 &= \frac{1297787,5}{\left(560 - \frac{234,532}{2}\right)} \\
 &= 2931,3058 \text{ Kn/m}
 \end{aligned}$$

**Untuk M_{pr}^+**

$$\begin{aligned}
 T_2 &= 1,25 \times A_s' \times f_y \\
 &= 1,25 \times 1963 \times 235 \\
 &= 576,631 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{T_1}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{576631,25}{0,85 \times 21,7 \times 300} \\ &= 1104,2073 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{pr}^+ &= \frac{T_1}{\left(d - \frac{a}{2}\right)} \\ &= \frac{576631,25}{\left(560 - \frac{104,2073}{2}\right)} \\ &= 11135,3325 \text{ Kn/m}\end{aligned}$$

Gaya geser pada kolom, V_{kolom} dapat dihitung berdasarkan nilai M_{pr}^- dan M_{pr}^+ dibagi dengan setengah tinggi kolom atas (h_1) ditambah dengan setengah tinggi kolom bawah (h_2). Jika dituliskan dalam bentuk persamaan adalah :

$$\begin{aligned}V_{kolom} &= \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{\frac{h_1}{2} + \frac{h_2}{2}} \\ &= \frac{2931,3058 + 1135,3325}{\frac{4}{2} + \frac{4}{2}} \\ &= 1016,659 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya geser terfaktor yang timbul pada hubungan balok-kolom dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} V_u &= T_1 + T_2 - V_{\text{kolom}}, \text{ yaitu :} \\ V_u &= 1297,78 + 576,631 - 1016,659 \\ &= 11873,401 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai ini tidak boleh lebih besar daripada ϕV_n di mana V_u adalah kuat geser nominal hubungan balok kolom

Nilai V_n dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \sqrt{f_c'} * A_j \\ &= 1,7 * \sqrt{21,7} * (600 \times 600) \\ &= 2850,89 \text{ kN} \\ \phi V_n &= 0,8 \times V_n \\ &= 0,8 \times 2850,89 \\ &= 2280,72 \text{ Kn} \end{aligned}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$2280,72 \text{ Kn} > 1873,401 \text{ kN}$$

Jadi, kuat geser hubungan balok-kolom sudah mencukupi.

- Menghitung Tulangan1Confinement Kolom pada Joint Balok

Kolom

$$f_c' = 21,7 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

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

$$d_s = 40 \text{ mm}$$

$$d_b = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s$$

$$= 600 - 40$$

$$= 560 \text{ mm}$$

$$h_c = h - 2(d_s - d_b/2)$$

$$= 600 - 2(40 - 25/2)$$

$$= 545 \text{ mm}$$

Luas total tulangan transversal tertutup persegi tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = 0,09 * s * h_c * \frac{f_c'}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0,3 * s * h_c * \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_y}$$

Dengan mensubstitusikan variabel - variabel yang telah diketahui,

diperoleh :

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,09 * 545 * 21,7}{235} = 4,529 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{0,3 * 545 * 21,7}{235} \left(\frac{600 * 600}{545 * 545} - 1 \right) = 3,20 \text{ mm}$$

Sesuai SNI 03-2847-2002 pasal 23.4.4.(2) disyaratkan bahwa tulangan transversal diletakkan dengan spasi tidak lebih dari:

- (1) 0,25 kali dimensi terkecil struktur, yaitu $0,25 \times 600 = 150 \text{ mm}$
- (2) 6 kali diameter tulangan longitudinal, yaitu $6db = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- (3) $S_x = 100 + \frac{350-hx}{3}$

Dengan hx dapat diambil sebesar $1/3$ kali dimensi inti kolom, atau

$1/3 \times 545 = 181,67 \text{ mm}$, sehingga

$$s_x = 100 + \frac{350-181,67}{3} = 156,11 \text{ mm.}$$

Disyaratkan bahwa nilai s_x tidak lebih besar dari 150 mm dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm. Dari ketiga syarat tersebut, dapat diambil spasi tulangan transversal adalah 100 mm, hal mana sudah sesuai dengan kondisi yang terpasang di lapangan.

4.12 Panjang Penyaluran

1. Mencari tebal selimut beton dan kondisi pengekanan

Jarak bersih permukaan beton ke tulangan D-25mm pada dinding yaitu :

$$40 + 12,5 = 52,51 = 2,1db$$

Jarak bersih tulangan yaitu :

$$\frac{400 - 2(40 + 12,5) - 3 \times 25}{2} = 110 \text{ mm} = 4,4db$$

Karena jarak bersih antar tulangan tidak kurang dari $2db$ dan selimut bersih ke tulangan D-25 melebihi db maka kondisi ini memenuhi persyaratan kedua pada persamaan baris pertama dalam Tabel 8.2. (Imran, 2010)

2. Menghitung Panjang penyaluran

$$l_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

Keterangan :

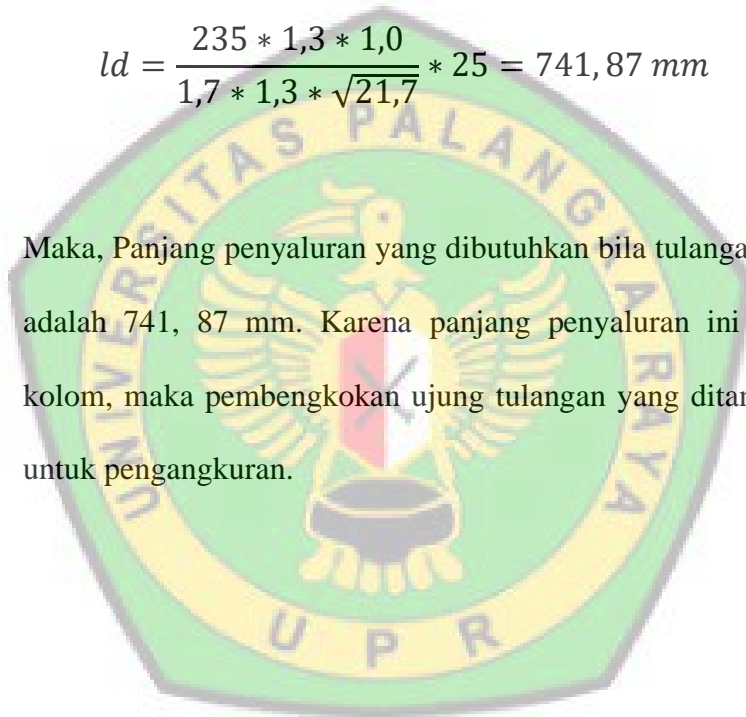
ψ_t = 1,3 karena tulangan horizontal yang berada di atas beton setebal minimal 300 mm,

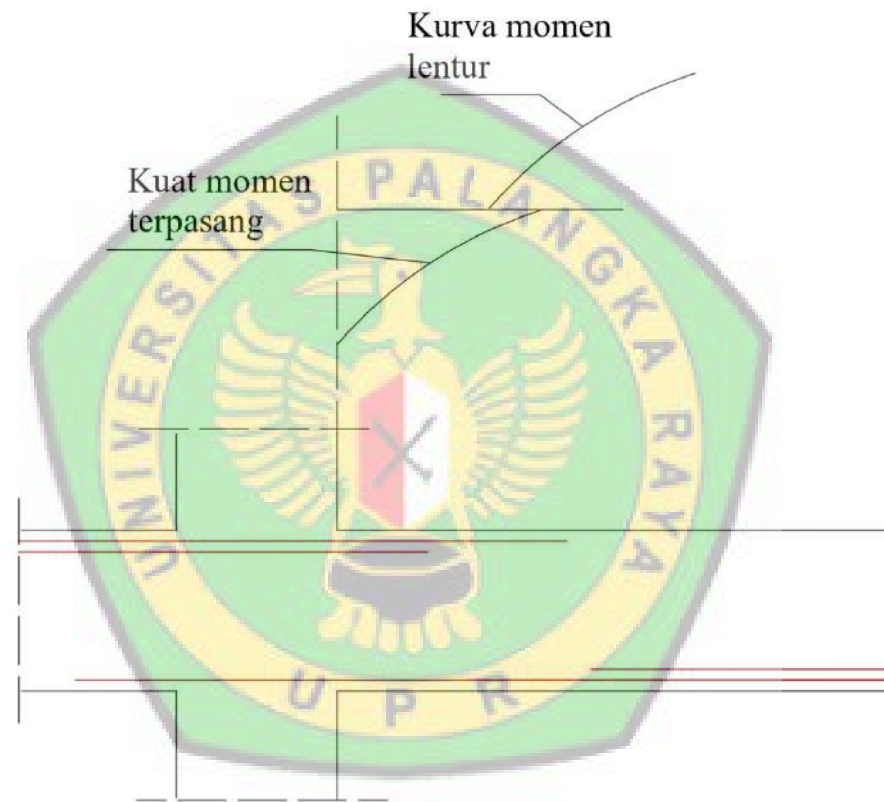
ψ_e = 1,0 karena tulangan tidak diberi lapisan epoksi,

λ = 1,3 karena beton agregat ringan.

$$l_d = \frac{235 * 1,3 * 1,0}{1,7 * 1,3 * \sqrt{21,7}} * 25 = 741,87 \text{ mm}$$

Maka, Panjang penyaluran yang dibutuhkan bila tulangan ditanam lurus adalah 741, 87 mm. Karena panjang penyaluran ini melebihi lebar kolom, maka pembengkokan ujung tulangan yang ditanam dibutuhkan untuk pengankuran.





Gambar 4. 22 Lokasi Pemutusan Tulangan Tarik Lentur

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Kolom dengan momen terpasang sebesar 581,47 kN/m mampu menahan hingga 17,5% eksentrisitas yang disebabkan oleh kemiringan kolom.
2. *Second Moment* (M_2) yang dihasilkan dari kemiringan semakin besar karena eksentrisitas yang semakin tinggi. Pada kasus ini diuji eksentrisitas dari 5 mm - 2000 mm, dan didapatkan hasil momen sebesar 5,955 kN/m hingga 2382,073 kN/m.
3. Keandalan struktur (*reliability*) adalah peluang tidak gagal dari suatu struktur ketika menahan beban yang bekerja. Kemiringan kolom cukup berpengaruh terhadap keandalan struktur, karena apabila besarnya momen yang diakibatkan oleh eksentrisitas ini tidak dapat ditahan oleh momen terpasang maka akan terjadi kegagalan struktur.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan SAP2000 dalam memodelkan kolom sebaiknya memperhatikan bagian memasukkan data pada *material properties*. Satuan Internasional yang digunakan harus selalu diingat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung (PPIURG)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Asroni, A., 2010. *Kolom, Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- (BSN), B. S. N., 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI-2847-2013)*. Jakarta: s.n.
- BSN, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI-03-2847-2002)*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Dipohusodo, I., 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT.SUN.
- Imran, I., 2010. *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB Press.
- Imran, I. F., *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. 2016. Bandung: ITB Press.
- Kresna, F., 2016. *Evaluasi Penggunaan Kolom Miring Pada Struktur Bangunan C-Dast*. Jember: Universitas Jember.
- MacGregor, J., 1997. *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. Third Edition ed. s.l.:Prentice Hall.
- Nawy, E., 1990. *Beton Bertulang-Suatu Pendekatan Dasar, terjemahan Bambang Suryoatmojo*. Bandung: P.T Eresco.
- Setiawan, A., 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sudarmoko, 1996. *Perencanaan dan Analisis Kolom Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Vis, W. d. K. G., 1993. *Dasar- Dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03, Seri Beton 1*. Jakarta: Erlangga.