

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada setiap konstruksi bangunan gedung, semua komponen struktur yang mendukung bangunan tersebut harus dipastikan kuat dan mampu menahan beban yang dipikul oleh struktur bangunan. Komponen struktur itu sendiri terbagi atas dua bagian besar yaitu struktur atas dan struktur bawah, dan yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini hanya dibatasi pada struktur atas saja. Yang termasuk dalam struktur atas itu adalah kolom, balok, dan pelat lantai.

Hal terpenting dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan suatu gedung adalah harus dipastikan gedung tersebut kuat, aman dan nyaman untuk digunakan. Tahan terhadap beban statis dan juga kemungkinan beban yang terjadi akibat bencana alam. Suatu struktur bangunan gedung harus mampu menahan beban yang terjadi, baik beban dari dalam maupun beban dari luar. Oleh karena itu diperlukan suatu perhitungan atau analisis struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*safety*), dan umur rencana bangunan (*durability*).

Pada awalnya struktur bangunan gedung kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbusang ini direncanakan menggunakan struktur baja untuk 7 lantai. Namun dalam proses pelaksanaannya dilakukan perhitungan kembali oleh pihak kontraktor dan didapati bahwa struktur bangunan tidak akan mampu memikul beban yang ada. Karena itulah pelaksanaan pembangunan hanya dilakukan untuk 6 lantai dan dilatarbelakangi hal inilah sehingga dilakukan perencanaan kembali untuk struktur atas dalam penulisan tugas akhir ini.

Untuk material yang digunakan untuk pembangunan gedung kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof Dr. V. L. Ratumbusang ini menggunakan baja yang memiliki kelebihan dan kekurangan dalam penggunaannya. Selain lebih lentur dan lebih ringan dari beton, penggunaan baja juga menghemat waktu pekerjaan. Namun karena struktur yang direncanakan pada awalnya tidak memenuhi syarat kekuatan, maka dalam penulisan tugas akhir ini akan direncanakan kembali dan dimodifikasi dengan menggunakan struktur beton bertulang.

1.2 Maksud dan Tujuan Penulisan

Maksud penulisan tugas akhir ini adalah merencanakan dan mendesain kembali struktur atas gedung kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbuysang yang meliputi kolom, balok dan pelat lantai dengan menggunakan material beton bertulang.

Adapun tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung gaya-gaya yang bekerja pada gedung kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbuysang dengan program ETABS v.9.7.0 dan perhitungan manual menggunakan metode Cross.
- b. Merencanakan dimensi dan penulangan struktur atas (kolom, balok dan pelat lantai) material beton bertulang dengan gaya dalam dari perhitungan metode Cross
- c. Merencanakan dimensi dan penulangan struktur atas (kolom, balok dan pelat lantai) material beton bertulang dengan gaya dalam dari perhitungan dengan program ETABS 9.7.0

1.3 Pembatasan Masalah

Masalah yang akan penulis bahas pada penulisan Tugas Akhir ini meliputi:

- a. Berapa besar gaya-gaya yang bekerja pada gedung kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbuysang?
- b. Bagaimana dimensi dan penulangan struktur atas berdasarkan gaya dalam dari hitungan metode Cross?
- c. Bagaimana dimensi dan penulangan struktur atas berdasarkan gaya dalam dari hitungan dengan program ETABS 9.7.0 ?

1.4 Metode Penelitian

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini metode yang digunakan penulis adalah:

- a. Studi Pustaka
Mempelajari literatur yang berkaitan tentang:
 - Mekanika teknik;
 - Program ETABS;
 - Desain struktur yang menunjang materi tugas akhir.

b. Analisis Data

1. Menghitung gaya-gaya dalam struktur dengan aplikasi program *software* ETABS juga perhitungan manual metode Cross.
2. Merencanakan dan menghitung dimensi tulangan struktur atas dengan analisis hasil *output* gaya-gaya dalam program *software* ETABS dan perhitungan manual dengan metode Cross.
3. Menghitung penulangan dan menggambar desain dengan aplikasi program *software* AutoCAD.
4. Hasil akhir diperoleh perhitungan struktur dengan dimensinya dan penulangan.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, dibuat sistematika penulisan yang diharapkan dapat mempermudah pembaca memahami tulisan ini. Berikut ini adalah sistematika penulisan Tugas Akhir penulis:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang penulisan, maksud dan tujuan penulisan tugas akhir, pembatasan masalah, metode penelitian yang digunakan dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II DASAR TEORI

Merupakan bab yang membahas tentang teori-teori yang melandasi penulisan tugas akhir ini.

BAB III PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang uraian dari judul tugas akhir yang diangkat yaitu tentang perhitungan gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur, dimensi elemen struktur atas (kolom, balok dan pelat) dan penulangan elemen struktur tersebut.

BAB IV PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari seluruh hasil perhitungan dan pembahasan dalam tugas akhir, dan juga saran yang berkaitan dengan kesimpulan yang diambil dalam tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Beton

Beton di definisikan sebagai “campuran antara semen portland atau semen hidrolok yang lain, agregat halus, *agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan pembentuk massa padat*” (SK SNI T-15-1991-03). Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja dari beton yang di buat. Pemilihan material yang memenuhi persyaratan sangat penting dalam perencanaan beton, sehingga di peroleh kekuatan yang optimum. Selain itu kemudahan pekerjaan (workabilitas) juga sangat di butuhkan pada perancangan beton. Meskipun suatu struktur beton di rancang agar mempunyai kuat tekan yang tinggi, tetapi jika rancangan tersebut tidak dapat di implementasikan di lapangan karna sulit untuk di kerjakan, maka rancangan tersebut menjadi percuma.

Beton mempunyai kuat tekan yang besar sementara kuat tarikmya kecil. Krena itu struktur untuk struktur bangunanbeton selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi. Beton ditambah dengan tulangan baja menjadi beton bertulang dan jika ditambah lagi dengan baja prategang akan menjadi beton pratekan. (Nugraha, 2007)

Dalam perkembangannya banyak ditemukan beton baru hasil modifikasi, seperti beton ringan, beton semprot, beton fiber, beton berkekuatan sangat tinggi, beton mampat sendiri, dan lain-lain. Saat ini beton merupakan bahan bangunan yang paling banyak di pakai di dunia.

2.2 Kelebihan Beton

Kelebihan dari beton antara lain :

- Material yang digunakan untuk menyusun beton dapat menggunakan bahan-bahan lokal kecuali semen portland sehingga menyebabkan anggaran untuk membuat beton relatif murah.
- Biaya perawatan termasuk rendah karena beton tahan aus dan tahan api.
- Beton termasuk bahan yang berkekuatan tekan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap perkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.

- Beton bertulang memiliki dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan beton tak bertulang atau pasangan batu.
- Beton segar dapat dengan mudah di angkut maupun di cetak dalam bentuk apapun dan ukuran seberapapun tergantung keinginan.

2.3 Kekurangan Beton

Adapun kekurangan beton adalah sebagai berikut :

- Beton perlu diperkuat dengan tulangan baja karena memiliki kuat tarik yang rendah.
- Harus ada dilatasi pada beton yang panjang dan lebar karena sifat beton yang mengerut pada saat pengeringan dan beton keras dapat mengembang jika basah, sehingga ada celah untuk beton mengembang dan mengerut.
- Selain tujuan diatas, dilatasi juga harus ada untuk mencegah retak-retak karena beton keras dapat mengembang dan menyusut akibat perubahan suhu.
- Beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat di masuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusak beton.
- Bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung di detail secara saksama agar setelah di kombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil, terutama pada struktur tahan gempa.

2.4 Pembebanan Pada Struktur

Pembebanan pada struktur bangunan merupakan salah satu hal terpenting dalam perencanaan sebuah gedung. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada perhitungan akan mengakibatkan kesalahan yang fatal pada hasil desain bangunan tersebut. Untuk itu dibutuhkan ketelitian dalam merencanakan pembebanan pada struktur agar bangunan yang didesain tersebut aman pada saat dibangun dan digunakan. Beban memiliki definisi utama yaitu sebagai sekelompok gaya yang bekerja pada suatu luasan struktur.

2.4.1 Jenis-jenis Beban

Jenis-jenis beban yang biasa diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati q_d (*Dead Load / DL*).

Beban mati merupakan berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari struktur itu. Yang termaksud beban mati adalah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya struktur berdiri.

Tabel 2.1 dibawah ini berisi tentang beban mati pada struktur.

Tabel 2.1 Beban Mati pada Struktur.

Beban Mati	Besar Beban
Batu alam	2600 kg/cm ³
Beton bertulang	2400 kg/cm ³
Dinding pasangan 1/2 bata	250 kg/cm ²
Langit-langit + penggantung	18 kg/cm ²
Lantai ubin	24 kg/cm ²
Spesi per cm tebal	21 kg/cm ²

Sumber: *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*

2. Beban Hidup q_l (*Life Load / LL*).

Beban hidup merupakan beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Meski dapat berpindah-pindah, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja perlahan-lahan pada struktur. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung oleh banyak faktor. Oleh karena itu faktor beban-beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Beban hidup pada struktur ditunjukkan seperti pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Beban Hidup pada Struktur.

No	Beban Hidup Lantai Bangunan	Besar beban (kg/m ²)
1	kantor dan sarana penunjang	250
2	balkon luar	300
3	lantai ruang mesin, dan bangsal	400
4	tangga dan bordes	300
5	lantai leufel	100
6	atap	100

Sumber : *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*

3. Beban Gempa

- Tipe Profil Tanah

SNI 03-1726-2002 menetapkan bahwa ada 4 macam jenis tanah yaitu keras, sedang, lunak dan khusus berdasarkan karakteristik dari lapisan tanah setebal maksimum 30m paling atas dipenuhi syarat-syarat yang tercantum dalam tabel 4 :

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah

Jenis Tanah	Kecepatan rambat gelombang geser rata-rata, V_s (m/det)	Nilai hasil tes penetrasi standar rata-rata, N	Kuat geser niralir rata-rata, S_u (kPa)
Tanah keras	$V_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_u \geq 100$
Tanah sedang	$175 \leq V_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
Tanah lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
	Atau setiap profil dengan tanah lunak yang tebal total lebih dari 3m dengan $PI > 20$, $w_n > 40\%$ dan $S_u < 25\text{kPa}$		
Tanah khusus	Dapat dievaluasi khusus di setiap lokasi		

Sumber : SNI 03-1726-2002

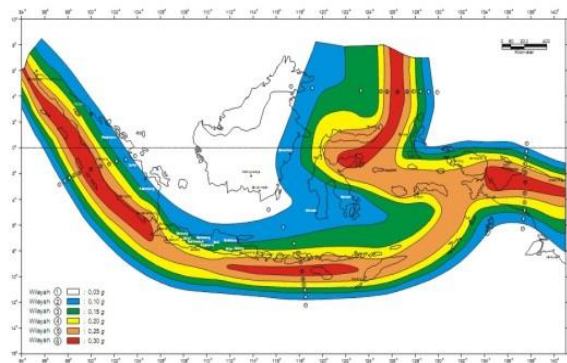
- Wilayah Gempa

Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini, dimana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan potensi gempa paling rendah dan wilayah gempa 6 adalah wilayah dengan potensi gempa paling tinggi.

Penentuan lokasi akan berpengaruh terhadap perhitungan beban gempa. Oleh sebab itu dalam hal pembebanan gempa, perencanaan struktur gedung diwilayah gempa 1 akan jauh berbeda dengan wilayah gempa 6. Hal ini disebabkan oleh pembagian wilayah gempa didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang memiliki nilai rata-rata berbeda di masing-masing lokasi.

Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah ditetapkan juga sebagai percepatan minimum yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur gedung untuk menjamin kekekaran minimum dari struktur tersebut.

Bangunan yang direncanakan berlokasi di Manado yang termasuk dalam wilayah gempa 5 di area berwarna oranye muda pada gambar pembagian wilayah gempa.



Gambar 2.1 Pembagian Wilayah Gempa Indonesia
(Sumber : SNI 03-1726-2002)

- Kategori Gedung

Setiap bangunan mempunyai kategori sesuai fungsinya. Kategori bangunan adalah rumah sakit. Dan untuk gedung umum sesuai dengan SNI 03-1726-2002 pasal 4.1 pada tabel 1 faktor keutamaannya (I) adalah 1,4.

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gedung

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan menumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televise	1,4	1,0	1,4

Lanjutan Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gedung

Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam bahan beracun	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara	1,5	1,0	1,5

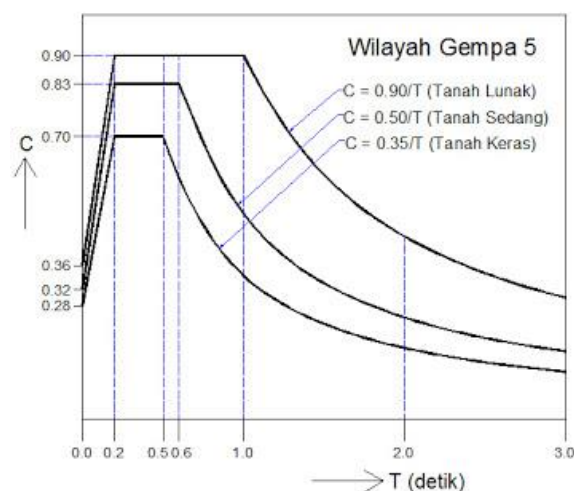
Sumber : SNI 03-1726-2002

- Daktilitas Struktur

Daktilitas struktur terbagi menjadi 2 parameter yaitu faktor daktilitas simpangan (μ) dan faktor reduksi gempa (R). Daktilitas simpangan (μ) menyatakan ratio simpangan diambang keruntuhan (δ_m) dan simpangan pada saat terjadinya pelelehan pertama. Faktor reduksi gempa adalah ratio beban gempa rencana dan beban gempa nominal. Faktor reduksi gempa merupakan indikator kemampuan daktilitas struktur gedung. Nilai μ dan R terdapat pada pasal 4.3 tabel 3 SNI 03-1726-2002. Jenis sistem struktur bangunan yang direncanakan kali ini adalah sistem pemikul rangka momen khusus (SPRMK), maka nilai Faktor Reduksi gempa yang digunakan adalah 8,5.

- Faktor Respon Gempa

Faktor respon gempa (C) dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung. Faktor respon gempa dapat ditentukan berdasarkan pasal 4.7.4 Gambar 2 Respon Spektrum Gempa Rencana SNI 03-1726-2002. Nilai (C) yang digunakan adalah 0,43 yang disesuaikan dengan wilayah gempa 5 dan nilai T adalah 0,69.



Gambar 2.2 Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah 5

Sumber : SNI 03-1726-2002

- **Beban Gempa Nominal**

Struktur gedung beraturan dapat direncanakan terhadap beban gempa nominal akibat pengaruh beban gempa rencana terhadap arah sumbu utama denah struktur gedung rencana. Beban gempa nominal statik ekuivalen ditetapkan dalam pasal 6 SNI 03-1726-2002. Beban gempa nominal dapat dihitung dari hasil perhitungan gaya geser dasar nominal yaitu :

$$V = C \cdot I \cdot W / R \quad (1)$$

Dimana :

V : Gaya geser dasar nominal

C : Faktor respon gempa

I : Faktor keutamaan gedung

W : Berat total gedung termasuk beban hidup yang bekerja

Gaya geser dasar nominal (V) didistribusikan sepanjang tinggi struktur gedung rencana sebagai beban gempa nominal statik ekuivalen (F) yang bekerja pada pusat massa lantai tingkat ke I berdasarkan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} \times V \quad (2)$$

Dimana :

F_i : Gempa nominal statik ekuivalen

W_i : Berat lantai tingkat I ke I termasuk beban hidup

Z_i : Ketinggian lantai tingkat ke I diukur dari taraf penjepitan lantai

2.5 Elemen-elemen Struktur

Elemen-elemen struktur yang dapat dijumpai pada struktur bangunan secara khusus struktur atas adalah kolom, balok dan pelat lantai.

2.5.1 Kolom

Menurut Sudarmoko (1996), kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. 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 lantai

yang bersangkutan dan juga runtuh total seluruh struktur.

Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan beban bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin.

Kolom harus di rencanakan untuk memikul beban aksial berfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban berfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang di tinjau. Untuk konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus di perhitungkan. Kolom bertulang hampir selalu mengalami lentur, selain juga gaya aksial, sebagai akibat kondisi pembebanan dan hubungan dengan elemen struktur lain.

Elemen struktur kolom mempunyai nilai perbandingan antara panjangnya dengan dimensi penampang melintang relatif kecil di sebut kolom pendek dan kegagalannya di tentukan oleh tekuk. Dalam perhitungan momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom dapat di anggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu dengan komponen struktur lainnya. Momen yang bekerja di setiap level lantai atau atap harus di pada kolom atas dan di bawah berdasarkan kekakuan relatif kolom.

Perbandingan b/h dari kolom tidak < dari 0,3 dan dimensi minimumnya = 300 mm. diameter tulangan yang di gunakan pada kolom harus > 12 mm. diameter minimum sengkang untuk kolom harus 8mm. lusan tulangan minimum untuk beban = 1% dari luas penampang dan luas tulangan maksimumnya = 6%.

Semua dimensi kolom berbentuk bujur sangkar dengan lebar minimal sama dengan lebar balok yang di tumpuhnya, dan harus memenuhi ketentuan pada "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*" pasal 3.14.4 ayat 1.

$$\frac{b}{h} \geq 0,4 \text{ dan } \frac{L}{b} \leq 16 \quad (3)$$

dimana :

b = dimensi penampang terpendek (mm)

h = dimensi penampang yang tegak lurus penampang terpendek (mm)

L = tinggi kolom (mm)

Langkah selanjutnya adalah menentukan rencana tulangan kolom dengan menggunakan kurva diagram interaksi, sebagai berikut:

- Menentukan luas penampang bruto kolom (A_{gr}).

$$A_{gr} = b \times h \quad (3)$$

- Menentukan nilai sumbu vertikal.

$$\frac{P_u}{\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c} \quad (4)$$

dimana: P_u adalah beban aksial kolom

- Menentukan nilai sumbu horisontal.

$$\frac{P_u}{\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c} \times \frac{e_t}{h} \quad (5)$$

- Menentukan nilai d'/h (6)

- Plot nilai sumbu vertikal dan sumbu horizontal sehingga didapatkan nilai r .

- Tentukan nilai presentase tulangan (ρ) dengan $\rho = r \times \beta$ (nilai β tergantung dari mutu beton f'_c . Untuk f'_c 30 MPa $\beta = 1,2$). (7)

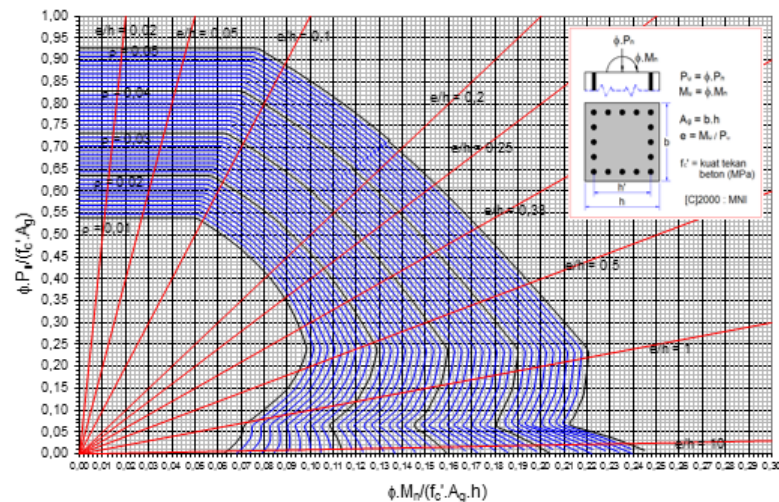
- Pembatasan rasio tulangan, dimana:

$$\rho_{maks} = 0,06 A_{gr} \quad (8)$$

$$\rho_{min} = 0,01 A_{gr} \quad (9)$$

- Menentukan luas tulangan (A_s).

$$A_s = \rho_{desain} \times A_{gr} \quad (10)$$



Gambar 2.3 Grafik Interaksi Kolom

Sumber : Ray Norman, Kolom Beton Bertulang

2.5.2 Balok

Menurut Nawy (1998) balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban dari plat lantai ke penyangga yang vertikal. Balok merupakan elemen struktur yang didesain untuk menahan gaya-gaya yang bekerja secara transversal terhadap sumbunya sehingga mengakibatkan terjadinya momen lentur dan gaya geser sepanjang bentangnya.

Balok merupakan bagian struktur bangunan yang penting dan bertujuan untuk memikul beban transversal yang dapat berupa beban lentur, geser, maupun torsi. Oleh karena itu perencanaan balok yang efisien, ekonomis dan aman sangat penting untuk suatu struktur bangunan terutama struktur bertingkat tinggi atau struktur berskala besar.

Balok berfungsi sebagai pendukung beban vertikal dan horizontal. Beban vertikal berupa beban mati dan beban hidup yang diterima plat lantai, berat sendiri balok dan berat dinding penyekat yang di atasnya. Sedangkan beban horizontal berupa beban angin dan gempa.

Balok harus mempunyai perbandingan lebar/tinggi $> 0,3$ dan lebar balok harus lebih besar dari 250 mm dan tidak boleh lebih besar dari kolom yang mendukungnya di tambah $\frac{3}{4}$ kali tinggi balok.

Syarat dimensi awal balok harus memenuhi ketentuan pada “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*” Tabel 3.2.5(a) dan pasal 3.14.3 ayat 1.

Syarat minimum :

untuk balok dengan dua tumpuan sederhana

$$h_{\min} = \frac{L}{12} \quad (11)$$

$$b_{\min} = \frac{b}{h} \geq 0,3 \quad (12)$$

dimana :

b = lebar penampang balok (mm)

h = tinggi penampang balok (mm)

L = panjang bentang balok, di ukur dari As ke As (mm)

Setelah proses *preliminary design* balok selesai, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai-nilai dibawah ini berdasarkan hasil Mu (momen negatif max. di tumpuan) hasil *output* gaya-gaya dalam ETABS, yang kemudian akan menghasilkan dimensi tulangan pada balok di tumpuan dan lapangan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, nilai-nilai yang harus ditentukan untuk mendapatkan dimensi tulangan tersebut adalah sebagai berikut:

- Menentukan Mu (momen negatif max. di tumpuan)
- Menentukan ρ_{balance}

$$\rho_{\text{balance}} (\rho_b) = \beta_1 \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (13)$$

- Menentukan ρ_{min}

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (14)$$

- Menentukan ρ_{max}

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_b \quad (15)$$

- Menentukan nilai Mn perlu

$$Mn \text{ perlu} = \frac{Mu}{\phi} \quad (16)$$

- Menentukan Rn

$$Rn = \frac{Mn \text{ perlu}}{b \times d^2} \quad (17)$$

- Menentukan m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \quad (18)$$

- Menentukan ρ perlu

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (19)$$

- Menentukan A_s perlu

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (20)$$

- Menentukan jumlah tulangan n

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4\pi} \times D_{\text{tul}}^2} \quad (21)$$

- Menentukan A_s ada

$$A_s \text{ ada} = 4 \times \frac{1}{4\pi} \times D_{\text{tul}}^2 \quad (22)$$

- Menentukan nilai a

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times B} \quad (23)$$

- Menentukan M_n ada

$$M_n \text{ ada} = A_s \text{ ada} \times f_y \times (d - a/2) \quad (24)$$

Catatan: syarat $M_n \text{ ada} > M_n$

Perhitungan untuk tulangan geser yang berada pada wilayah gempa 5 harus memenuhi persyaratan pada SNI-03-2847-2002 pasal 13 dan 23.10 sebagai berikut:

Perencanaan penampang untuk menahan geser:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (25)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (26)$$

$$\Phi (V_c + V_s) \geq V_u \quad (27)$$

Dimana:

Φ = faktor reduksi kuat geser senilai 0,75

V_u = kuat geser terfaktor

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

B_w = lebar badan balok

d = tinggi efektif balok

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

s = jarak sengkang

2.5.3 Pelat

Pelat adalah komponen struktur yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar dan merupakan panel-panel beton bertulang yang mungkin bertulangan dua atau satu arah saja tergantung sistem strukturnya. Apabila pada struktur pelat perbandingan bentang panjang terhadap lebar kurang, maka akan mengalami lendutan pada kedua arah sumbu. Beban pelat dipikul pada kedua arah oleh empat balok pendukung sekeliling panel plat, dengan demikian pelat menjadi satu plat yang melentur pada kedua arah. Dengan sendirinya pula penulangan untuk pelat tersebut harus menyesuaikan.

Pelat lantai berfungsi untuk menahan beban mati (berat sendiri pelat, beban tegel, beban spesi, beban penggantung, dan beban plafond), serta beban hidup yang bekerja di atasnya, kemudian menyalurkan beban-beban tersebut ke balok dibawahnya.

Tebal plat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan pada “*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*” Pasal 3.2.5 Ayat 3, yaitu:

Menentukan l_{n1} , l_{n2} , β , h_{maks} , h_{min} .

dimana:

l_{n1} = bentang bersih terpanjang, diukur dari muka kolom dan atau balok.

l_{n2} = bentang bersih terpendek, diukur dari muka kolom dan atau balok.

$$\beta = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} \quad (28)$$

$$h_{maks} = l_{n1} \frac{\left(0.8 + \frac{F_y}{1500}\right)}{36} \quad (29)$$

$$h_{min} = l_{n1} \frac{\left(0.8 + \frac{F_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \quad (30)$$

dimana :

β = rasio panjang bentang terpanjang dengan panjang bentang terpendek

F_y = tegangan leleh baja (MPa)

H = tebal plat (mm)

Langkah selanjutnya adalah menyelesaikan perhitungan penulangan plat lantai dengan metode koefisien momen. Langkah-langkah yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Menentukan panel yang akan ditinjau.
- Menentukan tebal plat.
- Menentukan beban-beban yang bekerja.
- Menghitung momen-momen pada panel berdasarkan tinjauan panel dengan rumus: $M = (0,01 \times q \times L_x^2 \times X)$. (31)
- Kontrol perbandingan L_y dan L_x dari masing-masing panel.
- Menentukan momen maksimum yang bekerja dari setiap panel yang ditinjau.
- Desain tulangan plat.
- Menggambar tulangan.

2.6 Metode Cross

Metode Cross atau biasa disebut metode distribusi momen pertama kali diperkenalkan oleh Harry Cross pada tahun 1933 dalam bukunya yang berjudul "Analysis of Continuous Frames by Distributing Fixed-End Moments". Metode ini merupakan salah satu metode yang dipakai untuk analisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu.

Metode distribusi momen didasarkan pada anggapan sebagai berikut:

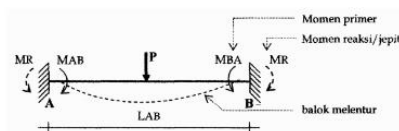
1. Perubahan bentuk akibat gaya normal dan gaya geser diabaikan, sehingga panjang batang-batangnya tidak berubah,
2. Semua titik simpul (buhul) dianggap kaku sempurna.

Langkah-langkah menyelesaikan metode Cross pada balok menerus adalah sebagai berikut :

- 1) Mencari momen primer untuk setiap batang yang terbebani beban luar
- 2) Menentukan faktor kekakuan batang
- 3) Menentukan faktor distribusi untuk setiap titik kumpul
- 4) Menghitung momen ujung jepit (*fixed-end momen*)
- 5) Perataan momen atau distribusi momen Cross tergantung dari pada momen primer didistribusikan sesuai dengan kekakuan yang dinyatakan dengan koefisien distribusi dan faktor pemindah (*carry over factor*) = $\frac{1}{2}$. Perataan momen dengan tabel Cross menghasilkan momen titik (karena diperhatikan dari titik kumpul). Banyaknya kolom pada tabel sama dengan jumlah momen yang akan dihasilkan sesuai bentuk perletakan.
- 6) Untuk perhitungan yang benar akan didapat momen pada satu titik berlawanan tanda atau jumlahnya sama dengan nol.
- 7) Perhitungan reaksi perletakan dengan mengubah momen hasil distribusi menjadi momen batang gambar bidang momen, lintang dan normal.

3.6.1 Momen Primer

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. Momen primer biasanya digambarkan melengkung pada bagian dalam ujung batang dengan arah tertentu sesuai dengan pembebanan.



Gambar 2.4 Momen Primer dan Momen Reaksi

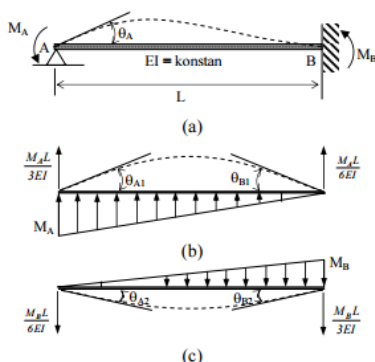
Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

3.6.2 Angka Kekakuan Dan Induksi

Untuk mengembangkan detail tentang prosedur metode distribusi momen (Cross), perlu diketahui beberapa hal yang akan di kemukakan berikut ini.

Jika momen M_A dikerjakan pada ujung sendi dari suatu balok yang memiliki momen inersia seragam, dimana menumpu pada sendi pada salah satu ujungnya dan

jepit di ujung lainnya seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.5 (a) maka pada ujung sendi akan terjadi rotasi sebesar θ_A dan momen M_B pada ujung jepitnya.



Gambar 2.5 Penentuan Angka Kekakuan Dan Angka Induksi Ujung Jepit
 Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

Diagram momen lentur balok tersebut dapat diuraikan menjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5 (b) dan (c). Berdasarkan teorema balok konjugasi, besarnya $\theta_B = \theta_{B1}$

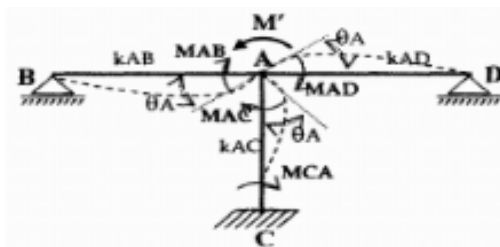
$$- \theta_{B2} = \frac{MAL}{6EI} - \frac{MBL}{3EI} = 0$$

maka diperoleh :

$$M_B = \frac{1}{2} M_A \tag{31}$$

3.6.3 Faktor Distribusi Momen

Apabila struktur portal bekerja momen primer sebesar M' di simpul A (gambar 2.6), maka di masing-masing ujung batang simpul A akan terjadi distribusi momen sebesar M_{AB} , M_{AC} , dan M_{AD} dengan arah berlawanan momen primer M' . Hal ini terjadi karena simpul A kaku sempurna, sehingga batang-batang berputar menurut garis elastisnya guna mendapatkan keseimbangan.



Gambar 2.6 Contoh Distribusi Momen
 Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

Faktor distribusi diperhitungkan terhadap titik kumpul (titik pertemuan 2 batang atau lebih)

$$\mu = \frac{K}{\Sigma K} \quad (32)$$

K = faktor kekakuan batang

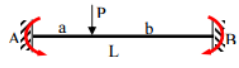
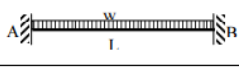
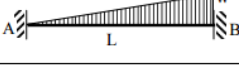
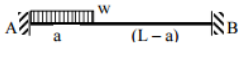
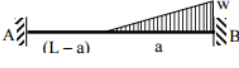
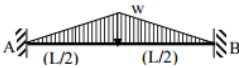
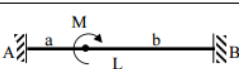
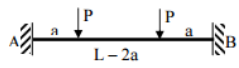
Σk = jumlah faktor kekakuan titik kumpul

Untuk memenuhi persyaratan keseimbangan pada titik buhul, jumlah angka distribusi pada suatu titik buhul adalah harus sama dengan satu, misalnya pada titik buhul A yang di tinjau seperti pada gambar 2.10 di atas maka jumlah AB + AD + AC harus sama dengan 1.

3.6.4 Momen Ujung Jepit (*Fixed-end Moment*)

Jika suatu balok yang tumpuannya adalah jepit-jepit untuk melawan rotasi atau traslasi menerima beban luar arah transversal, maka balok tersebut dinamakan dengan balok ujung jepit (*fixed-end beam*). Momen yang bekerja akibat beban luar ini di sebut dengan momen ujung jepit (*Fixed-end Moment*).

Tabel 2.5 Beberapa Jenis Momen Ujung Jepit (FEM)

FEM _{AB}	Pembebanan	FEM _{BA}
$\frac{Pab^2}{L^2}$		$-\frac{Pa^2b}{L^2}$
$\frac{wL^2}{12}$		$-\frac{wL^2}{12}$
$\frac{wL^2}{30}$		$-\frac{wL^2}{30}$
$\frac{wL^2}{12} \left(6 - 8\frac{a}{L} + 3\frac{a^2}{L^2} \right)$		$-\frac{wL^2}{12} \left(4 - 3\frac{a}{L} \right)$
$\frac{wa^3}{60L} \left(5 - 3\frac{a}{L} \right)$		$-\frac{wa^2}{60} \left(16 - 10\frac{a}{L} + 3\frac{a^2}{L^2} \right)$
$\frac{5wL^2}{96}$		$-\frac{5wL^2}{96}$
$-b(2a-b)\frac{M}{L^2}$		$-a(2b-a)\frac{M}{L^2}$
$\frac{Pa}{L}(L-a)$		$-\frac{Pa}{L}(L-a)$

Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

3.6.5 Perataan momen (Distribusi momen Cross)

Perataan momen atau distribusi momen Cross tergantung dari pada momen primer didistribusikan sesuai dengan kekakuan yang dinyatakan dengan koefisien distribusi dan faktor pemindah (*carry over factor*) = $\frac{1}{2}$. Perataan momen dengan tabel Cross menghasilkan momen titik (karena diperhatikan dari titik kumpul). Banyaknya kolom pada tabel sama dengan jumlah momen yang akan dihasilkan sesuai bentuk perletakan.

Berikut merupakan langkah-langkah penyelesaian hitungan perataan momen dengan bantuan Microsoft Excel :

1. masukkan nama titik kumpul (*joint*) ke baris yang telah disiapkan dalam tabel
2. masukkan nama batang (*member*) ke baris yang telah disiapkan dalam tabel
3. masukkan nilai kekakuan relatif (K) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel
4. masukkan faktor distribusi (DF) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel
5. masukkan momen primer (FEM) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel,
6. hitung besarnya "momen pengimbang" (BAL) pada baris yang telah disiapkan dalam tabel (ingat $BAL = -\mu \times M^0$),
7. hitung besarnya momen induksi (CO) pada baris yang telah disiapkan dalam tabel (ingat induksi terjadi "(CO " adalah sebesar " $\frac{1}{2}$ " dari besarnya moment pada batang yang sama), dan
8. selanjutnya dikerjakan dengan cara yang untuk masing-masing siklus (*cycle*), dengan cara meng-copy rumus perhitungannya.

3.6.6 Reaksi Perletakan

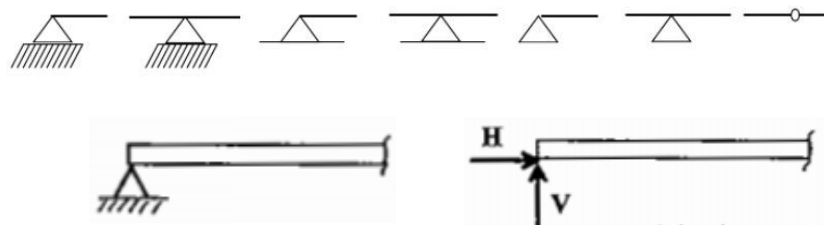
Perletakan/tumpuan adalah titik pertemuan yang berfungsi sebagai landasan seperti yang ada pada pertemuan pada bentang balok dengan kolom atau sebaliknya. Titik pertemuan ini yang dianggap sebagai perletakan/tumpuan. Penggunaan jenis perletakan/tumpuan ini tergantung pada sistem struktur yang diingini dan biasanya yang digunakan berupa kombinasi perletakan/tumpuan.

Terdapat 3 macam perletakan/tumpuan dasar, yaitu :

1. Perletakan/ tumpuan sendi, ciri-cirinya :

- a) Perletakan/tumpuan ini mencegah translasi tetapi tidak mencegah rotasi, dengan kata lain dapat menahan gaya dari segala arah, tetapi tidak dapat menahan momen (perputaran)
- b) Tumpuan ini mempunyai dua komponen, yang satu dalam arah horizontal (gaya arah sejajar bidang perletakan) dan yang lainnya dalam arah vertikal (gaya arah tegak lurus bidang perletakan). Jadi, pada tumpuan ini terdapat 2 reaksi perletakan (2 variabel yang tidak diketahui).

Simbol atau tanda perletakan sendi :

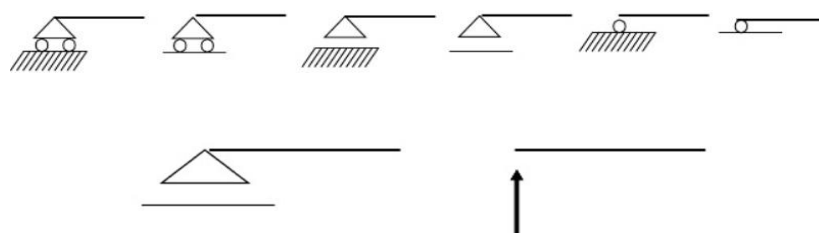


Gambar 2.7 Permodelan Perletakan/Tumpuan Sendi
Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

2. Perletakan/ tumpuan rol, ciri-cirinya :

- a) Tumpuan ini hanya bisa menahan gaya vertikal saja (mencegah translasi dalam arah gaya tegak lurus bidang perletakan), sebab apabila menerima gaya horisontal, rol akan bergerak atau bergeser sesuai arah gaya yang bekerja.
- b) Tumpuan ini mempunyai satu komponen, dalam arah gaya tegak lurus bidang perletakan. Jadi, pada tumpuan ini terdapat 1 reaksi perletakan (1 variabel yang tidak diketahui).

Simbol atau tanda perletakan/tumpuan rol :

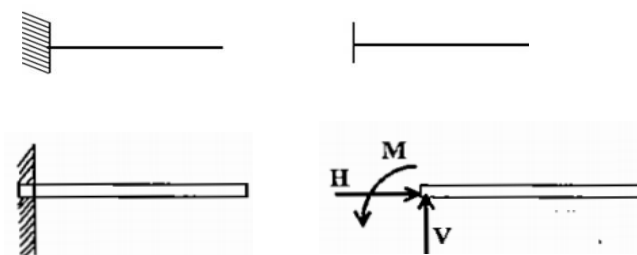


Gambar 2.8 Permodelan Perletakan/Tumpuan Rol
Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

3. Perletakan/ tumpuan jepit, ciri-cirinya :

- a) Perletakan/tumpuan ini sering disebut perletakan kaku, artinya tidak dapat mengalami translasi (perpindahan) dalam semua arah dan tidak dapat mengalami rotasi (perputaran).
- b) Tumpuan ini mampu menahan gaya arah sejajar bidang perletakan (gaya horisontal) dan gaya tegak lurus bidang perletakan (gaya vertikal), serta mampu menahan momen. Jadi, pada tumpuan ini terdapat 3 reaksi perletakan. (3 variabel yang tidak diketahui).

Simbol atau tanda perletakan/tumpuan jepit :



Gambar 2.9 Permodelan Perletakan/Tumpuan Jepit
 Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

Langkah perhitungan reaksi perletakan :

- a) Sketsa kembali
- b) Periksa apakah struktur tersebut statis tertentu dan stabil.
- c) Jika struktur tersebut statis tertentu dan stabil, maka misalkan arah kerja reaksi perletakan sesuai dengan jenis perletakan dan beri nama setiap reaksinya sesuai dengan titik dimana reaksi itu bekerja.
- d) Uraikan semua gaya yang diperlukan (misalnya gaya yang miring dan beban terbagi rata)
- e) Hitung reaksi dengan persamaan keseimbangan :
 - $\Sigma V = 0$ (Jumlah komponen vertikal gaya sama dengan nol)
 - $\Sigma H = 0$ (Jumlah komponen horisontal gaya sama dengan nol);
 - $\Sigma M = 0$ (Jumlah momen disekitar suatu titik tertentu sama dengan nol).
- f) Kontrol hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan yang belum pernah dipakai dalam perhitungan struktur yang sedang dihitung reaksi perletakannya.

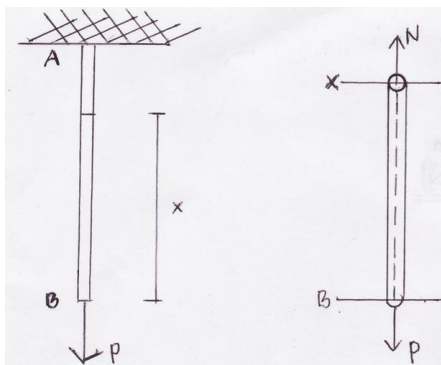
3.6.7 Gaya- gaya Dalam

Gaya dalam adalah gaya rambat yang diimbangi oleh gaya yang berasal dari bahan konstruksi, berupa gaya lawan, dari konstruksi.

Analisa hitungan gaya dalam dan urutan hitungan ini dapat diuraikan secara singkat sebagai berikut :

- 1) Menetapkan dan menyederhanakan konstruksi menjadi suatu sistem yang memenuhi syarat yang diminta.
- 2) Menetapkan muatan yang bekerja pada konstruksi. Menghitung keseimbangan luar.
- 3) Menghitung keseimbangan luar.
- 4) Menghitung keseimbangan dalam.
- 5) Memeriksa kembali semua hitungan.

Dengan syarat demikian konstruksi yang dibahas akan digambarkan sebagai suatu garis sesuai dengan sumbu konstruksi, yang selanjutnya disebut : *Truktur* misalkan pada balok dijepit salah satu ujungnya dibebani oleh gaya P seperti dalam gambar 2.10.

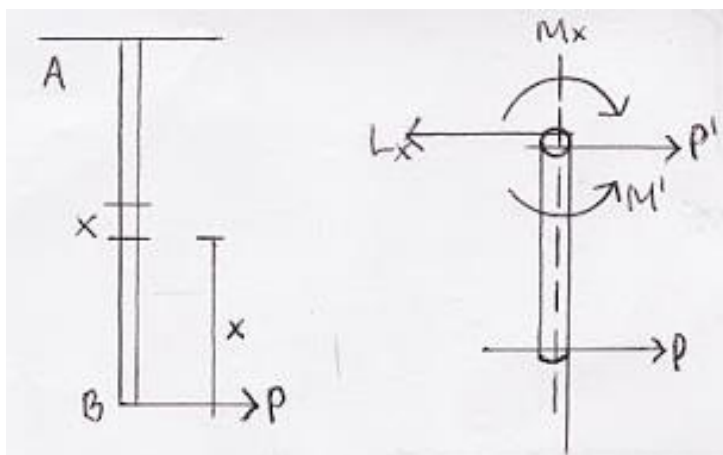


Gambar 2.10 Balok Dengan Dengan Tumpuan Jepit

Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

Maka dapat diketahui dalam konstruksi tersebut timbul gaya dalam. Apabila konstruksi dalam keadaan seimbang, maka pada suatu titik X sejauh x dari B akan timbul gaya dalam yang mengimbangi P . Gaya dalam yang mengimbangi gaya aksi ini tentunya bekerja sepanjang sumbu batang sama besar dan mengarah berlawanan dengan gaya aksi ini. Gaya dalam ini di sebut gaya Normal (N).

Bila gaya aksi berbalik arah maka berbalik pula arah gaya normalnya. Nilai gaya normal di titik X ini dinyatakan sebagai N_x .



Gambar 2.11 Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Balok
Sumber : *Materi Ajar Mekanika Rekayasa III Metode Cross*

Gambar 2.11 menggambarkan gaya P yang merambat sampai titik X dan menimbulkan gaya sebesar P' dan M' . Apabila struktur dalam keadaan seimbang maka tiap-tiap bagian harus pula dalam keadaan seimbang. Selanjutnya gaya P' dan M' harus pula diimbangi oleh suatu gaya dalam yang sama besar dan berlawanan arah, yaitu gaya dalam L_x dan M_x . Gaya tersebut merupakan sumbangan dari bagian XA yang mengimbangi $P'M'$. Gaya dalam yang tegak lurus sumbu disebut Gaya lintang, disingkat L_x dan momen yang menahan lentur pada bagian ini disebut disebut momen lentur (M_x).

2.7 Program ETABS v 9.7.0

2.7.1 Sejarah Singkat Program Etabs

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) merupakan suatu program yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat yang dikembangkan oleh perusahaan *Computers and Structures, Incorporated* (CSI) yang berlokasi di Berkeley, California, Amerika Serikat. Berawal dari penelitian dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di University of California, Berkeley Amerika Serikat, maka pada tahun 1975 didirikan perusahaan CSI oleh Ashraf Habibullah.

Selain program analisis struktur ETABS, ada beberapa program yang

dikembangkan oleh CSI diantaranya program SAP, dan program SAFE. Ketiga program ini sudah dipakai dan diaplikasikan (teruji) di lapangan oleh konstruksi-konstruksi di lebih dari 100 negara di dunia.

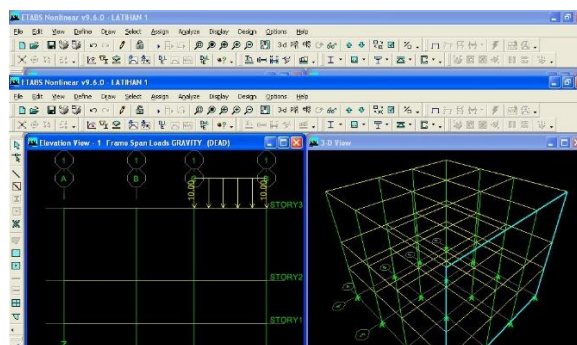
Program ETABS digunakan secara spesialis untuk analisis struktur *high rise building* seperti bangunan perkantoran, apartemen, rumah sakit, dan lain sebagainya. Dengan tampilan yang menarik dan aplikasi yang mudah digunakan, program ETABS akan sangat membantu dalam merencanakan serta menganalisis suatu struktur bangunan gedung berlantai banyak.

Program ETABS sendiri telah teruji aplikasinya di lapangan. Di Indonesia sendiri, konsultan-konsultan perencana struktur ternama telah menggunakan program ini untuk analisis struktur dan banyak gedung yang telah dibangun dari hasil perencanaan tersebut.

2.7.2 Kelebihan dan Kekurangan *Software* Etabs

Kelebihan *Software* ETABS adalah memiliki ketepatan mendesain dan menganalisis gedung bertingkat banyak karena bisa menghitung joint yang lebih banyak daripada aplikasi software lainnya, sebut saja software SAP2000 yang unggul pada pendesainan jembatan. Software ETABS disarankan dalam mendesain atau menganalisis kekuatan struktur bangunan berlantai banyak yang simetris, karena hasil *output* lebih efisien, ekonomis, dan teruji.

Kekurangan *software* ETABS adalah hanya lebih akurat digunakan pada proses desain dan analisis bangunan gedung saja, tetapi untuk ketepatan dan keunggulan dalam pendesaian jembatan dan bentuk struktur yang tidak simetris, software SAP jauh lebih unggul dan disarankan untuk dipakai daripada software ETABS.



Gambar 2.12 Contoh Pemodelan ETABS

Sumber : *Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung Dengan ETABS*

Adapun sistem struktur yang di desain dalam Tugas Akhir ini berbentuk simetris, sehingga untuk perencanaan maupun analisis struktur ini, penulis memilih aplikasi *software* ETABS, untuk menganalisis gaya-gaya dalam struktur yang kemudian berdasarkan gaya-gaya dalam tersebut akan direncanakan dimensi tulangan dari struktur yang dibahas.

Dipilihnya *software* ini karena ketepatan dari perencanaan serta analisis struktur telah terbukti lebih baik dibandingkan dengan aplikasi *software* lainnya ditinjau dari kekuatan sampai hasil akhir dimensi penulangan yang keluar terbukti lebih efisien dan ekonomis.

BAB III PEMBAHASAN

3.1 Data Proyek

Berikut ini data-data proyek Pembangunan Gedung Kesehatan Rumah Sakit Prof. Dr. V. L. Ratumbuysang:

- | | |
|----------------------|--|
| 1. Pekerjaan | : Pembangunan Gedung Kesehatan Rumah Sakit Prof. V. L. Ratumbuysang (Lanjutan) |
| 2. Lokasi | : Jl. Bethesda No 77, Manado |
| 3. Sumber Dana | : APBN Murni |
| 4. Nomor Kontrak | : 4.1/RSJR-TA/21/2015 |
| 5. Tanggal Kontrak | : 19 Agustus 2015 |
| 6. Tahun Anggaran | : 2015 |
| 7. Nilai Kontrak | : Rp. 18.123.439.120,99 |
| 8. Waktu Pelaksanaan | : 120 Hari Kalender |
| 9. Pelaksana | : PT. Liando Beton Indonesia |
| 10. Pengawas | : PT Bintang Perkasa Sejati |

3.2 Preliminary Desain

3.2.1 Preliminary Design Kolom

Dimensi kolom tipikal setiap lantai berbentuk persegi panjang atau bujur sangkar dengan lebar diambil minimal sama dengan lebar balok yang ditumpunya dan harus memenuhi ketentuan SNI 03-2847-2002, pasal 3.14.4 sebagai berikut:

$B_{min} = 350$ mm, dimana:

$$\frac{b}{h} \geq 0,4 \quad \text{dan} \quad \frac{L}{b} \leq 16$$

Lantai 1-6 (K)

Untuk $b = 500$ mm

$$h = \frac{b}{0,5} = \frac{500}{0,5} = 1000 \text{ mm}$$

Cek $L = 5000$ mm

$$L/b = \frac{5000}{500} = 10 \text{ mm}$$

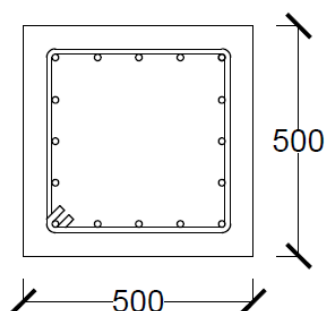
syarat: $L/b \leq 16$

$10 \leq 16$ sudah *memenuhi syarat*

syarat umum: $b \leq h$

Dari hasil perhitungan preliminary design kolom di peroleh dimensi kolom 500mm x 500mm.

Dari preliminary desain ditentukan ukuran kolom yang akan digunakan adalah kolom beton bertulang dengan ukuran seperti pada Gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1 Ukuran Kolom Preliminary Desain

3.2.2 Preliminary Design Balok

Perencanaan balok berdasarkan SNI 03-2847-2002, tabel 8 hal. 63 dengan persyaratan tebal minimum h sebagai berikut:

$H_{min} = L/12$ untuk balok dengan satu ujung menerus.

$$b_{min} = 250 \text{ mm dan } \frac{b}{h} \geq 0.3$$

$$\text{dik: } L_x = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$$

$$L_y = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$$

Persyaratan minimum:

$$H_{min} = L/12 = 600/12 = 50 \text{ cm} = 500 \text{ mm (direncanakan 500 mm)}$$

$$B = 2/3 H = 2/3 \times 500 \text{ mm} = 335 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

$$\text{syarat: } B_{min} = 350 \text{ mm} \quad b/h \geq 0,3$$

$$\text{Untuk } b = 350 \text{ mm} \quad h = b/0,3 = 350/0,3 = 1166,67 \text{ mm}$$

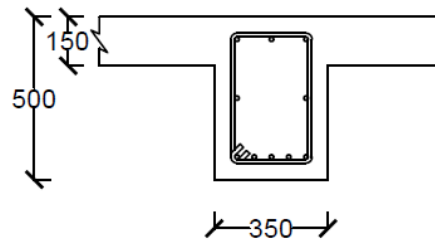
dicoba dimensi balok minimum sebagai berikut:

$$b = 350 \text{ mm} = 35 \text{ cm}$$

$$h = 500 \text{ mm} = 50 \text{ cm}$$

seterusnya asumsi dimensi balok dibuat dengan acuan bahwa dimensi balok pada 1 lantai bersifat tipikal.

Ukuran balok preliminary desain adalah sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.2 di bawah ini :



Gambar 3.2 Ukuran Balok Preliminary Desain

3.3.3 Preliminary Design Plat Lantai

Perencanaan plat lantai harus memenuhi ketentuan pada SNI 03-2847-2002, yaitu menentukan tebal plat lantai sebagai berikut:

Menentukan $ln1$, $ln2$, h_{maks} , h_{min} :

Dik: $ln1 = 6 \text{ m} = 6000 \text{ mm}$

$ln2 = 6 \text{ m} = 6000 \text{ mm}$

Ketentuan:

$$\beta = \frac{ln1}{ln2}$$

$$h_{maks} = ln1 \frac{\left(0.8 + \frac{Fy}{1500}\right)}{36}$$

$$h_{min} = ln1 \frac{\left(0.8 + \frac{Fy}{1500}\right)}{36 + 9\beta}$$

didapatkan preliminary sebagai berikut:

$$\beta = 6000 \text{ mm} / 6000 \text{ mm} = 1$$

$$h_{maks} = 6000 \frac{\left(0.8 + \frac{400}{1500}\right)}{36} = 177 \text{ mm}$$

$$h_{min} = 6000 \frac{\left(0.8 + \frac{400}{1500}\right)}{36 + 9(1)} = 142 \text{ mm}$$

berdasarkan ketentuan diatas, tebal plat lantai yang akan direncanakan diambil setebal 150 mm atau lebih besar dari $h_{min} = 142 \text{ mm}$ telah di dapat dari perhitungan di atas, selanjutnya data-data perencanaan tebal plat lantai menyesuaikan.

3.3 Perhitungan Struktur 3D dengan Menggunakan Program ETABS

Pada perhitungan struktur dengan menggunakan program ETABS, terlebih dahulu dilakukan perhitungan pembebanan yang akan di input pada program. Perhitungan beban itu mencakup beban hidup, beban mati dan juga beban gempa.

Pada output *Centres of Cumulative Mass and Centres of Rigidity*, bagian kolom MAS terdapat nilai massa bangunan. Untuk mencari berat, adalah dengan dengan mengalikan massa lantai dengan satuan gravitasi yaitu $9,81\text{m/det}^2$.

Yang harus diingat nilai-nilai massa tersebut adalah nilai kumulatif. Sehingga untuk mencari berat tiap lantai adalah dengan cara mengurangi nilai massa lantai yang diinginkan dengan massa lantai di atasnya, kemudian dikalikan dengan 9,81.

Berdasarkan data-data yang dimasukkan dalam program ETABS tadi, massa bangunan yang didapat adalah sbb :

ETABS v9.7.2 File:STRUKTUR RSJ.RATUMBUYSANG Units:Kgf-m Juli 20, 2016 22:26 PAGE 1

CENTERS OF CUMULATIVE MASS & CENTERS OF RIGIDITY

STORY LEVEL	DIAPHRAGM NAME	/-----CENTER OF MASS-----//		--CENTER OF RIGIDITY--/		
		MASS	ORDINATE-X	ORDINATE-Y	ORDINATE-X	ORDINATE-Y
STORY6	D1	9,072E+03	17,717	15,000	20,546	10,452
STORY5	D1	6,036E+04	20,472	10,017	20,994	9,018
STORY4	D1	1,142E+05	20,721	9,538	21,000	9,001
STORY3	D1	1,681E+05	20,810	9,365	21,000	9,000
STORY2	D1	2,219E+05	20,856	9,277	21,000	9,000
STORY1	D1	2,764E+05	20,885	9,222	21,000	9,000

- **Berat Gedung Tiap Lantai**

Tabel 3.1 Berat Gedung Tiap Lantai (Bangunan A)

LANTAI	MASSA STRUKTUR	MASSA TINGKAT	PERCEPATAN GRAVITASI	BERAT LANTAI
STORY6	9,072	9,072.00	9.81	88,996.320
STORY5	60,360	51,288.00	9.81	503,135.280
STORY4	114,200	53,840.00	9.81	528,170.400
STORY3	168,100	53,900.00	9.81	528,759.000
STORY2	221,900	53,800.00	9.81	527,778.000
STORY1	276,400	54,500.00	9.81	534,645.000
Wtotal (WT)				2,711,484

- **Waktu Getar Alami**

Apabila suatu gedung menerima beban gempa besar, tetapi tidak ada batasan waktu getar alaminya, maka pengguna gedung dan seisinya bisa diibaratkan seperti dadu yang dikocok dalam suatu kotak. Dengan rumus empiris *Method A* dari *UBC Section 1630.2.2*, waktu getar alami gedung adalah:

$$T_{\text{empiris}} = C_t \times h_n^{3/4}$$

$$= 0,0724 \times 27,3^{3/4}$$

$$= 0,864$$

C_t : Koefisien untuk bangunan beton bertulang

h_n : Tinggi gedung

$$T = \zeta \times N$$

$$= 0,16 \times 6$$

$$= 0,96$$

ζ : Koefisien tergantung wilayah gempa (wilayah 5 = 0,16)

N : Jumlah Tingkat

- **Kontrol Pembatasan Waktu Getar**

$$T_{\text{empiris}} = 0,864 \text{ detik} < T = 0,96 \text{ detik}$$

- **Gaya Geser Dasar Nominal**

Yang diperhitungkan untuk menentukan gaya geser dasar nominal yang terjadi pada tingkat dasar gedung yaitu akibat berat gedung, fungsi gedung, dan wilayah gempa dimana gedung tersebut akan dibangun.

$$V = \frac{C_i \times I \times W_t}{R}$$

C_i Faktor respons gempa sesuai dengan gambar SNI 03 -1726 – 2002

I Faktor keamanan untuk gedung sesuai dengan tabel pada SNI 03 -1726 – 2002

W_t Berat total bangunan

R Faktor reduksi gempa sesuai tabel pada SNI 03 -1726 – 2002

$$V = \frac{0,578 \times 1,4 \times 2711484}{8,5} = 258,241.24$$

- **Distribusi Gaya Geser Horizontal Gempa**

Distribusi gaya geser horizontal gempa dihitung sepanjang tinggi gedung dan beban gempa rencana yang akan ditanggung oleh keseluruhan komponen struktur gedung. Gaya geser dasar nominal akan dibagi ke setiap lantai gedung dengan cara mendistribusikan gaya tersebut berdasarkan porsi berat lantai dan ketinggiannya.

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} \times V$$

Akan diperoleh hasil perhitungan yang menghasilkan nilai F_i dalam arah x, y;

ETABS v9.7.2 File:STRUKTUR RSJ.RATUMBUYSANG Units:Kgf-cm Juli 20, 2016 22:41 PAGE 2

DISPLACEMENTS AT DIAPHRAGM CENTER OF MASS

STORY	DIAPHRAGM	LOAD	POINT	X	Y	UX	UY	RZ
STORY6	D1	FX	51	1771,664	1500,000	3,1634	0,0559	-0,00017
STORY6	D1	FY	51	1771,664	1500,000	-0,1544	3,2824	0,00026
STORY5	D1	FX	52	2095,919	913,605	2,9207	0,0006	-0,00016
STORY5	D1	FY	52	2095,919	913,605	-0,0033	3,2028	0,00025
STORY4	D1	FX	53	2100,000	900,000	2,6749	0,0000	-0,00015
STORY4	D1	FY	53	2100,000	900,000	0,0000	2,9250	0,00023
STORY3	D1	FX	54	2100,000	900,000	2,2471	0,0000	-0,00012
STORY3	D1	FY	54	2100,000	900,000	0,0000	2,4447	0,00020
STORY2	D1	FX	55	2100,000	900,000	1,6270	0,0000	-0,00008
STORY2	D1	FY	55	2100,000	900,000	0,0000	1,7542	0,00014
STORY1	D1	FX	56	2100,000	900,000	0,8357	0,0000	-0,00004
STORY1	D1	FY	56	2100,000	900,000	0,0000	0,8833	0,00007

Tabel 3.2 Distribusi Gaya Geser Horizontal Arah X dan Y

ARAH X

LANTAI	Wi (Kg)	di x (cm)	di x ²	Fi x (Kg)	Wi . di x ²	Fi x. di x
6	88996	3.16	10.01	8178.92	890595.03	25873.18
5	503135	2.92	8.53	46239.01	4291989.71	135050.27
4	528170	2.67	7.16	48539.78	3779106.75	129839.05
3	528759	2.25	5.05	48593.87	2669946.58	109195.29
2	527778	1.63	2.65	48503.72	1397096.45	78915.55
1	534645	0.84	0.70	58185.95	373393.12	48626.00
					13402127.65	527499.35

ARAH Y

LANTAI	Wi (Kg)	di y (cm)	di y ²	Fi y (Kg)	Wi . di y ²	Fi y. di y
6.00	88996.32	3.28	10.77	8178.92	958859.68	26846.48
5.00	503135.28	3.20	10.26	46239.01	5161125.40	148094.29
4.00	528170.40	2.93	8.56	48539.78	4518827.88	141978.85
3.00	528759.00	2.44	5.98	48593.87	3160158.88	118797.44
2.00	527778.00	1.75	3.08	48503.72	1624087.77	85085.22
1.00	534645.00	0.88	0.78	58185.95	417140.13	51395.65
					15840199.73	572197.94

- **Kinerja Struktur**

Kineja Batas Layan

Tabel 3.3 Kinerja Batas Layan

Lantai	hi (m)	Δs (mm)	drift Δs antar tingkat (mm)	syarat drift Δs (mm)	Keterangan
6	3.8	31.634	2.427	13.41176471	OK
5	3.8	29.207	2.458	13.41176471	OK
4	3.8	26.749	4.278	13.41176471	OK
3	3.8	22.471	6.201	13.41176471	OK
2	3.8	16.27	7.913	13.41176471	OK
1	4.5	8.357	8.357	15.88235294	OK

Kinerja batas layan Δs struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Hal ini dimaksudkan untuk menjaga kenyamanan, mencegah kerusakan non struktur, membatasi terjadinya pelelehan baja dan retaknya beton yang berlebihan.

Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimate ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Dimaksudkan untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa dan benturan antar gedung.

Kinerja Batas Ultimate

$$\Delta m \quad 0,02 \times h_i = 0,02 * 4000 = 80\text{mm}$$

Tabel 3.4 Kinerja Batas Ultimit

Lantai	hi (m)	drift Δs antar tingkat (mm)	drift Δm antar tingkat (mm)	syarat drift Δm (mm)	Keterangan
6	3.8	2.427	17.535075	76	OK
5	3.8	2.458	17.75905	76	OK
4	3.8	4.278	30.90855	76	OK
3	3.8	6.201	44.802225	76	OK
2	3.8	7.913	57.171425	76	OK
1	4.5	8.357	60.379325	90	OK

- **Perhitungan Tulangan Balok**

Berikut di bawah ini Tabel 3.12 menunjukkan nilai momen ultimate paling besar di tiap lantai dan data-data perencanaan untuk perhitungan tulangan balok :

Tabel 3.5 Nilai Momen Ultimate Balok Hasil ETABS

Story	Momen yang bekerja			
Lt 1	Mu tumpuan	-	104.98	KNm
	Mu lapangan	+	57.95	KNm
Lt 2	Mu tumpuan	-	105.69	KNm
	Mu lapangan	+	56.20	KNm
Lt 3	Mu tumpuan	-	108.15	KNm
	Mu lapangan	+	56.59	KNm
Lt 4	Mu tumpuan	-	108.51	KNm
	Mu lapangan	+	57.20	KNm
Lt 5	Mu tumpuan	-	117.01	KNm
	Mu lapangan	+	60.87	KNm
Lt 6	Mu tumpuan	-	73.63	KNm
	Mu lapangan	+	77.00	KNm

Data teknis perencanaan balok yang digunakan adalah sebagai berikut :

Data Teknis	Mutu baja (f_y)	=	400	MPa
Perencanaan	Mutu beton (f'_c)	=	30	MPa
	Selimit beton (S)	=	50	mm
	Diameter rencana tulangan (D)	=	13	mm
	Faktor reduksi (ϕ)	=	0.8	ketentuan

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor pembentuk tegangan beton } (\beta) &= 0,85 \text{ ketentuan} \\
 \text{Lebar balok (B)} &= 350 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi balok (H)} &= 500 \text{ mm} \\
 \text{Tinggi efektif penampang balok (d)} &= 444 \text{ mm} \\
 &= h - s - (1/2 \times D_{tul})
 \end{aligned}$$

Perhitungan tulangan tumpuan pada lantai satu diuraikan seperti berikut :

Langkah pertama adalah menghitung nilai ρ_b

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta \times \left\{ \frac{600}{600 + f_y} \right\} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times 0,85 \times \left\{ \frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right\} \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung ρ_{\min}

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Setelah ρ_{\min} hitung ρ_{\max}

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai ρ maka terlebih dahulu dihitung nilai M_n , R_n dan m

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{104,98 \text{ KNm} \times 1000000}{0,8} \\
 &= 131224250 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{131224250 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times 444 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,9062
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\
 &= 15,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,9062}{400}} \right) \\ &= 0,0050\end{aligned}$$

Nilai $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ maka untuk perhitungan tulangan digunakan nilai $\rho = 0,0050$

Hitung nilai A_s perlu sebagai nilai luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0050 \times 350 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\ &= 769,64 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D \text{ tulangan}^2} \\ &= \frac{769,64 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\ &= 5,7 \approx 7 \text{ D } 13\end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = $0,5 \times n$ tulangan tarik

$$\begin{aligned}n &= 0,5 \times 7 \\ &= 3,5 \approx 4 \text{ D } 13\end{aligned}$$

Sebagai kontrol, hitung A_s berdasarkan jumlah tulangan yang digunakan kemudian hitung M_n .

$$\begin{aligned}A_s &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 929,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sebelum menghitung M_n maka terlebih dahulu hitung nilai a .

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \text{ perlu} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{769,64 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 34,49\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 929,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \left(444 \text{ mm} - \frac{34,49}{2} \right) \\ &= 158480944 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka sesuai dengan persyaratan dengan menggunakan tulangan 7 D 13 nilai M_n yang ada lebih besar dari nilai M_n akibat gaya yang bekerja pada balok, $M_{n\text{ada}} = 158480944 \text{ Nmm} > M_n = 131224250 \text{ Nmm}$.

Selanjutnya perhitungan tulangan lapangan pada lantai satu diuraikan seperti berikut :

Langkah pertama adalah menghitung nilai ρ_b

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta \times \left\{ \frac{600}{600 + f_y} \right\} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times 0,85 \times \left\{ \frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right\} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung ρ_{\min}

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

Setelah ρ_{\min} hitung ρ_{\max}

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244\end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai ρ maka terlebih dahulu dihitung nilai M_n , R_n dan m

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{57,95 \text{ KNm} \times 1000000}{0,8} \\ &= 72432000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\ &= \frac{72432000 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times 444 \text{ mm}^2} \\ &= 1,0521\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\ &= 15,68\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,68} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,0521}{400}} \right) \\ &= 0,0027\end{aligned}$$

Nilai $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ maka untuk perhitungan tulangan digunakan nilai $\rho_{\min} = 0,0035$

Hitung nilai A_s perlu sebagai nilai luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0035 \times 350 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\ &= 543,29 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D \text{ tulangan}^2} \\ &= \frac{543,29 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\ &= 4,09 \approx 5 \text{ D } 13\end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = $0,5 \times n$ tulangan tarik

$$\begin{aligned}n &= 0,5 \times 5 \\ &= 2,5 \approx 3 \text{ D } 13\end{aligned}$$

Sebagai kontrol, hitung A_s berdasarkan jumlah tulangan yang digunakan kemudian hitung M_n .

$$\begin{aligned}A_s &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 663,93 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sebelum menghitung M_n maka terlebih dahulu hitung nilai a .

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \text{ perlu} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\ &= \frac{543,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\ &= 24,349\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 543,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \left(440 \text{ mm} - \frac{24,349}{2} \right) \\ &= 114547727 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka sesuai dengan persyaratan dengan menggunakan tulangan 5 D 13 nilai M_n yang ada lebih besar dari nilai M_n akibat gaya yang bekerja pada balok, $M_{n_{ada}} = 114547727 \text{ Nmm} > M_n = 72432000 \text{ Nmm}$.

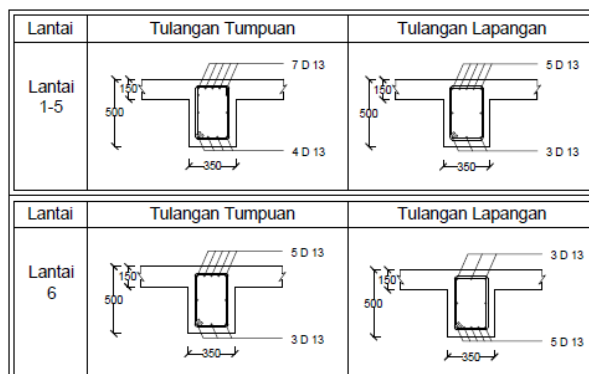
Selanjutnya dengan metode perhitungan yang sama dan data-data perencanaan diatas maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Dari hasil perhitungan didapat jumlah tulangan balok per lantai seperti pada Tabel 3.8 di bawah ini :

Tabel 3.6 Penulangan Balok Per Lantai Hasil ETABS

Lantai	Tulangan			
	Tumpuan		Lapangan	
Lt 1	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 2	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 3	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 4	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 5	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 6	Tumpuan Atas	5 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	3 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13

Penulangan balok lantai satu sampai dengan lantai lima penulangannya sama yaitu 7 D 13 dan 4 D13 untuk tumpuan dan 5 D 13 dan 3 D 13 untuk lapangan dan untuk lantai enam menggunakan jumlah tulangan yang sama untuk tumpuan dan lapangan yaitu 5 D 13 dan 3 D 13.

Gambar penulangan balok sesuai dengan hasil perhitungan yang ada adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 .



Gambar 3.3 Penulangan Balok Hasil ETABS

- **Perhitungan Tulangan Kolom**

Dari perhitungan pembebanan dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom, maka diketahui :

$$P_u = 1503,6 \text{ kN} = 1503630 \text{ N}$$

$$M_u = 53,328 \text{ kNm} = 53328000 \text{ Nmm}$$

Kemudian hitung luas penampang kolom (A_{gr})

$$\begin{aligned} A_{gr} &= B \times H \\ &= 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 250000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk menentukan ρ yang akan digunakan dalam perhitungan jumlah tulangan maka digunakan diagram interaksi kolom. Untuk menentukan nilai sumbu vertikal dan sumbu horizontal pada diagram interaksi kolom maka dilakukan perhitungan seperti pada uraian dibawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Sb. Vertikal} &= \frac{P_u}{\phi A_{gr} \times 0,85 f_c} \\ &= \frac{1503630}{0,65 \times 250000 \times 0,85 \times 30} \\ &= 0,4 \end{aligned}$$

Untuk melakukan perhitungan untuk nilai sumbu horizontal maka sebelumnya hitung nilai e_t , dimana e_t adalah nilai M_u dibagi dengan P_u .

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{53328000}{1503630} \\ &= 35,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sb. Horizontal} &= \frac{P_u}{\phi A_{gr} \times 0,85 f_c} \times \frac{e_t}{h} \\ &= \frac{1503630}{0,65 \times 250000 \times 0,85 \times 30} \times \frac{35,47}{500} \\ &= 0,363 \times 0,07 \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

Berdasarkan diagram interaksi kolom yang di plot dari nilai sumbu vertikal dan horizontal maka diperoleh nilai $r = 0,01$ dan diketahui nilai $\beta = 1,2$

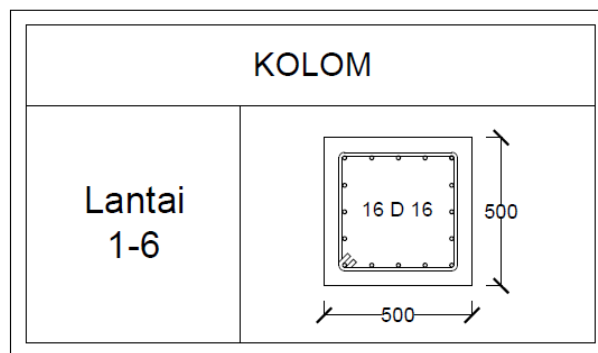
$$\begin{aligned} A_{Stotal} &= \rho \times A_{gr} \\ &= 0,012 \times 250000 \text{ mm}^2 \\ &= 3000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{D16} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 16^2 \\
 &= 201,1429 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang digunakan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{A} \\
 &= \frac{3000 \text{ mm}^2}{201,1429 \text{ mm}^2} \\
 &= 14,91 \approx 16 \text{ D 16}
 \end{aligned}$$

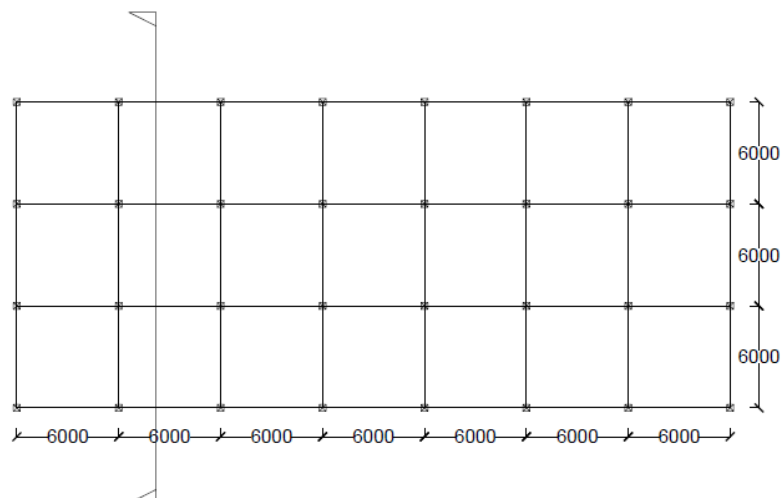
Jadi /untuk penulangan kolom digunakan 16 D 16 dan gambar penulangan kolom sesuai hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 3.5 di bawah ini :



Gambar 3.4 Penulangan Kolom Hasil ETABS

3.4 Perhitungan Portal 2D dengan Menggunakan Metode Cross

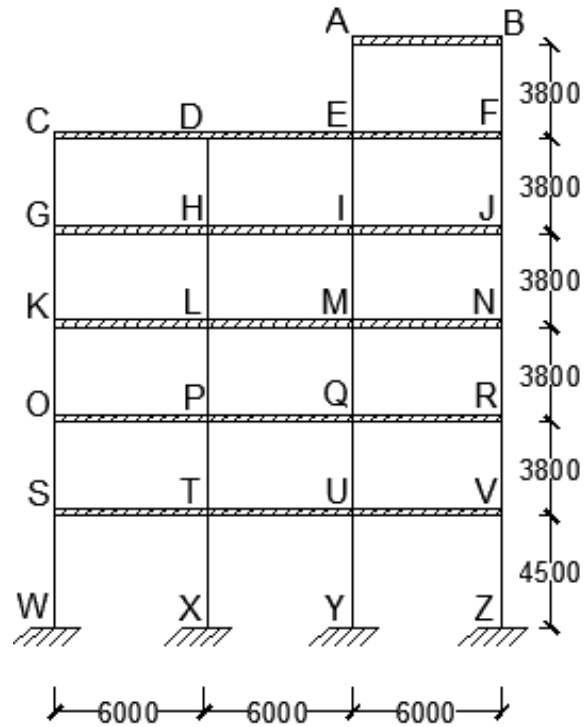
Gambar 3.6 di bawah ini menunjukkan denah struktur bangunan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbuang Manado dengan potongan portal arah Y.



Gambar 3.5 Denah Bangunan Rumah Sakit Jiwa Ratumbuang

a Perhitungan Portal

Di bawah ini ditunjukkan Gambar 3.7 yaitu gambar potongan portal arah Y dan memperlihatkan tampilan struktur gedung dari lantai satu sampai dengan lantai enam.



Gambar 3.6 Potongan Portal

b Pembebanan Pada Balok

Beban mati (DL)

Beban Plat

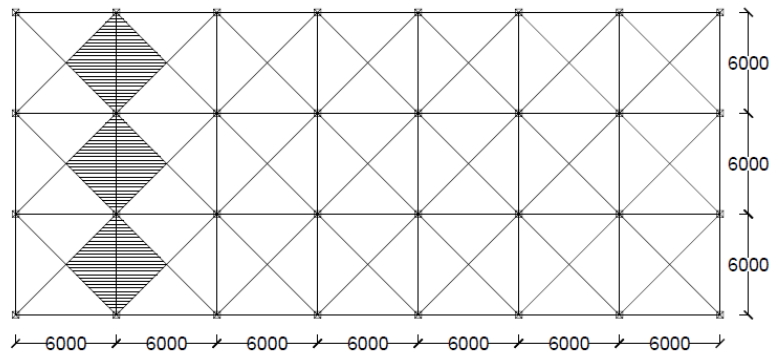
- Berat sendiri plat	$0.15 \times 2400 \text{ kg/m}^3$	=	360	kg/m^2
- Berat finishing lantai		=	24	kg/m^2
- Berat spesi		=	21	kg/m^2
- Berat plafond dan rangka		=	18	kg/m^2
- Berat instalasi M/E		=	25	kg/m^2
			<u>448</u>	kg/m^2

$$\text{Berat Balok} \quad 0.35 \times 0.5 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 420 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat Dinding} \quad 3.3 \times 250 \text{ kg/m}^2 = 825 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban hidup (LL)} = 250 \text{ kg/m}^2$$

Analisa beban yang bekerja



Gambar 3.7 Pembebanan Pada Balok Metode Amplop

c. Analisa beban

Dari beban mati dan beban hidup yang telah dihitung maka untuk mendapatkan nilai beban ultimate nilai beban mati dan beban hidup dikalikan faktor pengali kemudian dijumlahkan seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned} W_u (q) &= (1,2 \times DL \text{ Wbalok}) + (1,2 \times DL \text{ Wdinding}) + \\ & 2 \times \left\{ \frac{1}{3} (1,2 \times DL \text{ Wplat} \times 3\text{m}) \right\} + 2 \times \left\{ \frac{1}{3} (1,6 \times LL \times 3\text{m}) \right\} \\ &= 3367 \text{ Kg/m} \end{aligned}$$

Beban Terbagi rata

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= \frac{1}{2} \times q \times l \\ &= \frac{1}{2} \times 3367 \text{ kg/m} \times 6 \text{ m} \\ &= 10102 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$R = 20204 \text{ kg}$$

d. Menghitung beban terpusat (p)

Perhitungan beban dari pelat dan balok yang didistribusi ke ke kolom sebagai beban terpusat. Perhitungannya adalah seperti pada uraian dibawah ini :

P1	= 10102 kg	= 10102 Kg
P2	= 10102 kg	= 10102 Kg
P3	= 10102 kg	= 10102 Kg
P4	= 10102 kg x 2	= 20204 Kg
P5	= (10102 kg x 2) + 10102 kg	= 30306 Kg
P6	= 10102 kg + 10102 kg	= 20204 Kg
P7	= 10102 kg + 10102 kg	= 20204 Kg
P8	= (10102 kg x 2) + 20204 kg	= 40408 Kg

P9	= (10102 kg x 2) + 30306 kg	= 50510 Kg
P10	= 10102 kg + 20204 kg	= 30306 Kg
P11	= 10102 kg + 20204 kg	= 30306 Kg
P12	= (10102 kg x 2) + 40408 kg	= 60612 Kg
P13	= (10102 kg x 2) + 50510 kg	= 70714 Kg
P14	= 10102 kg + 30306 kg	= 40408 Kg
P15	= 10102 kg + 30306 kg	= 40408 Kg
P16	= (10102 kg x 2) + 60612 kg	= 80816 Kg
P17	= (10102 kg x 2) + 70714 kg	= 90918 Kg
P18	= 10102 kg + 40408 kg	= 50510 Kg
P19	= 10102 kg + 40408 kg	= 50510 Kg
P20	= (10102 kg x 2) + 80816 kg	= 101020 Kg
P21	= (10102 kg x 2) + 90918 kg	= 111122 Kg
P22	= 10102 kg + 50510 kg	= 60612 Kg

Dari hasil perhitungan pembebanan di atas, maka didapat nilai V_w , V_x , V_y dan V_z pada perletakan adalah sebesar : $V_w = 50510 \text{ Kg}$, $V_x = 101020 \text{ Kg}$, $V_y = 111122 \text{ Kg}$, $V_z = 60612 \text{ Kg}$

Maka kontrol $\sum M_w = 0$

$$\begin{aligned}
 \sum M_w &= 0 \\
 &= \{ (R \times 5 \times 3\text{m}) + (R \times 5 \times 9\text{m}) + (R \times 6 \times 15\text{m}) \} - (V_x \times 6\text{m}) - (V_y \times 12\text{m}) - (V_z \times 18\text{m}) \\
 &= \{ (20203,95 \text{ Kg} \times 5 \times 3\text{m}) + (20203,95 \text{ Kg} \times 5 \times 9\text{m}) + (20203,95 \text{ Kg} \times 6 \times 15\text{m}) \} - (101020 \text{ Kg} \times 6\text{m}) - (111122 \text{ Kg} \times 12\text{m}) - (60612 \text{ Kg} \times 18\text{m}) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan Beban Gempa

- **Berat Gedung Tiap Lantai**

Perhitungan Berat Balok Per Lantai

$$\begin{aligned}
 \text{Lantai 1-5} &= (0,35 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 312 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\
 &= 131040 \text{ Kg} \\
 \text{Lantai 6} &= (0,35 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 66 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\
 &= 27720 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Berat Kolom Per Lantai

$$\begin{aligned} \text{Lantai 1} &= 32 \times (4,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\ &= 86400 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 2-5} &= 32 \times (3,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\ &= 72960 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 6} &= 10 \times (3,8 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\ &= 22800 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Perhitungan Berat Pelat Lantai

$$\begin{aligned} \text{Lantai 1-5} &= 21 \times (6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\ &= 272160 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 6} &= 3 \times (6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3) \\ &= 38880 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka didapat nilai berat per lantai :

$$\begin{aligned} \text{Lantai 1} &= 131040 \text{ Kg} + 86400 \text{ Kg} + 272160 \text{ Kg} \\ &= 489600 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 2-5} &= 131040 \text{ Kg} + 72960 \text{ Kg} + 272160 \text{ Kg} \\ &= 476160 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 6} &= 27720 \text{ Kg} + 22800 \text{ Kg} + 38880 \text{ Kg} \\ &= 89400 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL} = 2483640 \text{ Kg}$$

- **Waktu Getar Alami**

Apabila suatu gedung menerima beban gempa besar, tetapi tidak ada batasan waktu getar alaminya, maka pengguna gedung dan seisinya bisa diibaratkan seperti dadu yang dikocok dalam suatu kotak. Dengan rumus empiris *Method A* dari *UBC Section 1630.2.2*, waktu getar alami gedung adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tempiris} &= C_t \times h_n^{3/4} \\ &= 0,0724 \times 27,3^{3/4} \\ &= 0,864 \end{aligned}$$

C_t : Koefisien untuk bangunan beton bertulang

h_n : Tinggi gedung

$$\begin{aligned} T &= \zeta \times N \\ &= 0,16 \times 6 \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

ζ : Koefisien tergantung wilayah gempa (wilayah 5 = 0,16)

N : Jumlah Tingkat

- **Kontrol Pembatasan Waktu Getar**

$$T_{\text{empiris}} = 0,864 \text{ detik} < T = 0,96 \text{ detik}$$

- **Gaya Geser Dasar Nominal**

Yang diperhitungkan untuk menentukan gaya geser dasar nominal yang terjadi pada tingkat dasar gedung yaitu akibat berat gedung, fungsi gedung, dan wilayah gempa dimana gedung tersebut akan dibangun.

$$V = \frac{C_i \times I \times W_t}{R}$$

C_i Faktor respons gempa sesuai dengan gambar SNI 03 -1726 – 2002

I Faktor keamanan untuk gedung sesuai dengan tabel pada SNI 03 -1726 – 2002

W_t Berat total bangunan

R Faktor reduksi gempa sesuai tabel pada SNI 03 -1726 – 2002

$$V = \frac{0,578 \times 1,4 \times 2.483.640}{8,5} = 168958,161$$

- **Distribusi Gaya Geser Horizontal Gempa**

Distribusi gaya geser horizontal gempa dihitung sepanjang tinggi gedung dan beban gempa rencana yang akan ditanggung oleh keseluruhan komponen struktur gedung. Gaya geser dasar nominal akan dibagi ke setiap

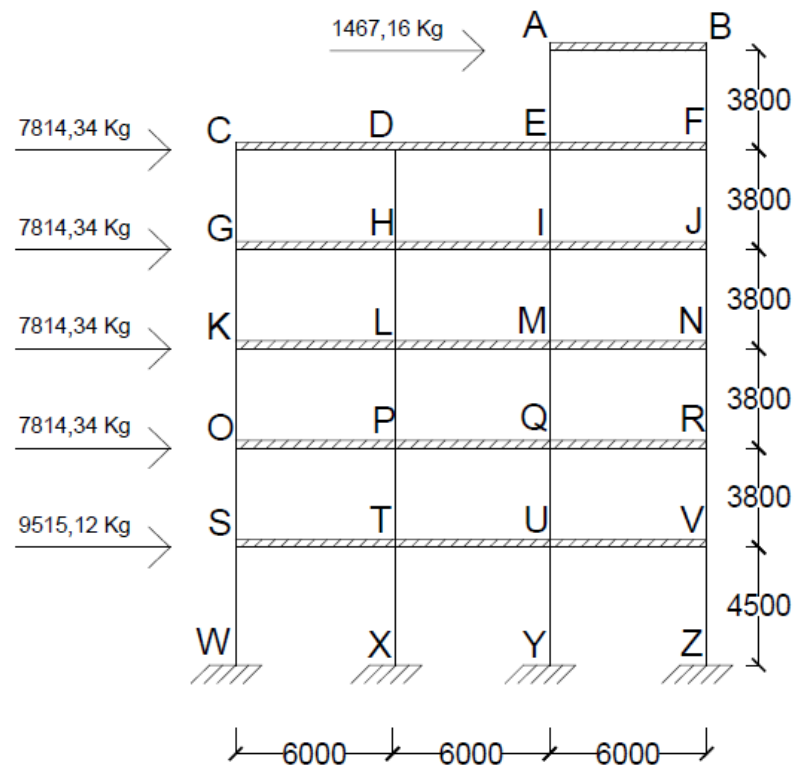
lantai gedung dengan cara mendistribusikan gaya tersebut berdasarkan porsi berat lantai dan ketinggiannya.

$$F_i = \frac{W_i \times z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} \times V$$

Tabel 3.7 Nilai Distribusi Gaya Geser Gempa

LANTAI	ZI	WI	WI*ZI	FI	VI
STORY6	3,8	89.400	339720,000	5868,633	5868,633
STORY5	3,8	476.160	1809408,000	31257,361	37125,994
STORY4	3,8	476.160	1809408,000	31257,361	68383,355
STORY3	3,8	476.160	1809408,000	31257,361	99640,716
STORY2	3,8	476.160	1809408,000	31257,361	130898,078
STORY1	4,5	489.600	2203200,000	38060,083	168958,161
	23,5	2.483.640	9780552		

Untuk distribusi beban geser gempa pada masing-masing lantai, untuk potongan arah Y distribusi beban ke masing-masing titik kumpul didapat dengan nilai F_i dikalikan dengan $\frac{1}{4}$. Dengan demikian distribusi beban gempa pada portal perhitungan ditunjukkan seperti pada Gambar 3.9 di bawah ini :



Gambar 3.8 Distribusi Beban Geser Gempa

- **Perhitungan Momen Lebam / Inersia (I)**

Inersia balok (I_b) => batang A-B, C-D, D-E, E-F, G-H, H-I, I-J, K-L, L-M, M-N, O-P, P-Q, Q-R, S-T, T-U, U-V

$$\frac{B \times H^3}{12} = \frac{35 \times 50^3}{12} = 364583,3 \text{ cm}^4$$

Inersia Kolom (I_k) => batang A-E, B-F, C-G, H-L, I-M, J-N, K-O, L-P, M-Q, N-R, O-S, P-T, Q-U, R-V, S-W, T-X, U-Y, V-Z

$$\frac{H^4}{12} = \frac{50^4}{12} = 520833,3 \text{ cm}^4$$

- **Angka Kekakuan Batang**

Nilai kekakuan batang untuk perletakan jepit-jepit adalah sebesar $\frac{4EI}{L}$. Dimana E adalah nilai elastisitas bahan dalam hal ini beton, I adalah inersia penampang dan L adalah panjang bentang batang.

Maka nilai angka kekakuan batang perletakan jepit-jepit pada :

- Balok dengan bentang 6 meter

$$\begin{aligned} K &= \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{6} \\ &= 0,667 EI \end{aligned}$$

- Kolom dengan tinggi 3,8 meter

$$\begin{aligned} K &= \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{3,8} \\ &= 1,053 EI \end{aligned}$$

- Kolom dengan tinggi 4,5 meter

$$\begin{aligned} K &= \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{4,5} \\ &= 0,889 EI \end{aligned}$$

- **Koefisien Distribusi**

Nilai koefisien distribusi ini merupakan hasil dari angka kekakuan per batang dibagi dengan jumlah seluruh angka kekakuan pada satu titik kumpul. Perhitungannya adalah seperti dibawah ini :

Faktor distribusi pada titik simpul A :

$$\begin{aligned} F_{AB} &= \frac{K_{ab}}{\sum K_a} \\ &= \frac{0,667 EI}{1,72 EI} \\ &= 0,338 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{AE} &= \frac{K_{ae}}{\sum K_a} \\
 &= \frac{1,053 EI}{1,72 EI} \\
 &= 0,612
 \end{aligned}$$

Begitu selanjutnya pada titik titik simpul yang lainnya. Dari hasil perhitungan dengan *Microsoft Excel* maka didapat seluruh nilai factor distribusi adalah seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.8 Nilai Koefisien Distribusi

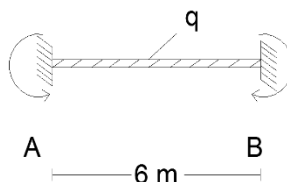
Titik Simpul	Batang	Nilai Koefisien Distribusi
A	K.a-b	0,388
	K.a-e	0,612
B	K.b-a	0,388
	K.b-f	0,612
C	K.c-d	0,388
	K.c-g	0,612
D	K.d-c	0,279
	K.d-e	0,279
	K.d-h	0,441
E	K.e-a	0,306
	K.e-d	0,194
	K.e-f	0,194
	K.e-i	0,306
F	K.f-b	0,380
	K.f-e	0,241
	K.f-j	0,380
G	K.g-c	0,380
	K.g-h	0,241
	K.g-k	0,380
H	K.h-d	0,306
	K.h-g	0,194
	K.h-i	0,194
	K.h-l	0,306
I	K.i-e	0,306
	K.i-h	0,194
	K.i-j	0,194
	K.i-m	0,306
J	K.j-f	0,380
	K.j-i	0,241
	K.j-n	0,380

Lanjutan tabel 3.8 Nilai Koefisien Distribusi

K	K.k-g	0,380
	K.k-l	0,241
	K.k-o	0,380
L	K.l-h	0,306
	K.l-k	0,194
	K.l-m	0,194
	K.l-p	0,306
M	K.m-i	0,306
	K.m-l	0,194
	K.m-n	0,194
	K.m-q	0,306
N	K.n-j	0,380
	K.n-m	0,241
	K.n-r	0,380
O	K.o-k	0,380
	K.o-p	0,241
	K.o-s	0,380
P	K.p-l	0,306
	K.p-o	0,194
	K.p-q	0,194
	K.p-t	0,306
Q	K.q-m	0,306
	K.q-p	0,194
	K.q-r	0,194
	K.q-u	0,306
R	K.r-n	0,380
	K.r-q	0,241
	K.r-v	0,380
S	K.s-o	0,404
	K.s-t	0,256
	K.s-w	0,341
T	K.t-p	0,321
	K.t-s	0,204
	K.t-u	0,204
	K.t-x	0,271
U	K.u-q	0,321
	K.u-t	0,204
	K.u-v	0,204
	K.u-y	0,271
V	K.v-r	0,404
	K.v-u	0,256
	K.v-z	0,341

- **Momen Primer**

Berdasarkan jenis perletakan jepit-jepit seperti pada Gambar 3.10 maka perhitungan momen primer ini adalah:



Gambar 3.9 Momen Primer Perletakan Jepit-jepit

$$M_{a-b} = -\frac{q \cdot L^2}{12} = -\frac{4862 \text{ kg/m} \times (6\text{m})^2}{12} = -10101,97 \text{ kg/m}$$

$$M_{b-a} = \frac{q \cdot L^2}{12} = \frac{4862 \text{ kg/m} \times (6\text{m})^2}{12} = 10101,97 \text{ kg/m}$$

- **Perhitungan Distribusi Momen**

Adapun langkah-langkah perhitungan tabel distribusi momen adalah seperti berikut :

- masukkan nama titik kumpul (*joint*) ke baris yang telah disiapkan dalam tabel
- masukkan nama batang (*member*) ke baris yang telah disiapkan dalam tabel
- masukkan nilai kekakuan relatif (K) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel
- masukkan faktor distribusi (DF) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel
- masukkan momen primer (FEM) yang telah dicari kedalam baris yang telah disiapkan dalam tabel,
- hitung besarnya "momen pengimbang" (BAL) pada baris yang telah disiapkan dalam tabel (ingat $BAL = -\mu \times M^0$),
- hitung besarnya momen induksi (CO) pada baris yang telah disiapkan dalam tabel (ingat induksi terjadi "(CO " adalah sebesar " $\frac{1}{2}$ " dari besarnya moment pada batang yang sama), dan
- selanjutnya dikerjakan dengan cara yang untuk masing-masing siklus (*cycle*), dengan cara meng-copy rumus perhitungan sebelumnya.

Tabel 3.9 Nilai Distribusi Momen

TITIK BUHUL	A		B		C		D			E				F			G			
BATANG	a-b	a-e	b-a	b-f	c-d	c-g	d-c	d-e	d-h	e-d	e-a	e-f	e-i	f-e	f-b	f-j	g-c	g-h	g-k	
ANGKA DISTRIBUSI	0.39	0.61	0.39	0.61	0.39	0.61	0.28	0.28	0.44	0.19	0.31	0.19	0.31	0.24	0.38	0.38	0.38	0.24	0.38	
MOMEN PRIMER	-10101.97		10101.97		-10101.97		10101.97	-10101.97		10101.97		-10101.97		10101.97					-10101.97	
BAL	3917.092	6184.882	-3917.092	-6184.882	3917.092	6184.882	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2429.589	-3836.193	-3836.193	3836.193	2429.589	3836.193	
CO	-1958.546	0.000	1958.546	-1918.096	0.000	1918.096	1958.546	0.000	0.000	0.000	3092.441	-1214.794	0.000	0.000	-3092.441	-1918.096	3092.441	0.000	1918.096	
BAL	759.436	1199.110	-15.685	-24.765	-743.752	-1174.345	-547.241	-547.241	-864.064	-364.034	-574.790	-364.034	-574.790	1205.066	1902.736	1902.736	-1902.736	-1205.066	-1902.736	
CO	-7.842	-287.395	379.718	951.368	-273.620	-951.368	-371.876	-182.017	-185.938	-273.620	599.555	602.533	185.938	-182.017	-12.383	728.391	-587.172	-117.761	-728.391	
BAL	114.480	180.757	-516.135	-814.951	474.995	749.993	206.717	206.717	326.396	-216.058	-341.145	-216.058	-341.145	-128.428	-202.782	-202.782	544.300	344.724	544.300	
CO	-258.068	-170.572	57.240	-101.391	103.359	272.150	237.498	-108.029	168.787	103.359	90.379	-64.214	-37.056	-108.029	-407.475	-341.301	374.996	106.899	341.301	
BAL	166.207	262.433	17.120	27.031	-145.605	-229.903	-83.336	-83.336	-131.583	-17.927	-28.306	-17.927	-28.306	206.067	325.369	325.369	-312.606	-197.984	-312.606	
CO	8.560	-14.153	83.104	162.685	-41.668	-156.303	-72.803	-8.964	-64.530	-41.668	131.216	103.034	59.592	-8.964	13.516	80.473	-114.952	-40.869	-108.478	
BAL	2.169	3.424	-95.306	-150.483	76.764	121.207	40.877	40.877	64.543	-48.891	-77.196	-48.891	-77.196	-20.449	-32.288	-32.288	100.366	63.565	100.366	
CO	-47.653	-38.598	1.084	-16.144	20.438	50.183	38.382	-24.445	29.404	20.438	1.712	-10.224	-5.624	-24.445	-75.241	-61.146	60.603	18.623	58.099	
BAL	33.444	52.807	5.839	9.220	-27.384	-43.238	-12.110	-12.110	-19.121	-1.222	-1.929	-1.222	-1.929	38.681	61.076	61.076	-52.149	-33.028	-52.149	
CO	2.920	-0.965	16.722	30.538	-6.055	-26.074	-13.692	-0.611	-12.605	-6.055	26.403	19.341	12.050	-0.611	4.610	11.195	-21.619	-7.983	-18.648	
BAL	-0.758	-1.197	-18.325	-28.935	12.458	19.671	7.518	7.518	11.871	-10.031	-15.838	-10.031	-15.838	-3.654	-5.770	-5.770	18.323	11.604	18.323	
CO	-9.163	-7.919	-0.379	-2.885	3.759	9.161	6.229	-5.015	4.576	3.759	-0.598	-1.827	-0.500	-5.015	-14.467	-11.231	9.836	2.898	9.773	
BAL	6.624	10.458	1.266	1.998	-5.010	-7.911	-1.618	-1.618	-2.554	-0.162	-0.255	-0.162	-0.255	7.387	11.664	11.664	-8.547	-5.413	-8.547	
CO	0.633	-0.128	3.312	5.832	-0.809	-4.273	-2.505	-0.081	-2.389	-0.809	5.229	3.693	2.415	-0.081	0.999	1.624	-3.955	-1.513	-3.323	
BAL	-0.196	-0.309	-3.545	-5.598	1.971	3.112	1.390	1.390	2.195	-2.041	-3.223	-2.041	-3.223	-0.611	-0.965	-0.965	3.338	2.114	3.338	
CO	-1.773	-1.611	-0.098	-0.483	0.695	1.669	0.985	-1.021	0.661	0.695	-0.155	-0.306	0.015	-1.021	-2.799	-2.108	1.556	0.418	1.617	
BAL	1.312	2.072	0.225	0.355	-0.917	-1.447	-0.175	-0.175	-0.276	-0.048	-0.076	-0.048	-0.076	1.426	2.251	2.251	-1.364	-0.864	-1.364	
CO	0.113	-0.038	0.656	1.125	-0.087	-0.682	-0.458	-0.024	-0.456	-0.087	1.036	0.713	0.494	-0.024	0.178	0.227	-0.724	-0.289	-0.606	
BAL	-0.029	-0.046	-0.691	-1.091	0.298	0.471	0.262	0.262	0.414	-0.418	-0.660	-0.418	-0.660	-0.092	-0.145	-0.145	0.615	0.389	0.615	
CO	-0.345	-0.330	-0.014	-0.072	0.131	0.307	0.149	-0.209	0.083	0.131	-0.023	-0.046	0.025	-0.209	-0.545	-0.404	0.236	0.052	0.261	
BAL	0.262	0.413	0.034	0.053	-0.170	-0.269	-0.006	-0.006	-0.010	-0.017	-0.027	-0.017	-0.027	0.279	0.440	0.440	-0.208	-0.132	-0.208	
CO	0.017	-0.013	0.131	0.220	-0.003	-0.104	-0.085	-0.008	-0.089	-0.003	0.207	0.139	0.103	-0.008	0.027	0.028	-0.134	-0.056	-0.113	
BAL	-0.001	-0.002	-0.136	-0.215	0.042	0.066	0.051	0.051	0.080	-0.087	-0.137	-0.087	-0.137	-0.011	-0.018	-0.018	0.115	0.073	0.115	
CO	-0.068	-0.068	-0.001	-0.009	0.025	0.058	0.021	-0.043	0.007	0.025	-0.001	-0.006	0.009	-0.043	-0.107	-0.079	0.033	0.004	0.040	
BAL	0.053	0.083	0.004	0.006	-0.032	-0.051	0.004	0.004	0.007	-0.005	-0.009	-0.005	-0.009	0.055	0.087	0.087	-0.029	-0.019	-0.029	
CO	0.002	-0.004	0.026	0.044	0.002	-0.015	-0.016	-0.003	-0.018	0.002	0.042	0.028	0.022	-0.003	0.003	0.002	-0.025	-0.011	-0.022	
BAL	0.001	0.002	-0.027	-0.043	0.005	0.008	0.010	0.010	0.016	-0.018	-0.029	-0.018	-0.029	-0.001	-0.001	-0.001	0.022	0.014	0.022	
CO	-0.014	-0.014	0.000	0.000	0.005	0.011	0.002	-0.009	-0.001	0.005	0.001	0.000	0.003	-0.009	-0.021	-0.016	0.004	0.000	0.006	
BAL	0.011	0.017	0.000	0.000	-0.006	-0.010	0.002	0.002	0.003	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	0.011	0.018	0.018	-0.003	-0.002	-0.003	
CO	0.000	-0.001	0.005	0.009	0.001	-0.002	-0.003	-0.001	-0.004	0.001	0.009	0.006	0.005	-0.001	0.000	0.000	-0.005	-0.002	-0.004	
BAL	0.000	0.001	-0.006	-0.009	0.000	0.000	0.002	0.002	0.003	-0.004	-0.006	-0.004	-0.006	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.004	
	-7373.09	7373.09	8059.57	-8059.57	-6735.05	6735.05	11494.70	-10820.11	-674.59	9247.18	2903.82	-11324.87	-826.14	8647.63	-5360.67	-3286.96	5036.75	-8732.00	3695.24	

Lanjutan Tabel 3.9 Nilai Distribusi Momen

TITIK BUHUL	H				I				J			K			L			
BATANG	h-g	h-d	h-i	h-l	i-h	i-e	i-j	i-m	j-i	j-f	j-n	k-g	k-l	k-o	l-k	l-h	l-m	l-p
ANGKA DISTRIBUSI	0.19	0.31	0.19	0.31	0.19	0.31	0.19	0.31	0.24	0.38	0.38	0.38	0.24	0.38	0.19	0.31	0.19	0.31
MOMEN PRIMER	10101.97		-10101.97		10101.97		-10101.97		10101.97				-10101.97		10101.97		-10101.97	
BAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2429.589	-3836.193	-3836.193	3836.193	2429.589	3836.193	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	1214.794	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1214.794	0.000	0.000	-1918.096	-1918.096	1918.096	0.000	1918.096	1214.794	0.000	0.000	0.000
BAL	-235.521	-371.876	-235.521	-371.876	235.521	371.876	235.521	371.876	922.629	1456.782	1456.782	-1456.782	-922.629	-1456.782	-235.521	-371.876	-235.521	-371.876
CO	-602.533	-432.032	117.761	-185.938	-117.761	-287.395	461.314	185.938	117.761	951.368	728.391	-951.368	-117.761	-728.391	-461.314	-185.938	117.761	-185.938
BAL	213.797	337.574	213.797	337.574	-46.937	-74.111	-46.937	-74.111	-432.315	-682.602	-682.602	682.602	432.315	682.602	138.706	219.009	138.706	219.009
CO	172.362	163.198	-23.469	109.505	106.899	-170.572	-216.157	-109.505	-23.469	-101.391	-298.964	272.150	69.353	229.813	216.157	168.787	-69.353	109.505
BAL	-81.738	-129.060	-81.738	-129.060	75.483	119.184	75.483	119.184	101.932	160.946	160.946	-216.955	-137.405	-216.955	-82.417	-130.131	-82.417	-130.131
CO	-98.992	-65.792	37.742	-65.066	-40.869	-14.153	50.966	40.799	37.742	162.685	121.608	-156.303	-41.208	-108.478	-68.703	-64.530	25.839	-35.424
BAL	37.245	58.808	37.245	58.808	-7.124	-11.248	-7.124	-11.248	-77.451	-122.291	-122.291	116.198	73.592	116.198	27.689	43.720	27.689	43.720
CO	31.783	32.271	-3.562	21.860	18.623	-38.598	-38.726	-20.024	-3.562	-16.144	-39.256	50.183	13.845	34.186	36.796	29.404	-12.682	21.311
BAL	-15.966	-25.210	-15.966	-25.210	15.263	24.100	15.263	24.100	14.181	22.391	22.391	-37.297	-23.621	-37.297	-14.508	-22.907	-14.508	-22.907
CO	-16.514	-9.561	7.632	-11.454	-7.983	-0.965	7.090	5.121	7.632	30.538	20.982	-26.074	-7.254	-18.142	-11.811	-12.605	3.244	-6.175
BAL	5.796	9.152	5.796	9.152	-0.633	-0.999	-0.633	-0.999	-14.226	-22.463	-22.463	19.546	12.379	19.546	5.302	8.371	5.302	8.371
CO	5.802	5.936	-0.316	4.186	2.898	-7.919	-7.113	-3.640	-0.316	-2.885	-5.349	9.161	2.651	5.687	6.189	4.576	-2.306	3.703
BAL	-3.026	-4.778	-3.026	-4.778	3.058	4.829	3.058	4.829	2.057	3.247	3.247	-6.645	-4.209	-6.645	-2.358	-3.723	-2.358	-3.723
CO	-2.706	-1.277	1.529	-1.862	-1.513	-0.128	1.028	0.516	1.529	5.832	3.740	-4.273	-1.179	-3.066	-2.104	-2.389	0.327	-1.180
BAL	0.837	1.321	0.837	1.321	0.019	0.030	0.019	0.030	-2.670	-4.216	-4.216	3.235	2.049	3.235	1.037	1.637	1.037	1.637
CO	1.057	1.097	0.009	0.818	0.418	-1.611	-1.335	-0.701	0.009	-0.483	-0.723	1.669	0.518	1.007	1.024	0.661	-0.444	0.617
BAL	-0.578	-0.913	-0.578	-0.913	0.626	0.988	0.626	0.988	0.288	0.454	0.454	-1.213	-0.768	-1.213	-0.360	-0.569	-0.360	-0.569
CO	-0.432	-0.138	0.313	-0.284	-0.289	-0.038	0.144	0.022	0.313	1.125	0.689	-0.682	-0.180	-0.511	-0.384	-0.456	0.014	-0.240
BAL	0.105	0.166	0.105	0.166	0.031	0.049	0.031	0.049	-0.512	-0.808	-0.808	0.521	0.330	0.521	0.207	0.326	0.207	0.326
CO	0.195	0.207	0.016	0.163	0.052	-0.330	-0.256	-0.143	0.016	-0.072	-0.092	0.307	0.103	0.186	0.165	0.083	-0.090	0.097
BAL	-0.113	-0.178	-0.113	-0.178	0.131	0.207	0.131	0.207	0.036	0.056	0.056	-0.227	-0.144	-0.227	-0.049	-0.078	-0.049	-0.078
CO	-0.066	-0.005	0.066	-0.039	-0.056	-0.013	0.018	-0.009	0.066	0.220	0.131	-0.104	-0.025	-0.083	-0.072	-0.089	-0.006	-0.050
BAL	0.009	0.014	0.009	0.014	0.012	0.019	0.012	0.019	-0.100	-0.158	-0.158	0.080	0.051	0.080	0.042	0.066	0.042	0.066
CO	0.037	0.040	0.006	0.033	0.004	-0.068	-0.050	-0.030	0.006	-0.009	-0.010	0.058	0.021	0.035	0.025	0.007	-0.019	0.014
BAL	-0.022	-0.035	-0.022	-0.035	0.028	0.044	0.028	0.044	0.003	0.005	0.005	-0.043	-0.027	-0.043	-0.005	-0.008	-0.005	-0.008
CO	-0.009	0.003	0.014	-0.004	-0.011	-0.004	0.002	-0.004	0.014	0.044	0.026	-0.015	-0.003	-0.013	-0.014	-0.018	-0.003	-0.011
BAL	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.004	0.006	0.004	0.006	-0.020	-0.032	-0.032	0.011	0.007	0.011	0.009	0.014	0.009	0.014
CO	0.007	0.008	0.002	0.007	0.000	-0.014	-0.010	-0.007	0.002	0.000	0.000	0.011	0.004	0.007	0.004	-0.001	-0.004	0.002
BAL	-0.005	-0.007	-0.005	-0.007	0.006	0.010	0.006	0.010	0.000	0.000	0.000	-0.008	-0.005	-0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	-0.001	0.002	0.003	0.000	-0.002	-0.001	0.000	-0.001	0.003	0.009	0.005	-0.002	0.000	-0.002	-0.003	-0.004	-0.001	-0.002
BAL	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	-0.004	-0.006	-0.006	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003
	10727.58	-431.07	-10043.41	-253.10	10337.87	-86.83	-10784.36	533.32	8323.96	-3912.15	-4411.81	4052.03	-8321.58	4269.55	10870.50	-318.66	-10201.92	-349.92

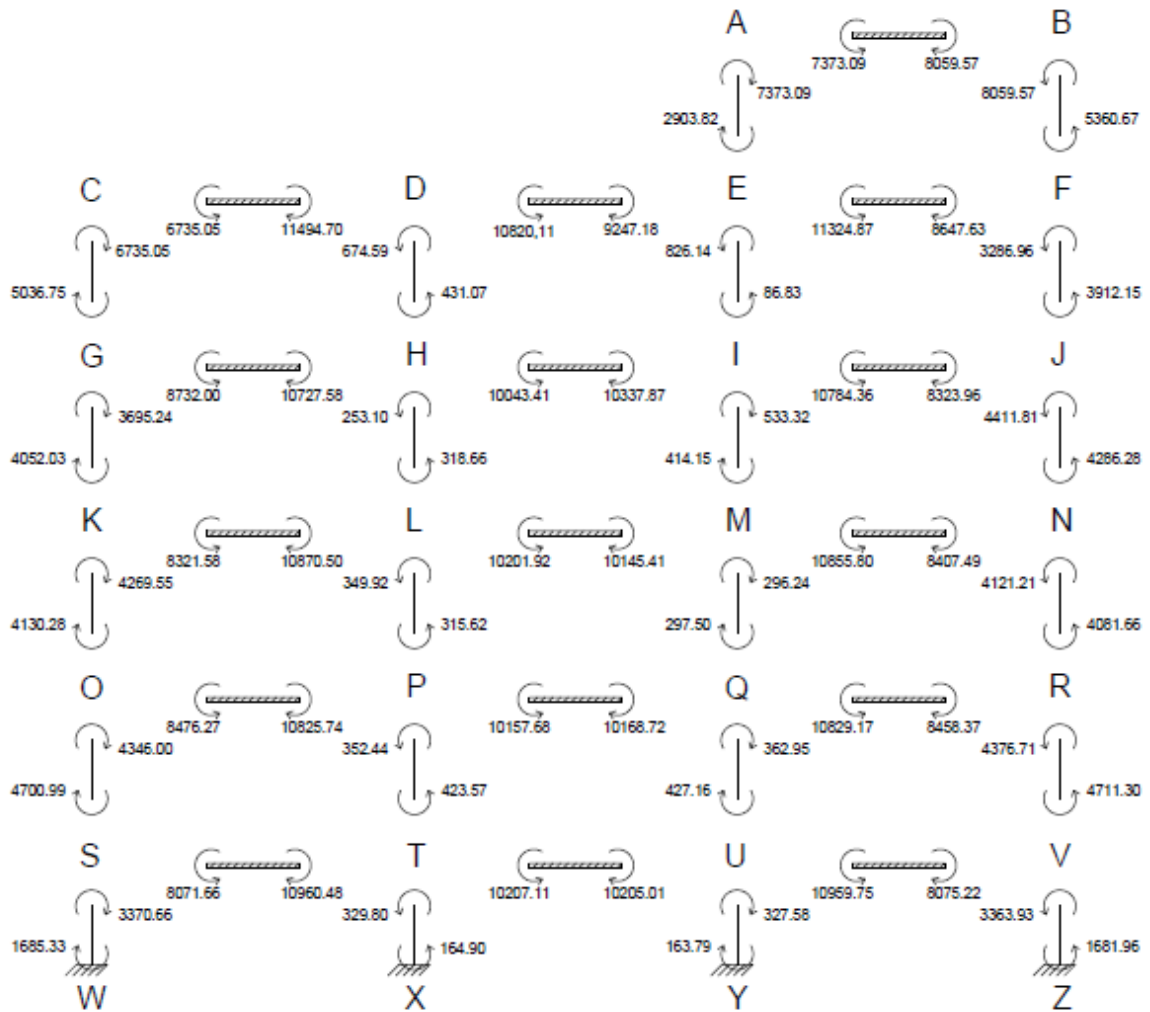
Lanjutan Tabel 3.9 Nilai Distribusi Momen

TITIK BUHUL	M				N			O			P				Q			
BATANG	m-l	m-i	m-n	m-q	n-m	n-j	n-r	o-k	o-p	o-s	p-o	p-l	p-q	p-t	q-p	q-m	q-r	q-u
ANGKA DISTRIBUSI	0.19	0.31	0.19	0.31	0.24	0.38	0.38	0.38	0.24	0.38	0.19	0.31	0.19	0.31	0.19	0.31	0.19	0.31
MOMEN PRIMER	10101.97		-10101.97		10101.97				-10101.97		10101.97		-10101.97		10101.97		-10101.97	
BAL	0.000	0.000	0.000	0.000	-2429.589	-3836.193	-3836.193	3836.193	2429.589	3836.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	0.000	0.000	-1214.794	0.000	0.000	-1918.096	-1918.096	1918.096	0.000	1918.096	1214.794	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1214.794	0.000
BAL	235.521	371.876	235.521	371.876	922.629	1456.782	1456.782	-1456.782	-922.629	-1456.782	-235.521	-371.876	-235.521	-371.876	235.521	371.876	235.521	371.876
CO	-117.761	185.938	461.314	185.938	117.761	728.391	728.391	-728.391	-117.761	-364.196	-461.314	-185.938	117.761	-185.938	-117.761	185.938	461.314	185.938
BAL	-138.706	-219.009	-138.706	-219.009	-378.687	-597.928	-597.928	459.626	291.096	459.626	138.706	219.009	138.706	219.009	-138.706	-219.009	-138.706	-219.009
CO	69.353	-37.056	-189.344	-109.505	-69.353	-341.301	-229.813	341.301	69.353	160.662	145.548	109.505	-69.353	45.740	69.353	-109.505	-145.548	-45.740
BAL	51.678	81.597	51.678	81.597	154.036	243.215	243.215	-216.955	-137.405	-216.955	-44.871	-70.849	-44.871	-70.849	44.871	70.849	44.871	70.849
CO	-41.208	59.592	77.018	35.424	25.839	80.473	100.439	-108.478	-22.435	-49.136	-68.703	-65.066	22.435	-27.901	-22.435	40.799	63.611	27.901
BAL	-25.364	-40.049	-25.364	-40.049	-49.725	-78.513	-78.513	68.373	43.303	68.373	26.994	42.623	26.994	42.623	-21.302	-33.635	-21.302	-33.635
CO	13.845	-5.624	-24.862	-16.818	-12.682	-61.146	-36.680	58.099	13.497	23.952	21.651	21.860	-10.651	7.481	13.497	-20.024	-23.230	-7.481
BAL	6.487	10.243	6.487	10.243	26.578	41.965	41.965	-36.284	-22.980	-36.284	-7.821	-12.349	-7.821	-12.349	7.220	11.399	7.220	11.399
CO	-7.254	12.050	13.289	5.700	3.244	11.195	13.734	-18.648	-3.911	-7.391	-11.490	-11.454	3.610	-4.859	-3.911	5.121	8.698	4.023
BAL	-4.611	-7.281	-4.611	-7.281	-6.776	-10.699	-10.699	11.373	7.203	11.373	4.690	7.406	4.690	7.406	-2.701	-4.265	-2.701	-4.265
CO	2.651	-0.500	-3.388	-2.132	-2.306	-11.231	-6.163	9.773	2.345	4.029	3.602	4.186	-1.351	1.272	2.345	-3.640	-3.903	-1.164
BAL	0.653	1.031	0.653	1.031	4.738	7.481	7.481	-6.132	-3.883	-6.132	-1.494	-2.360	-1.494	-2.360	1.233	1.948	1.233	1.948
CO	-1.179	2.415	2.369	0.974	0.327	1.624	1.859	-3.323	-0.747	-1.233	-1.942	-1.862	0.617	-0.845	-0.747	0.516	1.177	0.503
BAL	-0.888	-1.401	-0.888	-1.401	-0.916	-1.447	-1.447	2.014	1.275	2.014	0.782	1.234	0.782	1.234	-0.281	-0.443	-0.281	-0.443
CO	0.518	0.015	-0.458	-0.222	-0.444	-2.108	-1.076	1.617	0.391	0.684	0.638	0.818	-0.140	0.251	0.391	-0.701	-0.681	-0.194
BAL	0.028	0.045	0.028	0.045	0.872	1.378	1.378	-1.022	-0.647	-1.022	-0.304	-0.480	-0.304	-0.480	0.230	0.363	0.230	0.363
CO	-0.180	0.494	0.436	0.181	0.014	0.227	0.243	-0.606	-0.152	-0.221	-0.324	-0.284	0.115	-0.142	-0.152	0.022	0.154	0.050
BAL	-0.181	-0.285	-0.181	-0.285	-0.116	-0.184	-0.184	0.372	0.236	0.372	0.123	0.194	0.123	0.194	-0.014	-0.023	-0.014	-0.023
CO	0.103	0.025	-0.058	-0.011	-0.090	-0.404	-0.196	0.261	0.062	0.114	0.118	0.163	-0.007	0.053	0.062	-0.143	-0.124	-0.036
BAL	-0.011	-0.018	-0.011	-0.018	0.166	0.262	0.262	-0.166	-0.105	-0.166	-0.063	-0.100	-0.063	-0.100	0.047	0.074	0.047	0.074
CO	-0.025	0.103	0.083	0.037	-0.006	0.028	0.029	-0.113	-0.032	-0.042	-0.052	-0.039	0.023	-0.022	-0.032	-0.009	0.018	0.002
BAL	-0.039	-0.061	-0.039	-0.061	-0.012	-0.019	-0.019	0.071	0.045	0.071	0.018	0.028	0.018	0.028	0.004	0.006	0.004	0.006
CO	0.021	0.009	-0.006	0.003	-0.019	-0.079	-0.037	0.040	0.009	0.018	0.022	0.033	0.002	0.012	0.009	-0.030	-0.024	-0.008
BAL	-0.005	-0.008	-0.005	-0.008	0.033	0.051	0.051	-0.026	-0.016	-0.026	-0.013	-0.021	-0.013	-0.021	0.010	0.016	0.010	0.016
CO	-0.003	0.022	0.016	0.008	-0.003	0.002	0.003	-0.022	-0.007	-0.008	-0.008	-0.004	0.005	-0.003	-0.007	-0.004	0.002	-0.001
BAL	-0.009	-0.013	-0.009	-0.013	-0.001	-0.001	-0.001	0.014	0.009	0.014	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
CO	0.004	0.003	0.000	0.002	-0.004	-0.016	-0.007	0.006	0.001	0.003	0.004	0.007	0.001	0.003	0.001	-0.007	-0.005	-0.002
BAL	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	0.007	0.010	0.010	-0.004	-0.002	-0.004	-0.003	-0.005	-0.003	-0.005	0.002	0.004	0.002	0.004
CO	0.000	0.005	0.003	0.002	-0.001	0.000	0.000	-0.004	-0.001	-0.002	-0.001	0.000	0.001	0.000	-0.001	-0.001	0.000	0.000
BAL	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
	10145.41	414.15	-10855.80	296.24	8407.49	-4286.28	-4121.21	4130.28	-8476.27	4346.00	10825.74	-315.62	-10157.68	-352.44	10168.72	297.50	-10829.17	362.95

Lanjutan Tabel 3.9 Nilai Distribusi Momen

TITIK BUHUL	R			S			T				U				V			W	X	Y	Z	
	r-q	r-n	r-v	s-o	s-t	s-w	t-s	t-p	t-u	t-x	u-t	u-q	u-v	u-y	v-u	v-r	v-z	w-s	x-t	y-u	z-v	
BATANG																						
ANGKA DISTRIBUSI	0.24	0.38	0.38	0.40	0.26	0.34	0.20	0.32	0.20	0.27	0.20	0.32	0.20	0.27	0.26	0.40	0.34	0	0	0	0	
MOMEN PRIMER	10101.97				-10101.97		10101.97			-10101.97		10101.97			-10101.97		10101.97					
BAL	-2429.589	-3836.193	-3836.193	3836.193	2429.589	3836.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-2429.589	-3836.193	-3836.193	0	0	0	0	
CO	0.000	-1918.096	-1918.096	1918.096	0.000	0.000	1214.794	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-1214.794	0.000	0.000	-1918.096	0.000	1918.096	0	0	-1918.096	
BAL	922.629	1456.782	1456.782	-728.391	-461.314	-728.391	-235.521	-371.876	-235.521	-371.876	235.521	371.876	235.521	371.876	461.314	728.391	728.391	0	0	0	0	
CO	117.761	728.391	364.196	-728.391	-117.761	0.000	-230.657	-185.938	117.761	0.000	-117.761	185.938	230.657	0.000	117.761	728.391	0.000	-364.196	-185.9379	185.93792	364.196	
BAL	-291.096	-459.626	-459.626	321.323	203.505	321.323	57.937	91.480	57.937	91.480	-57.937	-91.480	-57.937	-91.480	-203.505	-321.323	-321.323	0	0	0	0	
CO	-69.353	-298.964	-160.662	229.813	28.969	0.000	101.752	109.505	-28.969	0.000	28.969	-109.505	-101.752	0.000	-28.969	-229.813	0.000	160.662	45.73996	-45.73996	-160.662	
BAL	127.223	200.878	200.878	-98.271	-62.239	-98.271	-35.342	-55.803	-35.342	-55.803	35.342	55.803	35.342	55.803	62.239	98.271	98.271	0	0	0	0	
CO	22.435	121.608	49.136	-108.478	-17.671	0.000	-31.119	-35.424	17.671	0.000	-17.671	35.424	31.119	0.000	17.671	100.439	0.000	-49.136	-27.90127	27.901269	49.136	
BAL	-46.461	-73.359	-73.359	47.904	30.340	47.904	9.475	14.961	9.475	14.961	-9.475	-14.961	-9.475	-14.961	-28.406	-44.852	-44.852	0	0	0	0	
CO	-10.651	-39.256	-22.426	34.186	4.738	0.000	15.170	21.311	-4.738	0.000	4.738	-16.818	-14.203	0.000	-4.738	-36.680	0.000	23.952	7.480549	-7.480549	-22.426	
BAL	17.397	27.468	27.468	-14.781	-9.362	-14.781	-6.154	-9.717	-6.154	-9.717	5.096	8.046	5.096	8.046	9.961	15.728	15.728	0	0	0	0	
CO	3.610	20.982	7.864	-18.142	-3.077	0.000	-4.681	-6.175	2.548	0.000	-3.077	5.700	4.981	0.000	2.548	13.734	0.000	-7.391	-4.858685	4.022924	7.864	
BAL	-7.806	-12.325	-12.325	8.058	5.103	8.058	1.611	2.543	1.611	2.543	-1.474	-2.327	-1.474	-2.327	-3.916	-6.183	-6.183	0	0	0	0	
CO	-1.351	-5.349	-3.092	5.687	0.805	0.000	2.552	3.703	-0.737	0.000	0.805	-2.132	-1.958	0.000	-0.737	-6.163	0.000	4.029	1.271555	-1.163741	-3.092	
BAL	2.355	3.718	3.718	-2.465	-1.561	-2.465	-1.070	-1.689	-1.070	-1.689	0.637	1.006	0.637	1.006	1.659	2.620	2.620	0	0	0	0	
CO	0.617	3.740	1.310	-3.066	-0.535	0.000	-0.781	-1.180	0.318	0.000	-0.535	0.974	0.830	0.000	0.318	1.859	0.000	-1.233	-0.844526	0.5028227	1.310	
BAL	-1.363	-2.152	-2.152	1.367	0.866	1.367	0.318	0.503	0.318	0.503	-0.246	-0.388	-0.246	-0.388	-0.524	-0.827	-0.827	0	0	0	0	
CO	-0.140	-0.723	-0.413	1.007	0.159	0.000	0.433	0.617	-0.123	0.000	0.159	-0.222	-0.262	0.000	-0.123	-1.076	0.000	0.684	0.251334	-0.194175	-0.413	
BAL	0.307	0.485	0.485	-0.443	-0.280	-0.443	-0.180	-0.284	-0.180	-0.284	0.063	0.099	0.063	0.099	0.288	0.455	0.455	0	0	0	0	
CO	0.115	0.689	0.228	-0.511	-0.090	0.000	-0.140	-0.240	0.031	0.000	-0.090	0.181	0.144	0.000	0.031	0.243	0.000	-0.221	-0.141894	0.0496567	0.228	
BAL	-0.248	-0.392	-0.392	0.228	0.145	0.228	0.068	0.107	0.068	0.107	-0.046	-0.072	-0.046	-0.072	-0.066	-0.104	-0.104	0	0	0	0	
CO	-0.007	-0.092	-0.052	0.186	0.034	0.000	0.072	0.097	-0.023	0.000	0.034	-0.011	-0.033	0.000	-0.023	-0.196	0.000	0.114	0.053355	-0.036091	-0.052	
BAL	0.036	0.057	0.057	-0.083	-0.053	-0.083	-0.028	-0.045	-0.028	-0.045	0.002	0.003	0.002	0.003	0.053	0.083	0.083	0	0	0	0	
CO	0.023	0.131	0.042	-0.083	-0.014	0.000	-0.026	-0.050	0.001	0.000	-0.014	0.037	0.026	0.000	0.001	0.029	0.000	-0.042	-0.022442	0.0015995	0.042	
BAL	-0.047	-0.074	-0.074	0.037	0.023	0.037	0.015	0.023	0.015	0.023	-0.010	-0.015	-0.010	-0.015	-0.007	-0.011	-0.011	0	0	0	0	
CO	0.002	-0.010	-0.006	0.035	0.007	0.000	0.012	0.014	-0.005	0.000	0.007	0.003	-0.004	0.000	-0.005	-0.037	0.000	0.018	0.011557	-0.0075	-0.006	
BAL	0.003	0.005	0.005	-0.016	-0.010	-0.016	-0.004	-0.006	-0.004	-0.006	-0.001	-0.002	-0.001	-0.002	0.010	0.016	0.016	0	0	0	0	
CO	0.005	0.026	0.008	-0.013	-0.002	0.000	-0.005	-0.011	-0.001	0.000	-0.002	0.008	0.005	0.000	-0.001	0.003	0.000	-0.008	-0.003181	-0.001064	0.008	
BAL	-0.009	-0.015	-0.015	0.006	0.004	0.006	0.003	0.005	0.003	0.005	-0.002	-0.003	-0.002	-0.003	0.000	-0.001	-0.001	0	0	0	0	
CO	0.001	0.000	0.000	0.007	0.002	0.000	0.002	0.002	-0.001	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	-0.001	-0.007	0.000	0.003	0.002511	-0.001698	0.000	
BAL	0.000	0.000	0.000	-0.003	-0.002	-0.003	0.000	-0.001	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.002	0.003	0.003	0	0	0	0	
CO	0.001	0.005	0.002	-0.002	0.000	0.000	-0.001	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.000349	-0.000452	0.002	
BAL	-0.002	-0.003	-0.003	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0	
	8458.37	-4081.66	-4376.71	4700.99	-8071.66	3370.66	10960.48	-423.57	-10207.11	-329.80	10205.01	427.16	-10959.75	327.58	8075.22	-4711.30	-3363.93	1685.33	-164.90	163.79	-1681.96	

- **Free Body**

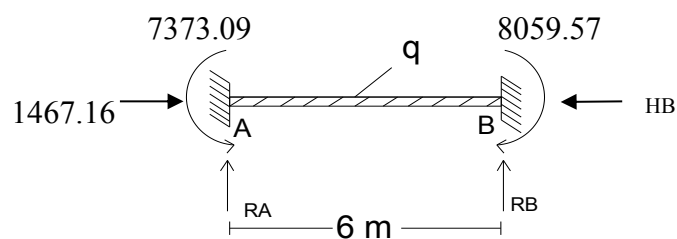


- **Perhitungan Reaksi Perletakan**

- Reaksi Perletakan Balok

Perhitungan reaksi perletakan adalah sebagaimana yang dijelaskan pada perhitungan dibawah ini :

Perhitungan reaksi perletakan pada batang A-B



$$\begin{aligned}
 \sum M_a &= 0 \\
 0 &= -R_b \times 6 \text{ m} + q_l \times \frac{1}{2} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 0 &= -R_b \times 6 \text{ m} + 20203,95 \times \frac{6}{2} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 0 &= -R_b \times 6 \text{ m} + 60611,85 \text{ Kgm} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 6m R_b &= 61298,32 \text{ Kgm} \\
 R_b &= \frac{61298,32 \text{ Kgm}}{6 \text{ m}} \\
 &= 10216,39 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_b &= 0 \\
 0 &= R_a \times 6 \text{ m} - q_l \times \frac{1}{2} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 0 &= R_a \times 6 \text{ m} - 20203,95 \times \frac{6}{2} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 0 &= R_a \times 6 \text{ m} - 60611,85 \text{ Kgm} - 7373,09 \text{ Kgm} + 8059,57 \text{ Kgm} \\
 -6m R_a &= -599925 \text{ Kgm} \\
 R_a &= \frac{-599925 \text{ Kgm}}{-6 \text{ m}} \\
 &= 9987,56 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum H &= 0 \\
 0 &= H_a - H_b \\
 H_b &= H_a \\
 H_b &= 1467,16 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

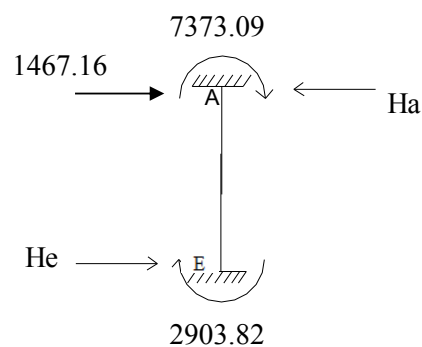
Dari hasil perhitungan reaksi perletakan diatas maka didapat nilai reaksi perletakan pada balok titik A-B. Selanjutnya untuk balok yang lainnya hasil perhitungannya ditampilkan dalam bentuk tabel seperti pada tabel 3.3 dibawah ini :

Tabel 3.10 Nilai Reaksi Perletakan Balok

Nama Batang	H Kg	R1 (Tumpuan Kanan) Kg	R2 (Tumpuan Kiri) Kg
A-B	1467.16	10216.39	9987.56
C-D	7814.34	10895.25	9308.70
D-E	7814.34	9839.82	10364.13
E-F	7814.34	9655.77	10548.18
G-H	7814.34	10434.57	9769.38
H-I	7814.34	10151.05	10052.90
I-J	7814.34	9691.91	10512.04
K-L	7814.34	10526.79	9677.16
L-M	7814.34	10092.56	10111.39
M-N	7814.34	9693.92	10510.03
O-P	7816.34	10493.55	9710.40
P-Q	7814.34	10103.81	10100.13
Q-R	7814.34	9706.84	10497.11
S-T	9515.02	10583.44	9620.50
T-U	9515.02	10101.62	10102.33
U-V	9515.02	9621.22	10582.73

- Reaksi Peletakan Kolom

Sesuai dengan penggambaran gaya yang bekerja pada batang kolom AE maka perhitungan reaksi perletakan yang bekerja pada batang AE adalah sebagai berikut :



$$\begin{aligned}
 \sum M_a &= 0 \\
 0 &= -He \times 3,8 \text{ m} + 2903,82 \text{ Kgm} + 7373,09 \text{ Kgm} \\
 3,8 He &= 10276,92 \text{ Kgm} \\
 He &= \frac{10276,92 \text{ Kgm}}{3,8 \text{ m}} \\
 &= 2704,452 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Sigma M_e &= 0 \\
0 &= -H_a \times 3,8 \text{ m} + 2903,82 \text{ Kgm} + 7373,09 \text{ Kgm} + 1467,16 \text{ Kg} \\
3,8 H_e &= 10276,92 \text{ Kgm} + 1467,16 \text{ Kg} \\
H_e &= \frac{10276,92 \text{ Kgm}}{3,8 \text{ m}} + 1467,16 \text{ Kg} \\
&= 4171,611 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

Begitu selanjutnya untuk perhitungan reaksi perletakan pada kolom yang ada pada portal bangunan, perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah yang sama menggunakan bantuan *Microsoft Excel* dan hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.4 di bawah ini :

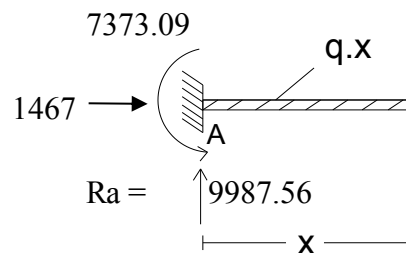
Tabel 3.11 Nilai Reaksi Perletakan Kolom

Batang	Reaksi Perletakan (Kg)	
	Perletakan Atas	Perletakan Bawah
AE	4171.61	2704.45
BF	4998.80	3531.64
CG	10912.18	3097.84
DH	8105.30	290.96
EI	8008.90	194.56
FJ	9708.84	1894.50
GK	9853.10	2038.76
HL	7831.59	17.25
IM	7845.70	31.36
JN	10103.31	2288.97
KO	10024.82	2210.48
LP	7823.37	9.03
MQ	7814.67	0.33
NR	9972.99	2158.65
OS	10195.13	2380.79
PT	7834.10	19.76
QU	7831.24	16.90
RV	10205.92	2391.58
SW	10638.57	1123.55
TX	9551.66	36.64
UY	9551.42	36.40
VZ	10636.33	1121.31

- **Perhitungan Gaya-gaya Dalam**

- Perhitungan Gaya Dalam Balok

Berikut ini dijelaskan langkah perhitungan gaya dalam pada satu balok yaitu balok batang A-B.



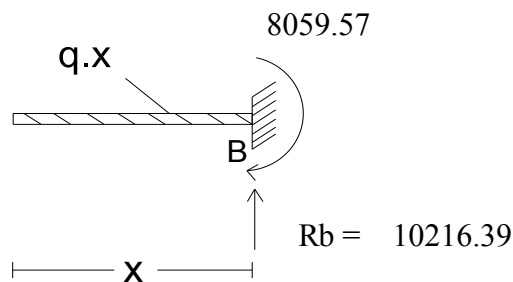
Gambar di atas menunjukkan potongan batang A-B ditinjau dari bagian kiri.

$$\begin{aligned} N_x &= 0 \\ &= 1467 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_a &= 0 \\ &= R_a - \frac{qx}{2} \\ &= 9987,56 \text{ Kg} - \frac{0}{2} \\ &= 9987,56 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= 0 \\ &= R_a \cdot x - M_a - \frac{qx^2}{2} \\ x=0 &= 9987,56 \text{ Kg} \times 0 - 7373,09 \text{ Kgm} - \frac{0}{2} \\ &= -7373,09 \text{ Kgm} \\ x=0,75 &= 9987,56 \text{ Kg} \times 0,75 \text{ m} - 7373,09 \text{ Kgm} - \frac{1894 \text{ Kgm}}{2} \\ &= -829,48 \text{ Kgm} \\ x=1,50 &= 9987,56 \text{ Kg} \times 1,50 \text{ m} - 7373,09 \text{ Kgm} - \frac{7576,48 \text{ Kgm}}{2} \\ &= 3820,01 \text{ Kgm} \\ x=2,25 &= 9987,56 \text{ Kg} \times 2,25 \text{ m} - 7373,09 \text{ Kgm} - \frac{17047,08 \text{ Kgm}}{2} \\ &= 6575,38 \text{ Kgm} \\ x=3 &= 9987,56 \text{ Kg} \times 3 \text{ m} - 7373,09 \text{ Kgm} - \frac{30305,92 \text{ Kgm}}{2} \\ &= 7436,63 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan dilakukan dengan cara yang sama, ditinjau dari bagian kanan batang A-B sesuai dengan gambar potongan A-B di bawah ini :



Gambar di atas menunjukkan potongan batang A-B ditinjau dari bagian kanan.

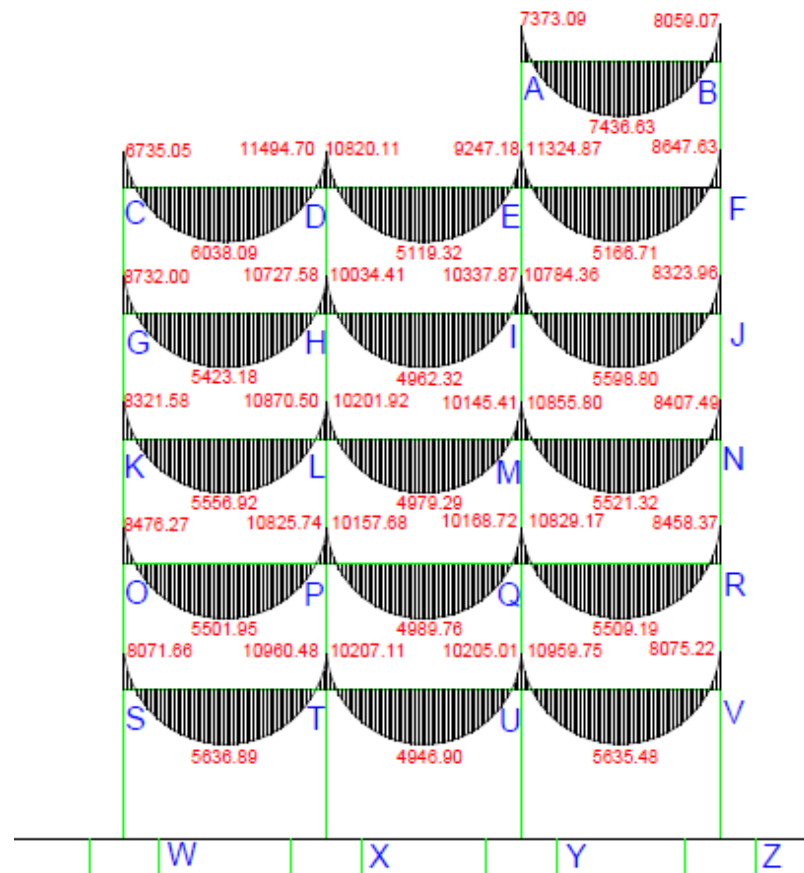
$$\begin{aligned}
 Q_b &= 0 \\
 &= -R_b + \frac{qx}{2} \\
 &= -10216,39 \text{ Kg} + \frac{0}{2} \\
 &= -10216,39 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= 0 \\
 &= R_b \cdot x - M_b - \frac{qx^2}{2} \\
 x=0 &= 10216,39 \text{ Kg} \times 0 - 8059,57 \text{ Kgm} - \frac{0}{2} \\
 &= -8059,57 \text{ Kgm} \\
 x=0,75 &= 10216,39 \text{ Kg} \times 0,75 \text{ m} - 8059,57 \text{ Kgm} - \frac{1894 \text{ Kgm}}{2} \\
 &= -1344,34 \text{ Kgm} \\
 x=1,50 &= 10216,39 \text{ Kg} \times 1,50 \text{ m} - 8059,57 \text{ Kgm} - \frac{7576,48 \text{ Kgm}}{2} \\
 &= 3476,77 \text{ Kgm} \\
 x=2,25 &= 10216,39 \text{ Kg} \times 2,25 \text{ m} - 8059,57 \text{ Kgm} - \frac{17047,08 \text{ Kgm}}{2} \\
 &= 6403,76 \text{ Kgm} \\
 x=3 &= 10216,39 \text{ Kg} \times 3 \text{ m} - 8059,57 \text{ Kgm} - \frac{30305,92 \text{ Kgm}}{2} \\
 &= 7436,63 \text{ Kgm}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode perhitungan yang sama, maka dilakukan perhitungan gaya-gaya dalam Normal, Lintang (Geser) dan Momen dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Kemudian hasil perhitungan gaya-gaya dalam pada balok tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel seperti pada Tabel 3.5 dibawah ini :

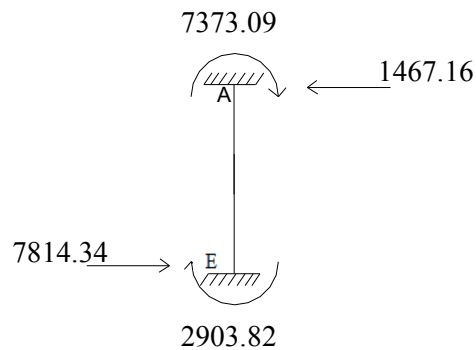
Tabel 3.12 Nilai Gaya Dalam Balok

Nama Batang	Gaya Dalam					
	Normal (Kg)	Geser (Kg)		Momen (Kgm)		
		Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan	Tumpuan Kiri	Lapangan	Tumpuan Kanan
A-B	1467.16	9987.56	-10216.39	-7373.09	7436.63	-8059.57
C-D	7814.34	9308.70	-10895.25	-6735.05	6038.09	-11494.70
D-E	7814.34	10364.13	-9839.82	-10820.11	5119.32	-9247.18
E-F	7814.34	10548.18	-9655.77	-11324.87	5166.71	-8647.63
G-H	7814.34	9769.38	-10434.57	-8732.00	5423.18	-10727.58
H-I	7814.34	10052.90	-10151.05	-10043.41	4962.32	-10337.87
I-J	7814.34	10512.04	-9691.91	-10784.36	5598.80	-8323.96
K-L	7814.34	9677.16	-10526.79	-8321.58	5556.92	-10870.50
L-M	7814.34	10111.39	-10092.56	-10201.92	4979.29	-10145.41
M-N	7814.34	10510.03	-9693.92	-10855.80	5521.32	-8407.49
O-P	7814.34	9710.40	-10493.55	-8476.27	5501.95	-10825.74
P-Q	7814.34	10100.13	-10103.81	-10157.68	4989.76	-10168.72
Q-R	7814.34	10497.11	-9706.84	-10829.17	5509.19	-8458.37
S-T	9515.02	9620.50	-10583.44	-8071.66	5636.89	-10960.48
T-U	9515.02	10102.33	-10101.62	-10207.11	4946.90	-10205.01
U-V	9515.02	10582.73	-9621.22	-10959.75	5635.48	-8075.22

**Gambar 3.10** Diagram Momen Pada Balok

- Perhitungan Gaya Dalam Kolom

Perhitungan gaya dalam kolom adalah seperti yang diuraikan di bawah ini :



$$\begin{aligned} M_x &= 0 \\ &= R \cdot x - M \end{aligned}$$

Nilai momen di titik A tinjau kiri (bagian atas kolom)

$$\begin{aligned} x=0 &= 1467,16 \text{ Kg} \times 0 - 7373,09 \text{ Kgm} \\ &= -7373,09 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Nilai momen di titik E tinjau kanan (bagian bawah kolom)

$$\begin{aligned} x=3,8 &= 7814,34 \text{ Kg} \times 0 + 2903,82 \text{ Kgm} \\ &= 2903,82 \text{ Kgm} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan *Microsoft Excel* maka didapat nilai gaya dalam momen pada seluruh batang kolom pada portal seperti berikut yang ditampilkan dalam tabel 3.6 di bawah ini :

Tabel 3.12 Nilai Gaya Dalam Kolom

Batang	Gaya Dalam Momen (Kgm)	
	Perletakan Atas	Perletakan Bawah
AE	-7373.09	2903.82
BF	-3060.77	5360.67
CG	-6735.05	5036.75
DH	-674.59	431.07
EI	-826.14	86.83
FJ	-3286.96	3912.15
GK	-3695.24	4052.03
HL	-253.10	318.66
IM	-533.32	414.15
JN	-4411.81	4286.28
KO	-4269.55	4130.28
LP	-349.92	315.62
MQ	-296.24	297.50

Lanjutan Tabel 3.12 Gaya Dalam Kolom

NR	-4121.21	4081.66
OS	-4346.00	4700.99
PT	-352.44	423.57
QU	-362.95	427.16
RV	-4376.71	4711.30
SW	-3370.66	1685.33
TX	-329.80	-164.90
UY	-327.58	163.79
VZ	-3363.93	1681.96

Nilai gaya-gaya dalam yang didapat dari perhitungan portal dengan metode cross ini adalah nilai gaya-gaya dalam yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan tulangan untuk perencanaan elemen struktur atas.

Perhitungan Tulangan Elemen Struktur Atas

Perhitungan tulangan elemen struktur atas dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

- a. Perhitungan tulangan balok,
- b. Perhitungan tulangan kolom,
- c. Perhitungan tulangan pelat lantai.

Selanjutnya perhitungan tulangan diuraikan seperti pada perhitungan di bawah ini. Pertama-tama perhitungan tulangan balok :

- **Perhitungan Tulangan Balok**

Berikut di bawah ini Tabel 3.13 menunjukkan nilai momen ultimate paling besar di tiap lantai dan data-data perencanaan untuk perhitungan tulangan balok :

Tabel 3.13 Nilai Momen Ultimate Balok Hasil Perhitungan Cross

Story	Momen yang bekerja			
	Lt 1	Mu tumpuan	-	109.60
Mu lapangan		+	56.37	KNm
Lt 2	Mu tumpuan	-	108.29	KNm
	Mu lapangan	+	55.09	KNm
Lt 3	Mu tumpuan	-	108.71	KNm
	Mu lapangan	+	55.57	KNm
Lt 4	Mu tumpuan	-	107.84	KNm
	Mu lapangan	+	55.99	KNm
Lt 5	Mu tumpuan	-	114.95	KNm
	Mu lapangan	+	60.38	KNm
Lt 6	Mu tumpuan	-	80.60	KNm
	Mu lapangan	+	74.37	KNm

Data teknis perencanaan balok yang digunakan adalah sebagai berikut :

Mutu baja (f_y)	=	400 MPa
Mutu beton (f_c)	=	30 MPa
Selimit beton (S)	=	50 mm
Diameter rencana tulangan (D)	=	13 mm
Faktor reduksi (ϕ)	=	0.8 ketentuan
Faktor pembentuk tegangan beton (β)	=	0.85 ketentuan
Lebar balok (B)	=	350 mm
Tinggi balok (H)	=	500 mm
Tinggi efektif penampang balok (d)	=	444 mm
	=	$h - s - (1/2 \times D_{tul})$

Perhitungan tulangan tumpuan pada lantai satu diuraikan seperti berikut :

Langkah pertama adalah menghitung nilai ρ_b

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta \times \left\{ \frac{600}{600 + f_y} \right\} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times 0,85 \times \left\{ \frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right\} \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung ρ_{\min}

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

Setelah ρ_{\min} hitung ρ_{\max}

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0244\end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai ρ maka terlebih dahulu dihitung nilai M_n , R_m dan m

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{109,60 \text{ KNm} \times 1000000}{0,8} \\ &= 137005984 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\ &= \frac{137005984 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times 444 \text{ mm}^2} \\ &= 1,9901\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\
 &= 15,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,991}{400}} \right) \\
 &= 0,0052
 \end{aligned}$$

Nilai $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ maka untuk perhitungan tulangan digunakan nilai $\rho = 0,0052$

Hitung nilai A_s perlu sebagai nilai luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0052 \times 350 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\
 &= 805,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D \text{ tulangan}^2} \\
 &= \frac{805,05 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\
 &= 6,06 \approx 7 \text{ D } 13
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = $0,5 \times n$ tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 n &= 0,5 \times 7 \\
 &= 3,5 \approx 4 \text{ D } 13
 \end{aligned}$$

Sebagai kontrol, hitung A_s berdasarkan jumlah tulangan yang digunakan kemudian hitung M_n .

$$\begin{aligned}
 A_s &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 929,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sebelum menghitung M_n maka terlebih dahulu hitung nilai a .

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ perlu} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{805,05 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\
 &= 36,08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 929,5 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \left(444 \text{ mm} - \frac{36,08}{2} \right) \\
 &= 158185930 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka sesuai dengan persyaratan dengan menggunakan tulangan 7 D 13 nilai M_n yang ada lebih besar dari nilai M_n akibat gaya yang bekerja pada balok, $M_{n\text{ada}} = 158185930 \text{ Nmm} > M_n = 137005984 \text{ Nmm}$.

Selanjutnya perhitungan tulangan lapangan pada lantai satu diuraikan seperti berikut :

Langkah pertama adalah menghitung nilai ρ_b

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \beta \times \left\{ \frac{600}{600 + f_y} \right\} \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times 0,85 \times \left\{ \frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right\} \\
 &= 0,0325
 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung ρ_{\min}

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400 \text{ MPa}} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

Setelah ρ_{\min} hitung ρ_{\max}

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0325 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

Untuk menghitung nilai ρ maka terlebih dahulu dihitung nilai M_n , R_m dan m

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{56,37 \text{ KNm} \times 1000000}{0,8} \\
 &= 70461167 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b d^2} \\
 &= \frac{70461167 \text{ Nmm}}{350 \text{ mm} \times 444 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,0235
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} \\
 &= \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\
 &= 15,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{15,68} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,68 \times 1,0235}{400}} \right) \\
 &= 0,0026
 \end{aligned}$$

Nilai $\rho < \rho_{\min} < \rho_{\max}$ maka untuk perhitungan tulangan digunakan nilai $\rho_{\min} = 0,0035$

Hitung nilai A_s perlu sebagai nilai luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 350 \text{ mm} \times 440 \text{ mm} \\
 &= 543,29 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan jumlah tulangan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times D \text{ tulangan}^2} \\
 &= \frac{543,29 \text{ mm}^2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2} \\
 &= 4,09 \approx 5 \text{ D } 13
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bawah = $0,5 \times n$ tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 n &= 0,5 \times 5 \\
 &= 2,5 \approx 3 \text{ D } 13
 \end{aligned}$$

Sebagai kontrol, hitung A_s berdasarkan jumlah tulangan yang digunakan kemudian hitung M_n .

$$\begin{aligned}
 A_s &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 663,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sebelum menghitung M_n maka terlebih dahulu hitung nilai a .

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \text{ perlu} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{543,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 350 \text{ mm}} \\
 &= 24,349
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 543,29 \text{ mm}^2 \times 400 \text{ MPa} \times \left(440 \text{ mm} - \frac{24,349}{2} \right) \\
 &= 114547727 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

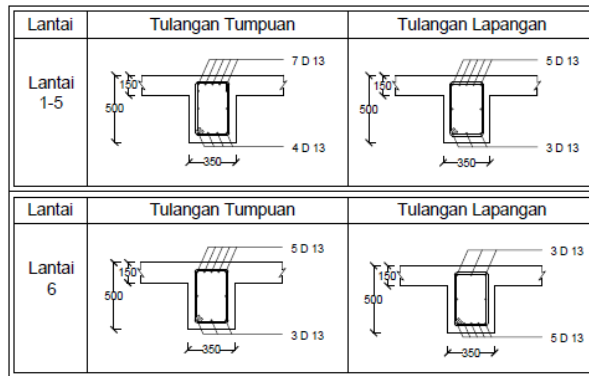
Maka sesuai dengan persyaratan dengan menggunakan tulangan 5 D 13 nilai M_n yang ada lebih besar dari nilai M_n akibat gaya yang bekerja pada balok, $M_{nada} = 114547727 \text{ Nmm} > M_n = 70461167 \text{ Nmm}$.

Selanjutnya dengan metode perhitungan yang sama dan data-data perencanaan diatas maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Dari hasil perhitungan didapat jumlah tulangan balok per lantai seperti pada Tabel 3.14 di bawah ini :

Tabel 3.14 Penulangan Balok Per Lantai Hasil Cross

Lantai	Tulangan			
	Tumpuan		Lapangan	
Lt 1	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 2	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 3	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 4	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 5	Tumpuan Atas	7 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	4 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13
Lt 6	Tumpuan Atas	5 D 13	Lapangan Atas	3 D 13
	Tumpuan Bawah	3 D 13	Lapangan Bawah	5 D 13

Penulangan balok lantai satu sampai dengan lantai lima penulangannya sama yaitu 7 D 13 dan 4 D13 untuk tumpuan dan 5 D 13 dan 3 D 13 untuk lapangan dan untuk lantai enam menggunakan jumlah tulangan yang sama untuk tumpuan dan lapangan yaitu 5 D 13 dan 3 D 13. Penulangannya ditunjukkan seperti pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Penulangan Balok Hasil Cross

- **Perhitungan Tulangan Kolom**

Dari perhitungan pembebanan dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada kolom, maka diketahui :

$$P_u = 1252,2 \text{ kN} = 1252217,184 \text{ N}$$

$$M_u = 73,73 \text{ kN} = 73730000 \text{ Nmm}$$

Kemudian hitung luas penampang kolom (A_{gr})

$$\begin{aligned} A_{gr} &= B \times H \\ &= 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 250000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk menentukan ρ yang akan digunakan dalam perhitungan jumlah tulangan maka digunakan diagram interaksi kolom. Untuk menentukan nilai sumbu vertikal dan sumbu horizontal pada diagram interaksi kolom maka dilakukan perhitungan seperti pada uraian dibawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Sb. Vertikal} &= \frac{P_u}{\phi A_{gr} \times 0,85 f_c} \\ &= \frac{1252217,184}{0,65 \times 250000 \times 0,85 \times 30} \\ &= 0,3 \end{aligned}$$

Untuk melakukan perhitungan untuk nilai sumbu horizontal maka sebelumnya hitung nilai e_t , dimana e_t adalah nilai M_u dibagi dengan P_u .

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{M_u}{P_u} \\ &= \frac{73730000}{1252217,184} \\ &= 58,88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sb. Horizontal} &= \frac{Pu}{\phi Agr \times 0,85 f_c} \times \frac{et}{h} \\
 &= \frac{1252217,184}{0,65 \times 250000 \times 0,85 \times 30} \times \frac{58,88}{500} \\
 &= 0,302 \times 0,12 \\
 &= 0,04
 \end{aligned}$$

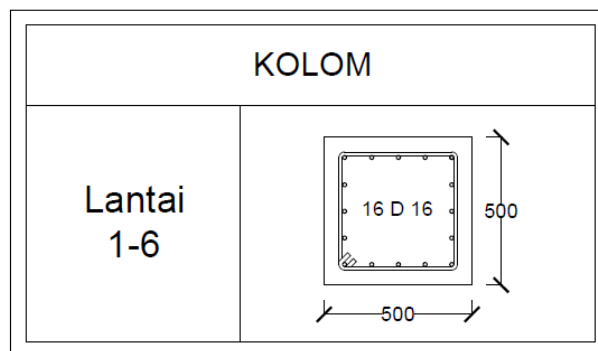
Berdasarkan diagram interaksi kolom yang di plot dari nilai sumbu vertikal dan horisontal maka diperoleh nilai $r = 0,01$ dan diketahui nilai $\beta = 1,2$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{total}}} &= \rho \times Agr \\
 &= 0,012 \times 250000 \text{ mm}^2 \\
 &= 3000 \text{ mm}^2 \\
 A_{D 16} &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 16^2 \\
 &= 201,1429 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang digunakan

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{A} \\
 &= \frac{3000 \text{ mm}^2}{201,1429 \text{ mm}^2} \\
 &= 14,91 \approx 16 \text{ D } 16
 \end{aligned}$$

Jadi untuk penulangan kolom digunakan 16 D 16 dengan penulangan seperti pada Gambar 3.12 di bawah ini



Gambar 3.12 Penulangan Kolom Hasil ETABS

3.5 Perhitungan Pelat Lantai

Sebelum menggambarkan penulangan pelat lantai terlebih dahulu dilakukan perhitungan berdasarkan gaya yang bekerja. Penulangan pelat pada gedung rumah sakit ini dihitung dengan metode koefisien momen seperti yang diuraikan dibawah ini.

Momen yang terjadi pada pelat lantai ini adalah kombinasi dari beban hidup dan beban mati pada bangunan di kalikan dengan panjang dan lebar pelat. Langkah pertama yang dilakukan adalah tinjau momen yang terjadi pada panel 1 dan panel 2.

Perhitungan Momen Pada Pelat Panel 1

- a. Menentukan tebal pelat

Berdasarkan *preliminary design* pelat didapat nilai tebal pelat $h=150\text{mm}=15\text{cm}$

- b. Menentukan beban-beban yang bekerja

1. Beban mati

- Berat sendiri plat	$= 0.15 \cdot 24 \text{ kg/m}^2$	$= 3.6 \text{ kN/m}^2$
- Berat finishing lantai		$= 0.24 \text{ kN/m}^2$
- Berat spesi		$= 0.21 \text{ kN/m}^2$
- Berat plafond dan rangka		$= 0.18 \text{ kN/m}^2$
- Berat instalasi M/E		$= 0.25 \text{ kN/m}^2$
		4.48 kN/m^2
		$Q_d = 448 \text{ kg/m}^2$

2. Beban hidup

$$Q_1 = 250 \text{ kg/m}^2$$

3. Beban berfaktor

$$\begin{aligned} U &= 1,2 (Q_d) + 1,6 (Q_1) \\ &= 1,2 (427) + 1,6 (250) \\ &= 937.6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- c. Menghitung momen-momen pada panel berdasarkan tinjauan panel

$$\text{Rumus} = (0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot x)$$

Kontrol perbandingan L_y dan L_x

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{6}{6} = 1.0$$

$$\begin{aligned} M_{lx} = M_{tx} &= 0.001 \cdot 938 \cdot 6^2 \cdot 36 \\ &= 1215.13 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0.001 \cdot 938 \cdot 6^2 \cdot 36 \\ &= 1215.13 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0.001 \cdot 938 \cdot 6^2 \\ &= 1215.13 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Setelah menghitung momen yang terjadi berdasarkan tinjauan panel, maka dilakukan desain tulangan pelat arah x berdasarkan pada nilai momen maksimum yang terjadi pada pelat, dalam hal ini momen maksimum terjadi pada panel 1 sebesar 2145,12kgm.

Desain Tulangan Arah X

$$M_{lx} = M_{ly} = 1215,13 \text{ Kgm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif} &= h - p - 1/2\Phi \\ \text{(d)} &= 150 - 20 - \frac{1}{2} \times 10 \\ &= 125 \text{ mm} \\ &= 12,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setelah itu lakukan perhitungan Momen Nominal, R_n , m , dan ρ :

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\Phi} \\ &= \frac{1215,13}{0,8} \\ &= 1518,91 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_u}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{1518,91 \cdot 100}{100 \cdot 12,5^2} \\ &= 9,72 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 0,972 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{F_y}{0,85 \cdot F'_c} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 30} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,683}{400}} \right) \\ &= 0,0038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol } \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\ &= \frac{1.4}{400} \\ &= 0.0035 \end{aligned}$$

$$\rho > \rho_{\min} = 0.0038 > 0.0035 \longrightarrow \text{OK !!!}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot F'_c}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0.85 \cdot \left(\frac{0.85 \cdot 30}{400} \right) \cdot \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0.0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{maks}} &= 0.75 \cdot 0.033 \\ &= 0.024 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0.0035 < \rho = 0.0038 < \rho_{\text{maks}} = 0.024 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} A_s = \rho \cdot b \cdot d &= 0.0038 \times 1000 \times 95 && \text{Luas Penampang} \\ &= 361 \text{ mm}^2 && A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak } S &= \frac{1000 \times \text{Luas Penampang Tul.}}{A_s} && A = \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 10^2 \\ &= \frac{1000 \times 78.57}{361} && A = 78.571 \\ &= 217.65 \approx 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi gunakan tul. = ϕ 10 - 200 mm

Kemudian dilakukan perhitungan tulangan arah y dengan metode yang sama. Namun karena momen yang bekerja arah x dan y diasumsikan sama besar maka penulangannya

3.6 Evaluasi

Perhitungan struktur dapat dilakukan dengan perhitungan manual berdasarkan dasar teori yang ada, maupun menggunakan program perhitungan struktur. Masing-masing perhitungan metode perhitungan struktur tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu ketika melakukan perhitungan menggunakan cara manual dalam hal ini penulisan tugas akhir ini menggunakan metode distribusi momen atau Cross dan menggunakan program ETABS v.9.7.0 akan

menghasilkan nilai gaya dalam yang berbeda namun dengan selisih angka yang masih bisa ditoleransi.

Setelah di lakukan perhitungan portal dengan menggunakan metode Cross maka ada beberapa hal yang harus di perhatikan dalam perhitungan yaitu dalam perhitungan koefisien distribusi nilai μ pada setiap titik simpul harus sama dengan 1. Dan sesuai dengan syarat keseimbangan yang berlaku yaitu $\sum V = 0$, $\sum H = 0$, $\sum M = 0$ maka momem di setiap titik buhul pada portal harus sama dengan nol. Kemudian dari hasil perhitungan ini maka akan didapatkan gaya-gaya dalam untuk mendesain balok. Perencanaan plat lantai dan perhitungan dimensi plat ini dihitung dengan metode koefisien momen berdasarkan panel plat yang ditinjau serta mengacu pada peraturan-peraturan yang berlaku. Begitu pula ketika melakukan perhitungan portal dengan ETABS v.9.7.0 diambil nilai gaya dalam maksimum untuk mendesain tulangan struktur.

Dengan merencanakan kembali struktur menggunakan material beton didapati dimensi kolom dan balok yang hampir sama dengan menggunakan material baja ternyata sudah mampu menahan beban yang bekerja pada struktur. Maka dalam perencanaan selanjutnya hal ini dapat menjadi pertimbangan. Walaupun demikian menggunakan material baja maupun beton memiliki kekurangan dan kelebihan. Salah satu kelebihan dengan menggunakan baja adalah waktu pengerjaan yang lebih cepat. Namun jika ditinjau dari segi biaya akan lebih efisien jika menggunakan material beton bertulang, mengingat metode pengerjaan baja yang memerlukan alat berat serta biaya mobilisasi yang besar.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Perencanaan struktur Gedung Kesehatan Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. V. L. Ratumbusang ini dibangun di Jalan Betesda, Sario Manado. Adapun perencanaannya merupakan gedung 6 lantai. Kesimpulan yang dapat ditarik dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Setelah dilakukan perhitungan gaya-gaya dalam dengan menggunakan metode Cross dan program ETABS v.9.7.0 maka didapat nilai gaya dalam yang bekerja pada struktur. Dari perhitungan dengan program ETABS momen maksimum bekerja di balok terdapat pada lantai 5 dengan nilai momen tumpuan 117,01 kNm dan momen lapangan 60,87 kNm . Nilai Pu maksimum sebesar 1503,6 kN. Kemudian dengan menggunakan metode Cross didapat nilai momen tumpuan maksimum terdapat pada lantai 5 sebesar 114,95 kNm dan momen lapangan sebesar 60,38 kNm. Sedangkan Pu bekerja sebesar 1252,2 kNm.
2. Dari hasil perhitungan gaya dalam menggunakan metode Cross maka direncanakan struktur dengan dimensi dan penulangan sebagai berikut :
 - Kolom dengan dimensi 500 mm x 500 mm menggunakan tulangan 16 D16
 - Balok lantai 1-5 dengan dimensi 350 mm x 500 mm menggunakan tulangan tumpuan atas 7 D13, tulangan tumpuan bawah 4 D13. Dan tulangan lapangan atas 3 D13, tulangan lapangan bawah 5 D13.
Balok lantai 6 dengan dimensi 350 mm x 500 mm menggunakan tulangan tumpuan atas 5 D13 dan tulangan tumpuan bawah 3 D13. Tulangan lapangan atas 3 D13 dan tulangan lapangan bawah 5 D13
 - Pelat lantai dengan dimensi tebal 150 mm tulangan arah x sama dengan arah y menggunakan tulangan Ø10-200
3. Dari hasil perhitungan gaya dalam menggunakan program ETABS v.9.7.0 maka direncanakan struktur dengan dimensi dan penulangan yang sama dengan hasil penulangan dari perhitungan berdasarkan nilai gaya dalam dengan perhitungan Metode Cross.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penulisan tugas akhir ini adalah :

- Untuk perencanaan elemen struktur termasuk didalamnya penentuan tulangan kolom balok dan pelat, sebaiknya digunakan ukuran yang hampir seragam dan jumlah tulangan yang sama atau mendekati sehingga mempermudah pelaksanaan pekerjaan di lapangan.
- Dalam melakukan input data pada program ETABS maupun dalam perhitungan dengan cara manual Metode Cross hendaknya dilakukan dengan teliti sesuai dengan asumsi-asumsi yang telah ditetapkan sebelumnya sehingga dapat dilakukan analisis yang mendekati keadaan yang sebenarnya. Selain itu alangkah baiknya jika memahami terlebih dahulu peraturan yang berkaitan dengan perencanaan khususnya SNI 03-2847-2002 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung dan SNI 03-1726-2002 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.