

**TUGAS AKHIR
LITERATUR
STUDI KOMPARASI
HASIL PERHITUNGAN MOMEN
DESAIN PELAT CENDAWAN DENGAN
METODE PERENCANAAN LANGSUNG DAN PORTAL EKIVALEN**



Disusun Oleh :

ELIZAR

No. Mhs. : 88310105

YALFARMON

No. Mhs. : 88310229

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

1997

**TUGAS AKHIR
LITERATUR
STUDI KOMPARASI
HASIL PERHITUNGAN MOMEN
DESAIN PELAT CENDAWAN DENGAN
METODE PERENCANAAN LANGSUNG DAN PORTAL EKIVALEN**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Dalam Rangka
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**

Disusun Oleh :

ELIZAR

No. Mhs. : 88310105

YALFARMON

No. Mhs. : 88310229

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

1997

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
STUDI KOMPARASI
HASIL PERHITUNGAN MOMEN
DESAIN PELAT CENDAWAN DENGAN
METODE PERENCANAAN LANGSUNG DAN PORTAL EKIVALEN

Disusun Oleh :

ELIZAR

No. Mhs. : 88310105

YALFARMON

No. Mhs. : 88310229

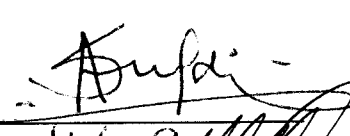
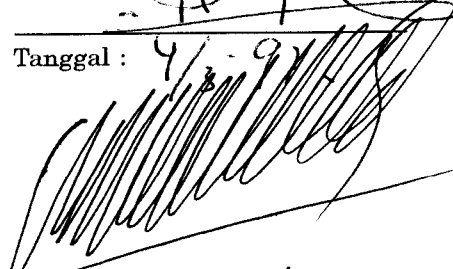
TELAH DIPERIKSA DAN DISETUJUI OLEH :

Ir. H. M. Samsudin

Dosen Pembimbing I

Ir. A. Kadir Aboe, MS

Dosen Pembimbing II

Tanggal : 


Tanggal : 03/03/97

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi persyaratan dalam memperoleh jenjang kesarjanaan Strata Satu (S1) pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Adapun judul Tugas Akhir kami " Studi Komparasi Hasil Perhitungan Momen Desain Pelat Cendawan Dengan Metode Perencanaan Langsung Dan Portal Ekuivalen".

Menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan agar studi ini berlanjut terus agar mendapatkan hasil-hasil yang lebih baik.

Pada kesempatan ini, diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Susastrawan,MS , selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE , selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3. Bapak Ir.H.M.Samsudin, selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir.
4. Bapak Ir.A.Kadir Aboe, MS , selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas amalnya dan akhirnya semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua. Amiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Januari 1997

Penyusun



DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

NOTASI

INTISARI

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Metodologi Perhitungan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Pelat	9
2.2. Sistem Pelat Satu Arah	11
2.3. Pelat Dua Arah	12
2.4. Metode Analisis Struktur Pelat	14
2.5. Metode Pendekatan SK SNI T-15-1991-03 ..	14
2.6. Konsep Pendekatan Struktur Pelat Dua Arah	15
2.7. Momen Statis Total Terfaktor	18

2.8. Geser Pada Pelat	20
-----------------------------	----

BAB III PERENCANAAN

3.1. Tinjauan Umum Perencanaan	22
3.2. Persyaratan Umum	23
3.2.1. Persyaratan Tebal Pelat	23
3.2.2. Persyaratan Tebal Pelat Menggunakan Balok Tepi	23
3.2.3. Persyaratan Kepala Kolom	24
3.2.4. Persyaratan Drop Panel	24
3.3. Metode Perencanaan Langsung	25
3.3.1. Momen Statis Total Terfaktor	26
3.3.2. Menghitung Kekakuan	28
3.3.3. Pengaruh Pola Pembebanan Pada Momen Positif	29
3.3.4. Distribusi Momen di Arah Longitudinal	31
3.3.5. Distribusi Transversal dari Momen Longitudinal	33
3.4. Metode Portal Ekuivalen	34
3.4.1. Kekakuan Kolom	35
3.4.2. Kekakuan Pelat-Balok	37
3.4.3. Komponen Puntir	38
3.4.4. Kenaikan Komponen Puntir	39
3.4.5. Kekakuan Kolom Ekuivalen	39
3.4.6. Pengaturan Beban Hidup	40
3.4.7. Momen Terfaktor	41

BAB IV PERHITUNGAN

4.1. Metode Perencanaan Langsung	43
4.1.1. Bentang (5000x5000) mm	43
4.1.2. Bentang (6500x5000) mm	56
4.1.3. Bentang (8000x5000) mm	69
4.1.4. Bentang (9500x5000) mm	82
4.2. Metode Portal Ekuivalen	95
4.2.1. Bentang (5000x5000) mm	95
4.2.2. Bentang (6500x5000) mm	116
4.2.3. Bentang (8000x5000) mm	137
4.2.4. Bentang (9500x5000) mm	159

BAB V PEMBAHASAN

5.1. Tebal Pelat	181
5.2. Momen Longitudinal	181
5.3. Perbandingan Hasil Hitungan	182

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	185
6.2. Saran	186

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2.1	Gaya-gaya berbagai jenis elemen pelat	10
2.2	Pelat satu arah	11
2.3	Pelat dua arah	12
2.4	Pelat lantai dengan balok-balok	13
2.5	Pelat Cendawan	13
2.6	Pelat datar	14
2.7	Model panel pelat dua arah	17
2.8	Potongan vertikal denah bangunan	17
2.9	Lajur kolom dan lajur tengah portal ideal	18
2.10	Sketsa hitungan momen sederhana M_0	19
3.1	Permukaan lantai tercakup untuk suatu portal kaku ekuivalen dari sistem lantai dua arah	22
3.2	Persyaratan rasio kekakuan balok tepi	23
3.3	Dimensi efektif dari kepala kolom	24
3.4	Persyaratan pertebalan pelat	25
3.5	Statika dari panel-cirian pada sistem pelat cendawan	28
3.6	Momen inersia penampang dengan flens	29
3.7	Efek pola pembebanan terhadap defleksi dan retak	30
3.8	Distribusi M_0 pada momen positif dan negatif	32

3.9	Diagram momen memanjang untuk bentang dalam	33
3.10	Diagram momen diarah memanjang untuk bentang luar	33
3.11	Potongan melintang untuk menghitung kekakuan kolom	36
3.12	Potongan melintang untuk menghitung kekakuan pelat-balok	37
3.13	Diagram kekakuan ekivalen pelat-balok	37
3.14	Faktor Distribusi Momen DF	41
4.1	Denah pelat cendawan	43
4.2	Aksi balok lebar	47
4.3	Aksi dua arah	48
4.4	Portal kaku ekivalen	49
4.5	Balok tepi	53
4.6	Balok dalam	53



DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
3.1	Tebal minimum pelat tanpa balok interior	23
3.2	Nilai rasio kekakuan balok α	31
3.3	Faktor-faktor momen mendistribusikan M_0 pada bentang eksterior	32
3.4	Persentase dari momen arah memanjang dalam jalur kolom	34
4.1	Nilai α , bentang (5000x5000) mm	51
4.2	Distribusi momen arah memanjang	52
4.3	Prosentase distribusi transversal dari momen longitudinal	54
4.4	Distribusi transversal dari momen longitudinal portal A	55
4.5	Distribusi transversal dari momen longitudinal portal B	55
5.1	Perbandingan hasil momen longitudinal	182

NOTASI

- A_C = luas penampang beton yang menahan penyaluran geser
- b_E = lebar efektif flens
- b_O = keliling penampang kritis pada pelat dan pondasi,
mm
- b_w = lebar badan balok
- c_1 = ukuran kolom persegi atau persegi ekuivalen,
diukur dalam arah bentang dimana momen dihitung,
mm
- c_2 = ukuran kolom persegi atau persegi ekuivalen,
diukur dalam arah melintang terhadap bentang
dimana momen dihitung, mm
- C = konstanta penampang untuk menentukan kekakuan
puntir
- d = jarak dari serat tekan terluar ketitik berat tulang
an tarik, mm
- E_{cb} = modulus elastis balok beton
- E_{cc} = modulus elastis kolom beton
- E_{cs} = modulus elastis pelat beton
- f'_c = kuat tekan beton, Mpa
- f_y = tegangan baja luluh yang disyaratkan
- h = tinggi total komponen struktur, mm
- I_C = momen inersia penampang bruto kolom

I_s = momen inersia terhadap sumbu titik pusat bruto pelat

I_{sb} = momen inersia pelat-balok

K_c = kekakuan lentur kolom; momen per unit rotasi

K_s = kekakuan lentur pelat; momen per unit rotasi

K_t = kekakuan puntir komponen torsi struktur; momen per unit rotasi.

l_c = tinggi kolom

l_n = panjang bentang bersih dalam arah momen yang dihitung, diukur dari pusat kepusat tumpuan

l_1 = panjang bentang dalam arah momen yang dihitung, diukur dari pusat kepusat tumpuan

l_2 = panjang bentang dalam arah transversal terhadap l_1 , diukur dari pusat kepusat tumpuan

M_n = kuat momen nominal suatu penampang, Nm

M_o = momen statis total terfaktor

M_u = momen terfaktor pada penampang

t = tebal total pelat

V_n = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang

W_d = beban mati terfaktor per unit luas

W_l = beban hidup terfaktor per unit luas

W_u = beban terfaktor per unit luas

x = dimensi keseluruhan yang lebih pendek dari bagian persegi suatu penampang

y = dimensi keseluruhan yang lebih panjang dari bagian persegi suatu penampang

α = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur suatu pelat dengan lebar yang dibatasi dalam arah lateral oleh sumbu dari panel yang bersebelahan (bila ada) pada tiap sisi dari balok

$$= \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

α_c = rasio dari kekakuan lentur kolom diatas dan dibawah pelat terhadap gabungan pelat dan balok pada suatu joint, dalam arah bentang dimana momen dihitung

$$= \frac{\Sigma K_c}{\Sigma (K_s + K_b)}$$

α_{min} = nilai rata-rata α untuk semua balok pada tepi suatu pelat

α_1 = α dalam arah l_1

α_2 = α dalam arah l_2

β_0 = rasio beban mati per unit luas terhadap beban hidup per unit luas (masing-masing tanpa faktor beban)

β_t = rasio kekakuan puntir penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur dari suatu pelat dengan lebar yang sama dengan bentang balok, diukur dari sumbu ke sumbu tumpuan

$$= \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s}$$

δ_s = faktor pembesar momen untuk rangka yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, untuk menggambarkan penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.



INTISARI

Pelat cendawan adalah pelat beton rata, yang tidak mempunyai gelagar dan girder. Sedangkan pada pertemuan kolom-pelat terdapat drop panel yaitu penebalan pelat disekitar tumpuan kolom, dan kapital kolom (kepala kolom) yaitu pembesaran ujung kolom atas.

Untuk mendesain pelat cendawan, dalam SK SNI T-15-1991-03 dipakai metode perencanaan langsung dan metode portal ekuivalen. Dalam tulisan ini dicoba membandingkan besarnya momen desain pada kedua metode tersebut, sehingga didapat metode yang lebih efektif, tetapi memenuhi syarat desain pelat tersebut.

Dari hasil perhitungan dengan metode portal ekuivalen dan perencanaan langsung didapat momen-momen desain yang berbeda. Pada hasil perhitungan kedua metode ini dapat disimpulkan bahwa, metode portal ekuivalen didapat hasil momen desain yang lebih teliti dibandingkan dengan metode perencanaan langsung, hal ini disebabkan metode portal ekuivalen memerlukan pendistribusian momen beberapa kali, sedangkan metode perencanaan langsung hanya berupa pendekatan dengan satu kali distribusi momen. Dengan metode perencanaan langsung, perhitungan momen desainnya menjadi lebih praktis namun hasilnya kurang teliti, akan tetapi sudah bisa dijadikan acuan untuk mendesain pelat cendawan berdasarkan SK SNI T-15-1991-03.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pelat adalah bagian dari konstruksi yang lurus dan datar, tidak melengkung, yang berfungsi menahan beban lentur arah memanjang dan melintang. Pelat mempunyai ketebalan yang lebih kecil dibanding dengan bagian struktur yang lainnya seperti kolom dan balok. Pelat-pelat beton bertulang dipakai sebagai lantai, atap dan dinding gedung serta sebagai lantai dari suatu jembatan.

Dalam merencanakan suatu desain pelat, cara yang digunakan umumnya adalah penulangan satu arah dan penulangan dua arah. Penulangan dua arah digunakan bila nilai perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua. Sedangkan bila perbandingan antara panjang dan lebar lebih dari dua maka digunakan penulangan satu arah.[4]

Pada sistem struktur bentang menerus, balok bertugas meneruskan beban yang disangga sendiri maupun dari pelat langsung kepada kolom penyangga tanpa menggunakan balok yang disebut lantai cendawan (flat-slab) dan lantai datar (flat-plate). Kontinuitas penulangan pelat diteruskan kedalam balok-balok dan kemudian diteruskan masuk ke dalam kolom atau dari pelat langsung ke kolom.

Kolom-kolom penyangga memberikan tekanan pons yang akan menembus pelat keatas. Sistem kerja demikian berakibatkan timbulnya tegangan geser cukup besar yang dinamakan geser pons dan apabila pelat tidak kuat, pelat akan retak atau bahkan pecah tertembus. Pada umumnya untuk mengatasi tekanan pons, di tempat kolom penumpu pelat diberi penebalan berupa "drop panel" atau memperbesar ukuran kolom di ujung atas ditempat tumpuan yang biasanya disebut sebagai kapital kolom atau kepala kolom. Apabila sistem tersebut digunakan untuk struktur dengan bentangan lebih pendek dan beban yang didukung lebih ringan, dapat pula dibuat tanpa menggunakan "drop panel" dan kepala kolom, sehingga disebut pelat rata dan didukung langsung oleh kolom.[4]

Pelat sebagai lantai menerus yang diperkuat dalam dua arah yang dipikul langsung oleh kolom-kolom banyak dijumpai pada gedung-gedung, pelat ini banyak memberi keuntungan, baik dari segi biaya maupun dari segi penataan ruang. Pada gedung bertingkat, penggunaan lantai menerus tanpa balok, ketinggian akan berkurang karena dengan tanpa balok maka lantai lebih rendah, langit-langit rata dan kemungkinan menggeser kolom dapat diatasi. Ditinjau dari segi artistik, jendela-jendela dapat dibuat sampai sisi bawah pelat dan tidak ada balok-balok yang menghalangi cahaya dan sirkulasi udara. Ditinjau dari segi ekonomis, akan mengurangi penggunaan acuan.

Untuk mendapatkan gaya-gaya yang terjadi pada suatu

balok pelat lantai tanpa balok pendukung dapat dianalisa dengan berbagai cara, diantaranya adalah dengan cara koefisien momen dan cara portal ekuivalen.

Dalam tulisan ini akan dibahas kedua metode tersebut, dari hasil perhitungan kedua metode tersebut akan didapat metode yang mana paling efisien dan paling mudah.

1.2. Tujuan

Studi ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil perhitungan pada pelat tanpa balok pendukung dengan menggunakan "drop panel" dan "kapital kolom" pada kolom cara perhitungan koefisien momen dan portal ekuivalen.

1.3. Batasan-batasan masalah

Pada studi perbandingan ini, batasan masalah dibuat agar masalah-masalah yang akan dibahas lebih terarah. Batasan-batasan masalah adalah sebagai berikut:

1. Jenis struktur yang akan dianalisis berupa sistem pelat lantai berbentuk persegi empat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendek maksimum dua atau dengan pelat dua arah.
2. Jenis kolom yang digunakan berbentuk lingkaran.
3. Beban yang diterima hanya beban gravitasi.
4. Perhitungan berdasarkan beban maksimum.
5. Struktur kolom bangunan dengan menggunakan drop panel (pertambahan tebal pelat di daerah kolom).
6. Struktur kolom bangunan menggunakan kapital kolom (pelebaran yang mengecil dari ujung kolom atas).

1.4. Metodologi Perhitungan

Untuk memperoleh suatu kesimpulan dalam studi perbandingan desain suatu pelat cendawan, maka digunakan cara koefisien momen dan cara portal ekuivalen berdasarkan SK SNI T-15-1991-03. Dengan metode ini diharapkan dapat diperoleh hasil desain pelat yang efisien.

Dalam SK SNI T-15-1991-03, cara perencanaan langsung harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam setiap arah.
2. Panel harus berbentuk persegi dengan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendek diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan, tidak lebih dari dua.
3. Panjang dari bentang yang berurutan diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan dalam tiap arah tidak boleh berbeda lebih dari sepertiga bentang-bentang yang terpanjang. Posisi kolom menyimpang maksimum 10% dari bentang (dalam arah menyimpang) dari sumbu antara garis pusat kolom yang berurutan.
4. Beban yang diperhitungkan hanya beban gravitasi dan tersebar merata pada seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi $\frac{3}{4}$ kali beban mati.

Perencanaan dengan portal atau cara rangka ekuivalen dalam SK SNI T-15-1991-03 harus sebagai berikut:

1. Cara rangka ekuivalen ditentukan:
 - a. Struktur harus dianggap terdiri dari rangka ekuivalen pada bidang kolom yang diambil dalam longitu

dinal dan transversal dari bangunan.

- b. Setiap rangka harus terdiri dari suatu baris kolom atau tumpuan dan jalur pelat-balok harus dibatasi dalam lateral oleh garis sumbu dari panel pada setiap sisi dari garis sumbu kolom atau tumpuan.
- c. Kolom atau tumpuan harus dihubungkan pada jalur pelat-kolom oleh komponen puntir yang arahnya transversal terhadap arah bentang yang sedang ditentukan momennya dan menerus hingga garis sumbu lateral panel yang membatasi tiap sisi suatu kolom.
- d. Rangka yang berada disebelah dan sejajar terhadap suatu tepi harus dibatasi oleh tepi tersebut dan garis sumbu lateral panel yang membatasi tiap sisi suatu kolom.
- e. Setiap rangka ekuivalen boleh dianalisa sebagai suatu kesatuan atau untuk beban gravitasi. Setiap lantai dan atap (pelat-balok) boleh dianalisis secara terpisah dengan asumsi bahwa ujung terjauh dari kolom dijepit.
- f. Bila pelat-balok dianalisis secara terpisah dalam menentukan momen pada suatu tumpuan boleh diasumsikan bahwa pelat baloknya terjepit pada tumpuan yang berjarak dua panel dari tumpuan yang ditinjau, asalkan pelatnya masih menerus melampaui titik tumpuan jepit tersebut.

2. Pelat-Balok:

- a. Momen inersia dari pelat-balok pada sembarang penampang diluar joint suatu kepala kolom, boleh

didasarkan pada penampang bruto kolom.

- b. Variasi dari momen inersia sepanjang sumbu dari pelat-balok harus diperhitungkan.
- c. Momen inersia pelat-balok dari sumbu kolom hingga muka kolom, konsol pendek atau kepala kolom harus dianggap sama dengan momen inersia pelat-balok pada muka kolom, konsol pendek atau kepala kolom dibagi dengan besaran $(1-C_2/L_2)^2$ dimana C_2 dan L_2 diukur dalam arah transversal terhadap bentang yang sedang dihitung momennya.

3. Kolom:

- a. Kolom inersia momen pada sembarang penampang di luar joint atau kepala kolom boleh didasarkan pada penampang bruto beton.
- b. Variasi dari momen inersia sepanjang sumbu kolom harus diperhitungkan.
- c. Momen inersia kolom dari puncak hingga dasar dari pelat-balok pada sumbu suatu joint harus dianggap tidak terhingga.

4. Komponen puntir:

- a. Komponen puntir harus diasumsikan mempunyai suatu penampang yang konstan seluruh panjang komponen diambil yang terbesar dari:
 - Sebagian dari pelat lebarnya sama dengan lebar kolom konsol pendek atau kepala kolom dalam arah bentang yang sedang ditinjau momennya.
 - Untuk struktur monolit atau komposit penuh,

bagian yang ditentukan pada butir di atas ditambah dengan bagian balok transversal yang berada di atas dan di bawah pelat.

- b. Kekakuan K_t dari komponen puntir harus dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$K_t = \Sigma \frac{9 E_{CS} C}{l_2(1 - c_2/l_2)^3} \dots\dots\dots (1.1)$$

dimana c_2 dan l_2 berkaitan dengan bentang transversal pada tiap sisi kolom.

- c. Konstanta C dalam persamaan (1.1) boleh dihitung dengan membagi penampang yang ditinjau menjadi beberapa bagian penampang persegi yang terpisah dan kemudian melakukan penjumlahan berikut :

$$C = \Sigma \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3} \dots\dots\dots (1.2)$$

- d. Bila terdapat balok yang merangka ke dalam kolom yang dalam arah bentang yang ditinjau momennya, harga K_t yang dihitung berdasarkan persamaan (1.2) harus dikalikan dengan rasio dari momen inersia pelat dengan balok yang ada terhadap momen inersia pelat tanpa memperhitungkan balok tersebut.

5. Pengaturan beban hidup:

- a. Bila pola pembebanan diketahui, maka rangka ekuivalen harus dianalisis terhadap beban tersebut.
- b. Bila beban hidup bervariasi tetapi tidak melebihi $3/4$ beban mati atau bila kondisi dari beban hidup

adalah sedemikian rupa hingga semua panel akan terbebani sekaligus, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup terfaktor pada seluruh sistem pelat.

- c. Untuk kondisi beban yang lain, dari definisi diatas (butir b) momen puntir maksimum terfaktor boleh dianggap bekerja didekat tengah bentang dari suatu panel dengan $3/4$ dari beban hidup penuh terfaktor pada panel yang ditinjau pada panel-panel lain yang berselang dan momen negatif maksimum terfaktor pada pelat pada suatu tumpuan boleh dianggap terjadi dengan pengaturan $3/4$ dari beban hidup penuh terfaktor pada panel yang bersebelahan saja.
- d. Momen terfaktor harus diambil tidak dari yang didapat berdasarkan kondisi beban hidup penuh terfaktor pada semua panel. [1]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum Pelat

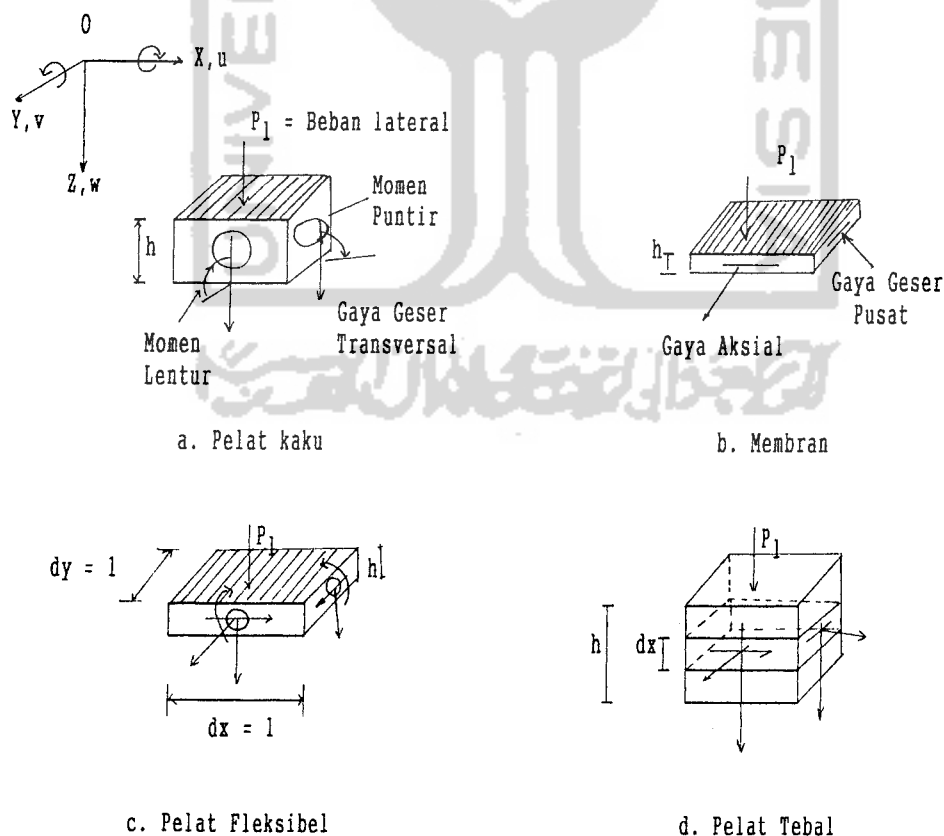
Pelat adalah bagian dari struktur bangunan yang merupakan struktur bidang (permukaan) yang lurus, datar atau melengkung yang tebalnya jauh lebih kecil dibanding dengan dimensi struktur lainnya. Bentuk bidang pelat bisa berbentuk persegi panjang, bulat, bujursangkar dan dimensi dari pelat bisa dibatasi oleh suatu garis lurus atau lengkung. Ditinjau dari segi statika, kondisi tepi (boundary condition) pelat bisa bebas (free), bertumpu sederhana (simply supported) dan jepit. Beban statis dan dinamis yang dipakai oleh pelat umumnya tegak lurus dengan permukaan pelat. [3]

Pelat secara umum berdasarkan aksi strukturalnya, dibedakan menjadi empat kategori utama yaitu :

1. Pelat kaku : pelat tipis yang memiliki tegangan lentur (flexural rigidity) dan memikul beban dengan aksi dua dimensi, terutama dengan momen dalam (lentur dan puntir) dan gaya geser transversal, yang umumnya sama dengan balok (gambar 2.1.a).
2. Membran : pelat tipis tanpa tegangan lentur dan memikul beban lateral dengan gaya geser aksial dan gaya geser terpusat (gambar 2.1.b.). Aksi pemikul beban

seperti ini bisa didekati dengan jaringan kabel yang tegang, karena ketebalannya yang sangat tipis membuat daya tahan momennya dapat diabaikan.

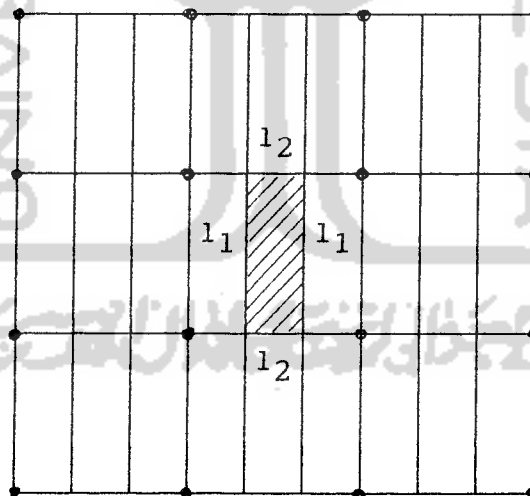
3. Pelat fleksibel : gabungan dari pelat kaku dan membran, memikul beban luar dengan gabungan aksi momen dalam, gaya geser transversal dan gaya geser pusat, serta gaya aksial (gambar 2.1.c). Pelat seperti ini sering dipakai dalam industri ruang angkasa karena perbandingan berat dengan bebannya menguntungkan.
4. Pelat tebal : merupakan pelat yang kondisi tegangan dalamnya menyerupai kondisi kontinu tiga dimensi (gambar 2.1.d). [2]



Gambar 2.1. Gaya-gaya berbagai jenis element pelat. [2]

2.2. Sistem Pelat Satu Arah

Biasanya bangunan-bangunan struktur beton bertulang yang umum dan dasar, adalah tipe struktur pelat, balok-balok induk dan gelagar (gambar 2.2). Luas pelat yang diarsir dibatasi oleh dua sisi panjang pelat dan dua sisi pendek pelat pada kedua ujungnya. Jika panjang dari luasan ini dua kali atau lebih besar daripada lebarnya, maka hampir semua beban lantai menuju sisi panjang pelat dan hanya sebagian kecil yang akan menyalur secara langsung kesisi pendek pelat. Kondisi pelat lantai ini dapat direncanakan sebagai pelat satu arah dengan tulangan utama sejajar dengan sisi pendek pelat, dan tulangan susut sejajar dengan sisi panjang pelat. [4]

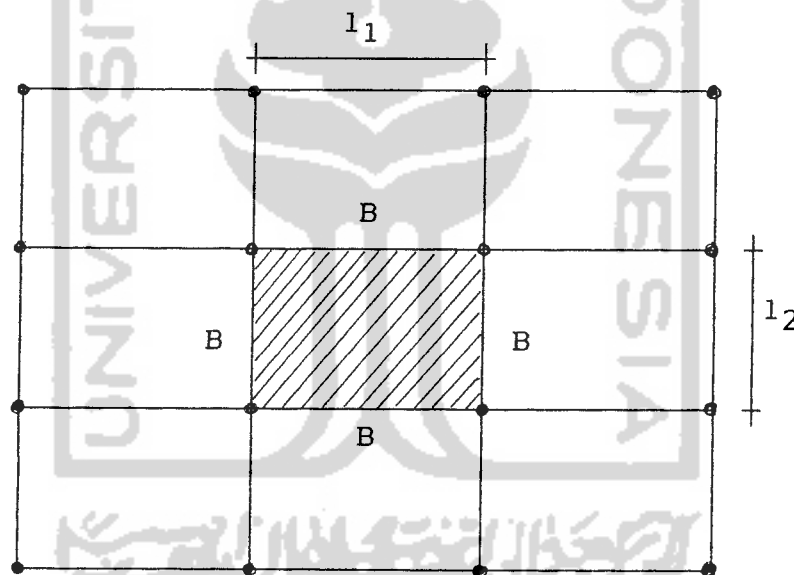


Gambar 2.2. Pelat Satu Arah

Sistem pelat satu arah bisa terjadi pada pelat tunggal maupun pelat menerus, asalkan persyaratan perbandingan panjang bentang kedua sisi pelat terpenuhi.

2.3. Pelat Dua Arah

Sistem pelat dua arah dapat juga terjadi pada bentang tunggal maupun pelat menerus, asalkan persyaratan perbandingan bentang panjang (l_1) terhadap bentang pendek (l_2) kurang dari dua (gambar 2.3). Beban pelat pada jenis pelat ini disalurkan ke empat sisi pelat atau ke empat balok pendukung, akibatnya tulangan utama pelat diperlukan pada kedua arah sisi, pelat. Permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda.

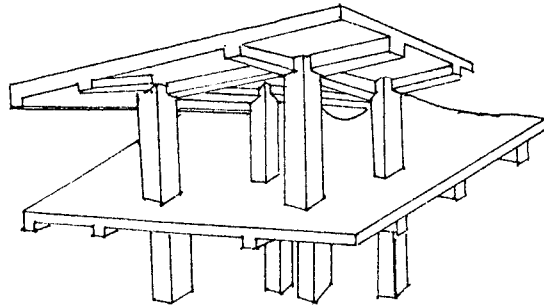


Gambar 2.3. Pelat Dua Arah

Jenis sistem pelat dua arah secara umum ada tiga macam yaitu :

1. Pelat dengan balok-balok (two way slab).

Merupakan pelat dua arah dengan adanya balok-balok sepanjang garis kolom dalam maupun luar (gambar 2.4).

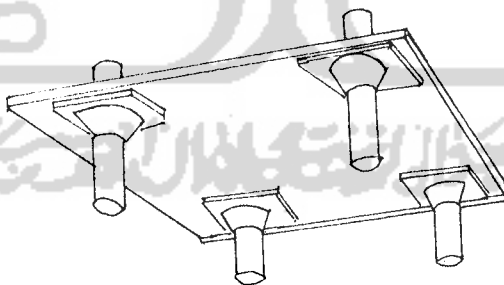


Gambar 2.4. Pelat lantai dengan balok-balok

2. Pelat cendawan (flat / waffle slab)

Merupakan pelat yang mempunyai kekuatan geser yang cukup dengan adanya salah satu atau dua hal berikut :

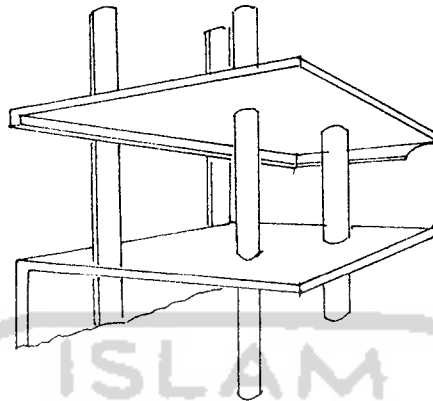
- a. Drop panel (penambahan tebal pelat di dalam daerah kolom)
- b. Kepala kolom (coulum capital) yaitu pelebaran yang mengecil dari ujung kolom atas (gambar 2.5.).



Gambar 2.5. Pelat cendawan

3. Pelat datar (flate plate)

Merupakan pelat tanpa balok-balok pada sepanjang garis kolom dalam, balok-balok tepi dapat dipakai, dapat juga tidak dipakai (gambar 2.6).



Gambar 2.6. Pelat lantai datar

Penggunaan ketiga jenis pelat tidak jauh berbeda, karena terdapat aksi dua arah di dalam ketiga jenis pelat tersebut. Perbedaan terletak pada ada tidaknya balok-balok diantara kolom untuk pelat dua arah, kecuali adanya balok-balok tepi sepanjang sisi luar pelat.

2.4. Metode Analisis Struktur Pelat

Dalam menganalisis suatu pelat ada beberapa metode yang digunakan, diantaranya metode klasik, metode pendekatan numerik, pendekatan cara PBI'71, metode pendekatan SK SNI T-15-1991-03, metode garis lurus (yield line method), dan metode jaringan balok silang . Pada tulisan ini digunakan metode pendekatan SK SNI T-15-1991-03.

2.5. Metode Pendekatan SK SNI T-15-1991-03

Pada metode pendekatan SK SNI T-15-1991-03, menggunakan cara perencanaan langsung (direct desain method) dan cara portal ekuivalen (equivalen frame method).

2.6. Konsep Pendekatan Struktur Pelat Dua Arah

SK SNI T-15-1991-03 memberikan dua alternatif pendekatan untuk analisis dan perencanaan sistem pelat dua arah, metode perencanaan langsung dan metode portal ekuivalen. Kedua metode tersebut dapat digolongkan sebagai metode semi elastik yaitu pendekatan dengan penerapan faktor keamanan terhadap kapasitas kekuatannya.

Untuk membahas lenturan pelat dua arah, mula-mula ditinjau perilaku fisik suatu panel pelat segi empat yang ditumpu komponen struktur sangat kaku pada keempat sisinya. Bila pelat menerima beban luar termasuk beban gravitasi dan berat sendiri yang bekerja padanya, pelat akan mengalami lendutan bila sudut-sudutnya tidak dicetak monolit dengan tumpuannya, akibatnya pelat akan terangkat. Semakin beban yang diterima maka semakin besar derajat cekungan dan makin besar momennya.

Untuk pelat yang panjang dan lebarnya tidak sama, cekungan lebih curam pada potongan melintang tegak lurus sisi panjangnya, maka momen yang terjadi lebih besar pada sisi panjang atau beban lebih besar pada arah bentang pendek. Intensitas kecuraman cekungan yang berarti juga besarnya momen berikut distribusinya pada masing-masing arah tergantung pada derajat kekakuan tumpuan. Oleh sebab itu faktor kekakuan dari tumpuan sangatlah berpengaruh dalam menerima momen beserta distribusinya dalam masing-masing arah. [5]

Dengan menggunakan model pelat seperti gambar 2.7., dilakukan peninjauan lajur AB dan DE pada masing-masing tengah bentang panjang dan lebar. Dan lendutan balok diatas tumpuan sederhana akibat beban merata adalah :

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{W_u (l)^4}{E_c \cdot I_e} \quad \text{atau} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\Delta = k \cdot W_u \cdot l_n^4 \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana $k = \frac{5}{384 E_c I_e} \dots\dots\dots (2.3)$

masing-masing lajur mengalami lendutan :

$$AB = K_{WAB} (l_1)^4 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$DE = K_{WDE} (l_2)^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

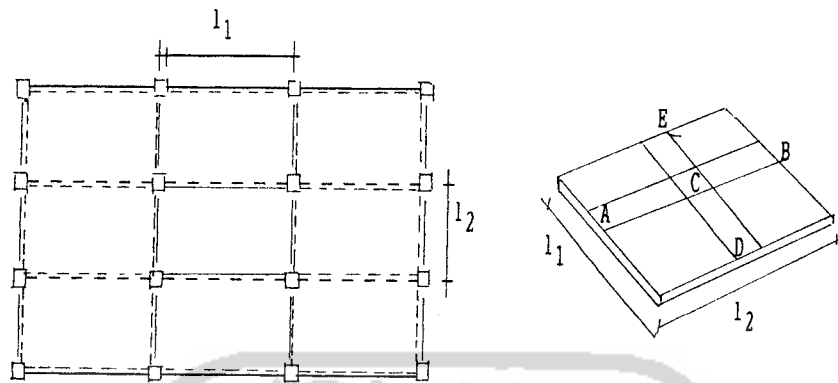
W_{AB} dan W_{DE} = bagian total dari W_u yang ditranformasikan ke jalur AB dan DE.

maka, $W_u = W_{AB} + W_{DE} \dots\dots\dots (2.6)$

Dari persamaan-persamaan diatas didapat :

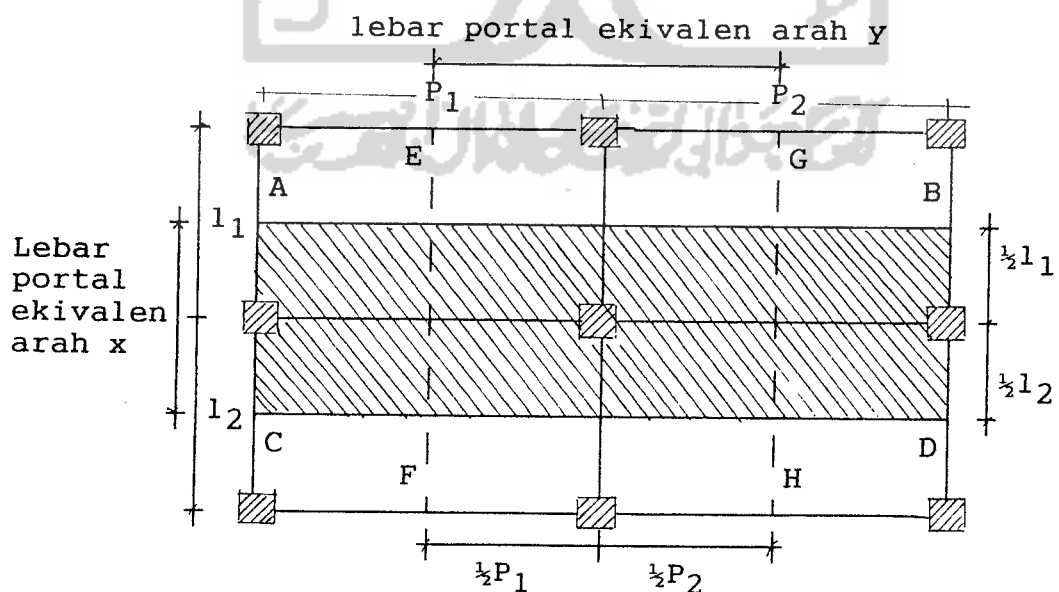
$$W_{AB} = \frac{W (l_2)^4}{l_1^4 + l_2^4} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$W_{DE} = \frac{W (l_1)^4}{l_1^4 + l_2^4} \dots\dots\dots (2.8)$$



Gambar 2.7. Model panel pelat dua arah

Dasar metode untuk analisis dan perencanaan pelat dua arah ialah dengan menggunakan rangka portal idealisasi yang didapat dengan melakukan pemotongan fiktif vertikal pada seluruh bangunan di sepanjang garis tengah antara kolom, sehingga menghasilkan beberapa portal yang melalui diantara garis-garis tengah dari dua panel yang berdekatan (gambar 2.8).

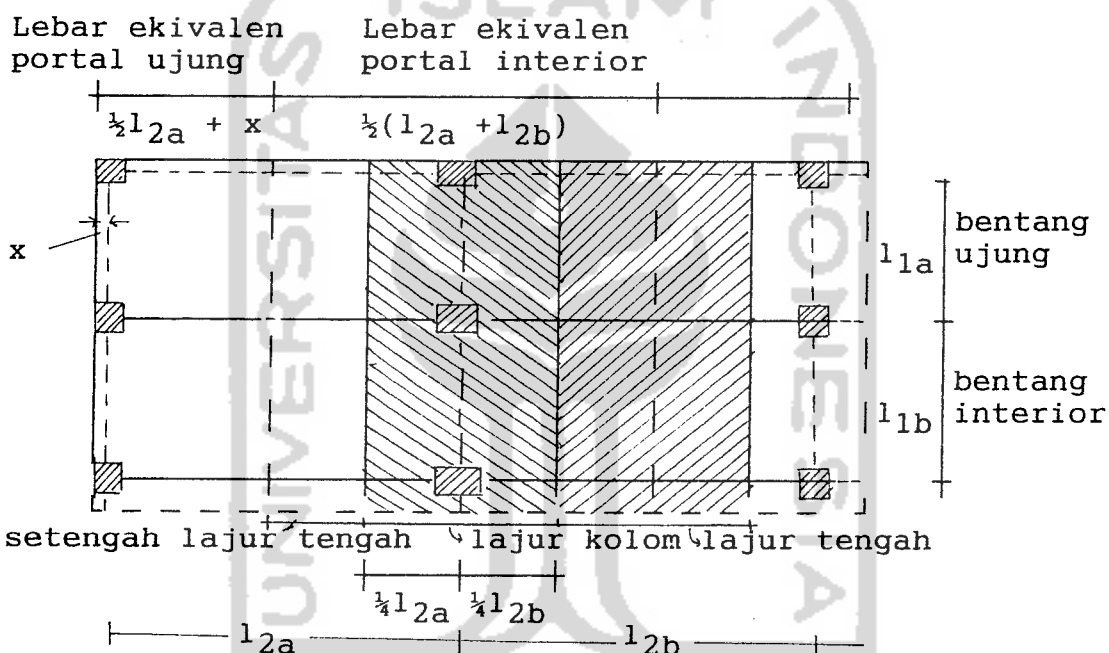


Gambar 2.8. Potongan Vertikal Denah Bangunan [5]

2.7. Momen Statis Total Terfaktor

Pada balok tumpuan sederhana momen statis total adalah : $M_0 = 1/8.w.l^2$ (2.9)

Sedangkan momen statis total terfaktor (rencana) untuk pelat dua arah, suatu bentang ditentukan dalam lajur yang dibatasi oleh sumbu-sumbu panel yang bersebelahan pada tiap sisi dari suatu tumpuan (gambar 2.9.).



Gambar 2.9. Lajur Kolom dan Lajur Tengah Portal Ideal

Panjang panel yang ditinjau l_1 , sedangkan l_2 panjang panel arah tegak lurus dari panel yang ditinjau. Bentang bersih dari panel yang ditinjau adalah l_n , yaitu jarak antara muka kolom. Bentang bersih yang didapat tidak boleh kurang dari $0,65 l_1$. Bila digunakan kolom atau kepala kolom berbentuk lingkaran harus diekivalensikan menjadi bujursangkar dengan luas penampang sama.[5]

Pada peninjauan beban yang bekerja pada benda bebas (free body) seperti ditunjukkan gambar 2.10, gaya-gaya

yang bekerja sepanjang bentang l_1 adalah $\frac{1}{2} W_u l_2 l_{n1}$,
 dimana W_u adalah beban berfaktor persatuan luas dan l_{n1}
 adalah bentang bersih, seperti terlihat pada gambar (b)
 tengah bentang M_o adalah :

$$M_o = \frac{1}{2}(W_u l_2 l_{n1}) \frac{1}{2}(l_{n1}) - \frac{1}{2}(W_u l_2 l_{n1}) \frac{1}{4}(l_{n1}) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$= \frac{1}{8} W_u l_2 (l_{n1})^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

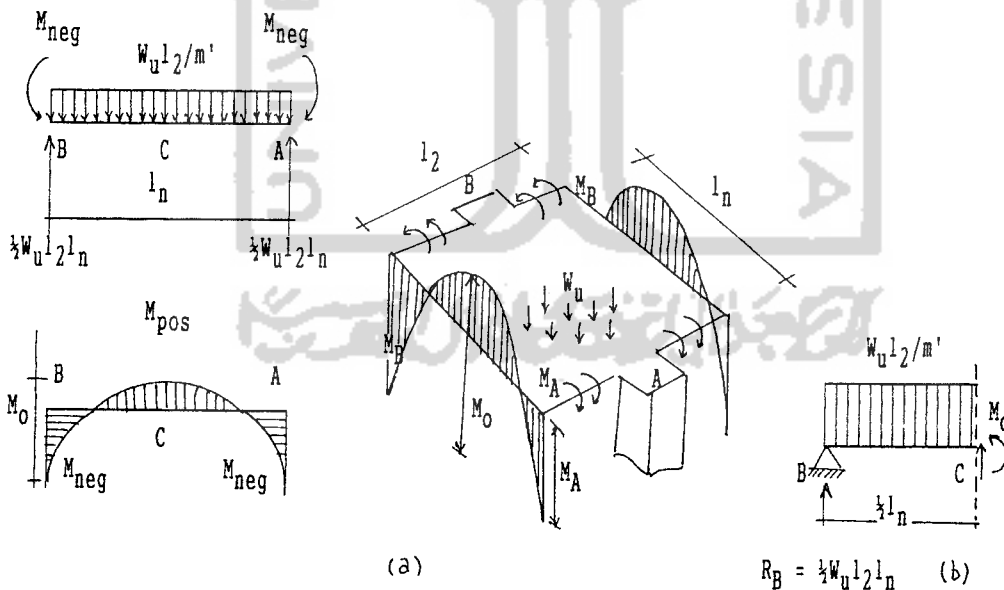
dimana :

W_u = beban berfaktor persatuan luas

l_{n1} = bentang bersih pada bentang yang ditinjau

l_1 = panjang bentang arah yang ditinjau diukur dari
 pusat ke pusat tumpuan.

l_2 = panjang bentang arah tegak lurus bentang yang
 ditinjau dari pusat ke tumpuan.



Gambar 2.10. Sketsa Hitungan Momen Sederhana M_o

Karena adanya tahanan pada tumpuan, M_o akan terdistribusi
 ke tumpuan maupun lapangan yang besarnya tergantung dari
 nilai banding derajat kekakuannya melalui persamaan

berikut :

$$M_O = M_C - \frac{1}{2} (M_A + M_B) \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana, M_C = Momen tengah bentang

M_A = Momen negatif kanan bentang

M_B = Momen positif kiri bentang

2.8. Geser Pada Pelat

Pelat termasuk komponen struktur lentur tinggi. Untuk perencanaan komponen struktur lentur tinggi terhadap geser harus memenuhi ketentuan dalam SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.4.8. sebagai berikut :

1. Perencanaan penampang akibat geser didasarkan pada

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

V_n = kuat geser nominal

$$V_n = V_c + V_s$$

V_c = kuat geser nominal beton

V_s = kuat nominal tulangan geser

2. Untuk komponen struktur yang dibebani oleh geser dan lentur saja ;

$$V_c = (\sqrt{f'_c}/6) \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.14)$$

3. Jika $V_u \geq \phi V_c$ digunakan tulangan geser horisontal, maka :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2.15)$$

A_v = luas tulangan geser dalam jarak s

4. Kuat geser V_g tidak boleh lebih dari $(2\sqrt{f'_c}/3)b_w.d$

5. Kuat geser nominal :

$$V_n \leq \phi V_c = (1 + 2/\beta_c)(\sqrt{f'_c}/6) \leq (\sqrt{f'_c}/3)b_o.d \quad (2.15)$$

β_c = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek dari daerah beban terpusat, reaksi atau kolom.

b_o = keliling dari penampang kritis pelat



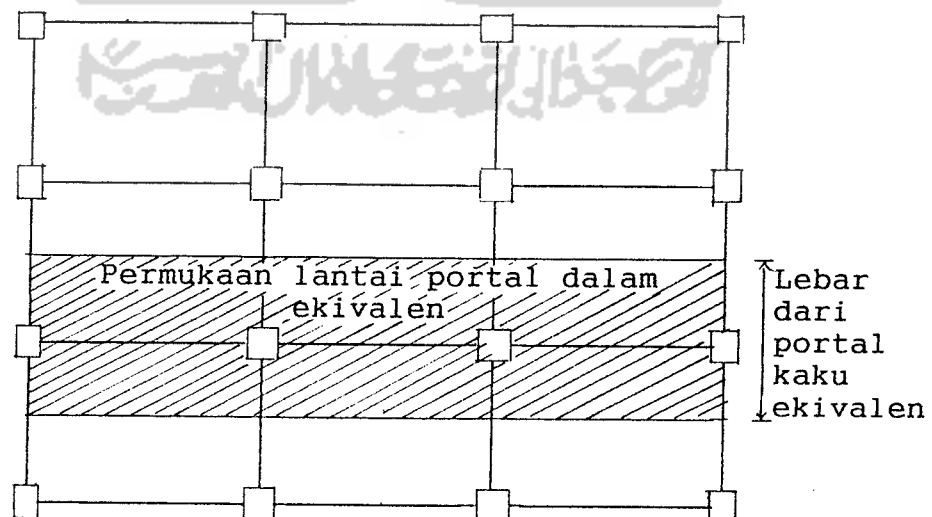
BAB III

PERENCANAAN

3.1. Tinjauan Umum Perencanaan

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.3, perencanaan dapat dilakukan dengan sembarang prosedur, asal dapat dibuktikan kuat rencana dari setiap penampang paling sedikit sama dengan kuat perlu, serta ketentuan laik pakai dan ketentuan batas untuk lendutan dapat dipenuhi.

Metode dasar untuk analisis dan perencanaan dua arah, menggunakan rangka portal idealisasi dengan melakukan pemotongan fiktif vertikal pada seluruh bangunan sepanjang garis tengah antara kolom-kolom, sehingga menghasilkan beberapa portal yang melalui antara garis-garis tengah dari dua panel yang berdekatan. [3]



Gambar 3.1. permukaan lantai tercakup untuk suatu portal kaku ekuivalen dari sistem lantai dua arah.

3.2. Persyaratan Umum

3.2.1. Persyaratan Tebal Pelat

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.2.5.3 syarat tebal minimum pelat cendawan adalah 100 mm. Apabila kurang dari 100 mm, pelat dapat digunakan dengan syarat perhitungan pelat yang terjadi tidak melebihi batas yang ditetapkan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior.[1]

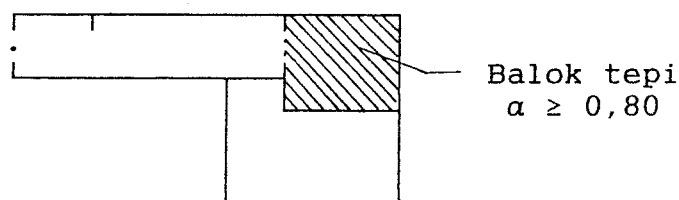
Tegangan leleh f_y (Mpa)	Tanpa penebalan*			Dengan penebalan*		
	Panel exterior		Panel interior	Panel exterior		Panel interior
	Balok pinggir			Balok pinggir		
	ya	tidak**		ya	tidak**	
300	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
400	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$

* Untuk tulangan dengan tegangan leleh diantara 300 dan 400 Mpa, gunakan interpolasi linear.

** Pelat dengan balok diantara kolom-kolom sepanjang pinggiran exterior. Nilai dari α untuk balok pinggir tidak boleh kurang dari 0,8.

3.2.2. Persyaratan Tebal Pelat Menggunakan Balok Tepi

Balok tepi adalah suatu balok yang terdapat pada tepi pelat dua arah. Rasio kekakuan α balok tepi tidak kurang dari 0,80 (gambar 3.3).



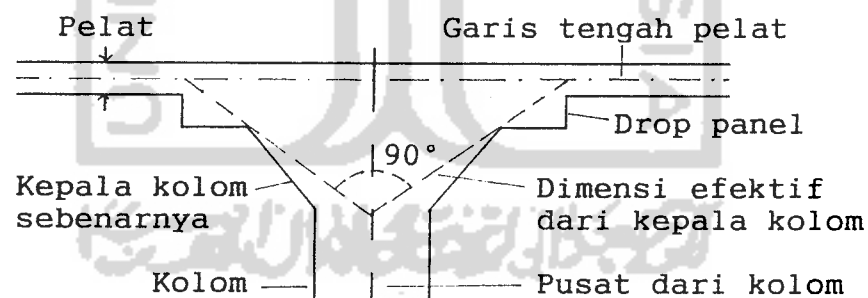
Gambar 3.2. Persyaratan rasio kekakuan balok tepi

Menurut SK SNI T-15-1991-03 tebal minimum yang disyaratkan tidak lebih dari :

$$h = \frac{l_n \left[0,80 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} \dots\dots\dots (3.1)$$

3.2.3. Persyaratan Kepala Kolom

Kepala kolom yang digunakan dalam struktur pelat cendawan (gambar 3.4) merupakan pembesaran dari kolom bagian atas pada pertemuan dengan pelat. Dimensi efektif dari kepala kolom berada didalam kerucut dengan puncak 90°. Garis tengah dari kepala kolom biasanya sekitar 20 % sampai 25% dari bentang rata-rata diantara kolom-kolom.[4]



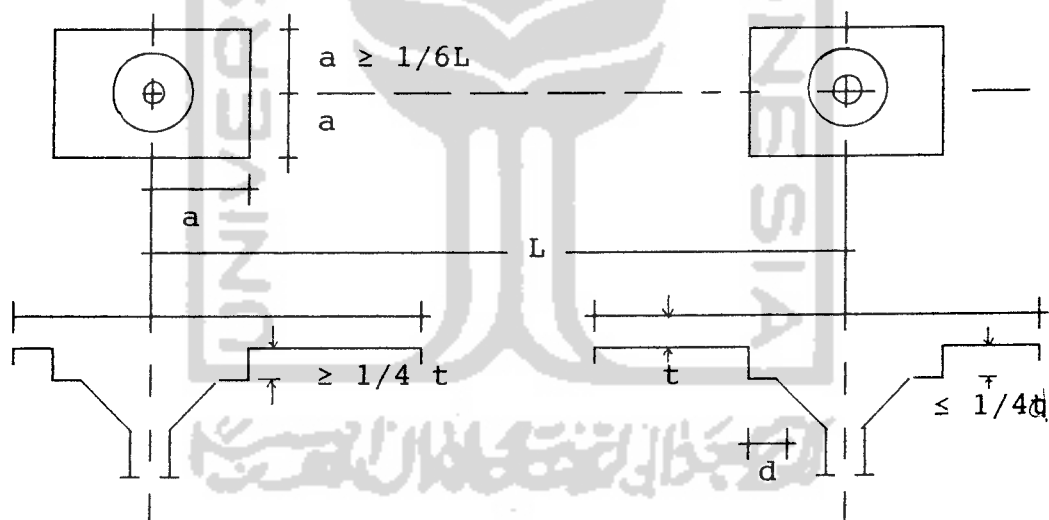
Gambar 3.3. Dimensi efektif dari kepala kolom[4]

3.2.4. Persyaratan Drop Panel

Pertebalan pelat (drop panel) bermanfaat untuk mengurangi jumlah tulangan momen negatif yang melewati kolom dari suatu pelat cendawan. Ukuran pertebalan pelat menurut SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.6.4.7 sebagai beri-

kut :

1. Pada setiap arah, drop panel harus menjorok dari garis sumbu perletakan, berjarak tidak kurang dari $1/6$ panjang bentang yang diukur dari sumbu ke sumbu perletakan dalam arah tersebut (gambar 3.5.a).
2. Proyeksi drop panel dibawah pelat minimum $1/4$ tebal pelat (gambar 3.5.b).
3. Dalam menghitung tulangan pelat yang diperlukan, tebal drop panel dibawah pelat tidak boleh diasumsikan lebih besar dari $1/4$ dari jarak antara tepi pertebalan panel sampai tepi kolom atau kepala kolom (gambar 3.5.c).



Gambar 3.4. Persyaratan Pertebalan Pelat

3.3. Metode Perencanaan Langsung

Dalam proses perencanaan pelat, yang dikerjakan pertama kali adalah menentukan momen statis total rencana. Karena adanya tahanan pada tumpuan, maka momen tersebut didistribusikan ke lajur kolom dan lajur tengah kolom. Lebar lajur kolom 25% dari lebar lajur portal yang

terletak disebelah kanan dan kiri dari sumbu kolom, sedangkan lebar lajur tengah adalah sisanya.[5]

Metode perencanaan langsung dapat dipakai apabila sistem pelat dua arah memenuhi batasan-batasan menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.7 sebagai berikut :

1. Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam setiap arah.
2. Panel harus berbentuk persegi dengan rasio antara bentang panjang terhadap bentang diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan tidak lebih dari 2.
3. Panjang dari bentang yang berurutan, diukur antara sumbu ke sumbu tumpuan dalam tiap arah tidak boleh berbeda lebih dari 1/3 dari bentang yang terpanjang.
4. Posisi kolom boleh menyimpang maksimum 10% dari bentang dan dari sumbu antara garis pusat kolom yang berurutan.
5. Beban yang diperhitungkan hanya beban gravitasi dan tersebar merata pada seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi 3/4 beban mati.
6. Untuk suatu panel yang mempunyai balok diantara tumpuan pada semua sisinya, kekakuan relatif balok pada dua arah yang saling tegak lurus adalah :

$$2,0 \leq \frac{\alpha_1 (l_2)^2}{\alpha_2 (l_1)^2} \leq 5,0 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

3.3.1. Momen Statis Total Terfaktor

Momen statis total terfaktor pada pelat cendawan dapat dilihat pada tinjauan berikut (gambar 3.7). Ditin-

jau panel-dalam cirian dari suatu pelat cendawan yang memikul beban merata berfaktor W_u persatuan luas. Beban total pada permukaan panel (persegi dikurang empat seperempat lingkaran), ditumpu oleh geser vertikal pada keempat busur seperempat lingkaran. $M_{negatif}$ dan $M_{positif}$ menyatakan masing-masing momen negatif total sepanjang tepi ABCD dan momen positif sepanjang EF terhadap sumbu horizontal di arah l_2 , sehingga beban pada permukaan ABCDEF = jumlah reaksi pada busur AB dan CD.

$$\text{Maka permukaan ABCDEF} = W_u \left[\frac{l_1 l_2}{22} - \frac{\pi c^2}{8} \right] \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan meninjau setengah panel ABCDEF sebagai benda bebas, mengingat tidak adanya geser pada tepi BC, BE, EF dan FA maka momen terhadap sumbu I-I :

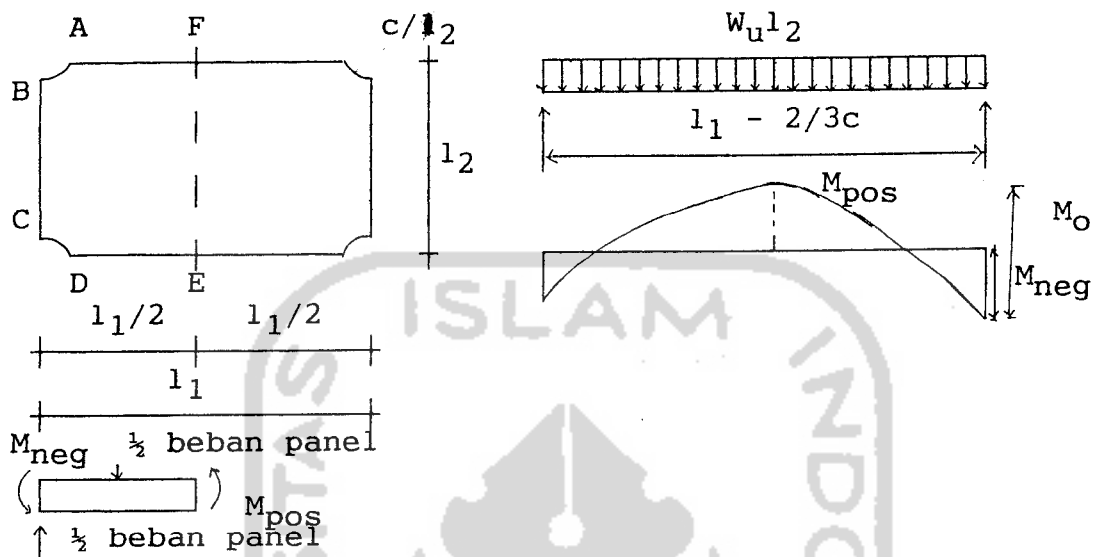
$$M_{neg} + M_{pos} = W_u \left[\frac{l_1 l_2}{2} - \frac{\pi c}{8} \right] \left[\frac{c^2}{\pi} \right] - \frac{W_u l_1 l_2}{2} \left[\frac{l_1}{4} \right] + \frac{W_u \pi c}{8} \left[\frac{2c^2}{3\pi} \right] \dots(3.4)$$

Dengan memasukkan $M_o = M_{neg} + M_{pos}$

$$M_o = \frac{1}{8} W_u l_2 l_1^2 \left[1 - \frac{4c}{\pi l} + \frac{c^3}{3l_2 l_1} \right] \dots\dots\dots(3.5)$$

$$= \frac{1}{8} W_u l_2 l_1^2 \left[1 - \frac{2c}{3l_1} \right] \dots\dots\dots(3.6)$$

Untuk pelat cendawan, khususnya dengan kepala kolom, bentang bersih l_n dihitung dengan menggunakan tumpuan bujur sangkar ekuivalen.



Gambar 3.5. Statika dari panel-cirian pada sistem pelat cendawan. [4]

3.3.2. Menghitung Kekakuan

Suatu parameter penting yang mempengaruhi perencanaan adalah ukuran relatif dari balok terhadap tebal pelat. parameter ini secara terbalik diukur dengan perbandingan :

$$a = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \dots \dots \dots (3.7)$$

E_{cb} = Modulus elastis balok

E_{cs} = Modulus elastis pelat

I_b = Momen inersia balok

I_s = Momen inersia pelat

dimana $I_b = k \frac{b_w h^3}{l_2} \dots \dots \dots (3.8)$

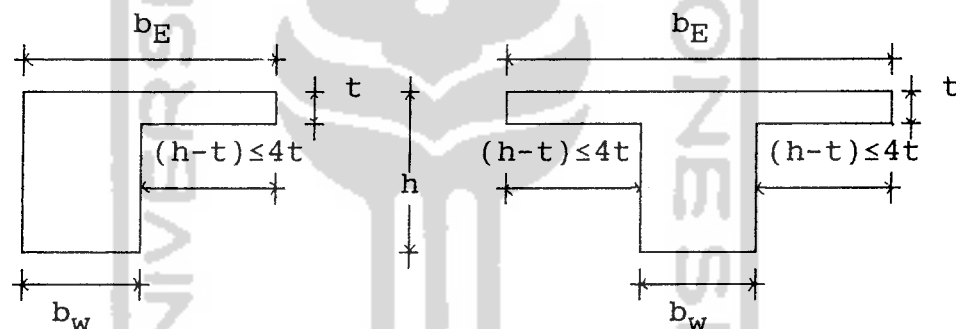
$$k = \frac{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right] \left[4 - 6 \left[\frac{t}{h} \right] + 4 \left[\frac{t}{h} \right]^2 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]}{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]} \quad (3.9)$$

h = tinggi total balok

t = tebal total pelat

b_E = lebar efektif flens

b_w = lebar badan balok

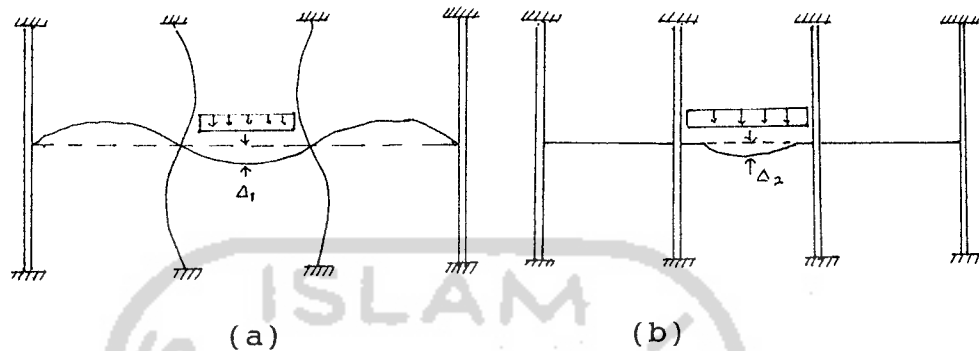


Gambar 3.6. Momen inersia penampang dengan flens

3.3.3. Pengaruh Pola Pembebanan Pada Momen Positif

Metode perencanaan langsung sangat peka terhadap perubahan momen positif lapangan sistem pelat berbentuk banyak. Bila beban bekerja pada bentang bervariasi, perubahan momen negatif di tumpuan biasanya kecil, sedangkan perubahan momen lapangan cukup besar.

Pertambahan momen positif dapat mengakibatkan defleksi dan retak pada panel interior. Hal ini dapat dikurangi dengan cara memperkaku kolom (gambar 3.8). [3]



Gambar 3.7. Efek pola pembebanan terhadap defleksi dan retak ; (a) defleksi besar Δ_1 dengan kolom yang lebih fleksibel ; (b) defleksi kecil Δ_2 dengan kolom yang lebih kaku. [3]

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6.10. mengatur pola pembebanan bila rasio β_a antara beban mati terhadap beban hidup kurang dari 2, salah satu ketentuan berikut harus dipenuhi :

1. Jumlah kekakuan lentur kolom a_c , diatas dan dibawah pelat tidak kurang dari a yang ditentukan dalam tabel 3.2.
2. Bila $a_c < a$, maka momen positif terfaktor pada panel yang didukung kolom harus dikalikan dengan faktor δ_s yang ditentukan dari persamaan (3.10).

$$\delta_s = 1 + \frac{2 - \beta_a \left(1 - \frac{a_c}{a}\right)}{4 + \beta_a} \dots \dots \dots (3.10)$$

dimana :

β_a = rasio dari beban mati terhadap beban hidup per unit luas (pada tiap kasus tanpa faktor beban).

α_c = perbandingan dari kekakuan kolom terhadap kekakuan pelat dan balok.

$$\alpha_c = \frac{\Sigma K_C}{\Sigma(K_S + K_D)} \dots\dots\dots(3.11)$$

Tabel 3.2 Nilai α [1]

β_a	Rasio dari l_1/l_2	Kekakuan relatif balok, α				
		0	0,5	1,0	2,0	4,0
2,0	0,5 - 2,0	0	0	0	0	0
1,0	0,5	0,6	0	0	0	0
	0,8	0,7	0	0	0	0
	1,0	0,7	0,1	0	0	0
	1,25	0,8	0,4	0	0	0
	2,0	0,4	0,5	0,2	0	0
0,5	0,5	1,3	0,3	0	0	0
	0,8	1,5	0,5	0,2	0	0
	1,0	1,6	0,6	0,2	0	0
	1,25	1,9	1,0	0,5	0	0
	2,0	4,9	1,6	0,8	0,3	0
0,33	0,5	1,8	0,5	0,1	0	0
	0,8	2,0	0,9	0,3	0	0
	1,0	2,3	0,9	0,4	0	0
	1,25	2,8	1,5	0,8	0,2	0
	2,0	13,0	2,6	1,2	0,5	0,3

3.3.4. Distribusi Momen di Arah Longitudinal

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.6.3 , pada suatu bentang interior, momen statis total terfaktor M_0 harus didistribusikan sebagai berikut :

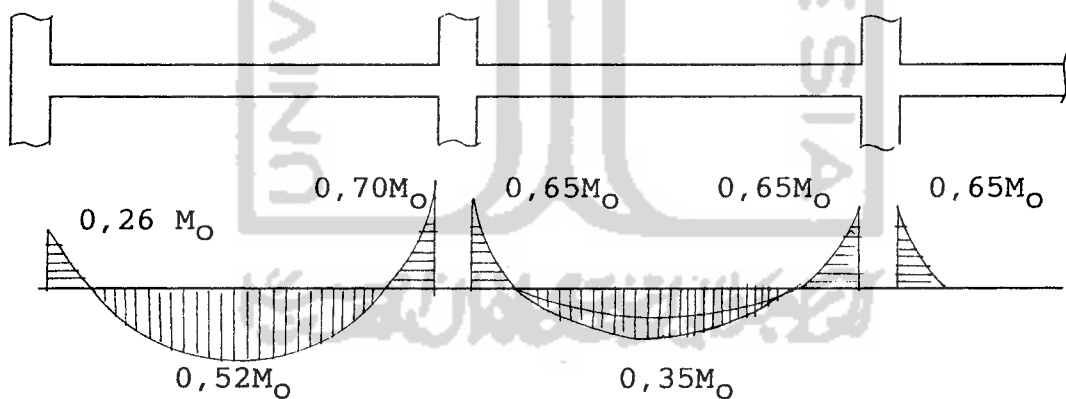
Momen negatif terfaktor 0,65

Momen positif terfaktor 0,35

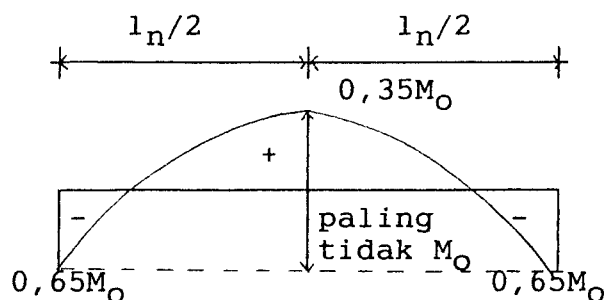
Sedangkan pada bentang tepi, momen statis total terfaktor M_0 harus didistribusikan sebagai berikut :

Tabel 3.3. Faktor-faktor momen mendistribusikan M_0 pada bentang exterior (tepi)^[1]

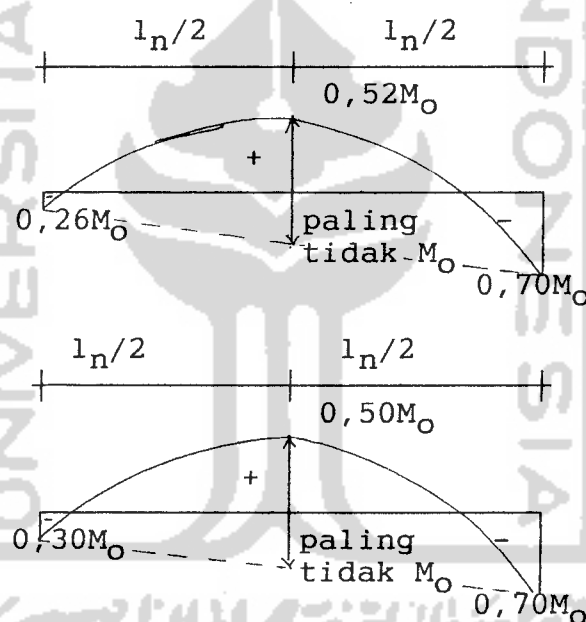
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Tepi exterior tidak ditahan	pelat dengan balok diantara semua tumpuan	pelat tanpa balok diantara tumpuan interior		tepi exterior ditahan sepenuhnya
			tanpa balok tepi	dengan balok tepi	
Momen negatif terfaktor interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen positif terfaktor	0,65	0,57	0,52	0,50	0,35
Momen negatif terfaktor exterior	0,00	0,16	0,26	0,30	0,65

Gambar 3.8. Distribusi M_0 pada Momen Positif dan Negatif

Distribusi momen pada bentang interior dan exterior dapat juga dinyatakan dalam bentuk diagram momen seperti gambar 3.9 dan gambar 3.10.



Gambar 3.9. Diagram momen memanjang untuk bentang dalam (interior). [4]



Gambar 3.10. Diagram momen diarah memanjang untuk bentang luar (exterior). [4]

3.6.4. Distribusi Transversal dari Momen Longitudinal

Distribusi transversal dari momen longitudinal terhadap jalur kolom dan jalur tengah merupakan fungsi dari tiga parameter, yang menggunakan l_1 dan l_2 untuk masing-masing bentang longitudinal dan transversal :

1. Perbandingan aspek l_1/l_2
2. Perbandingan $\alpha_1 = E_{cb} I_b / E_{cs} I_s$ dari kekakuan balok longitudinal terhadap kekakuan pelat.
3. Perbandingan $\beta_1 = E_{cb} C / 2E_{cs} I_s$, dari kekakuan torsi penampang balok tepi terhadap kekakuan lentur dari pelat yang lebarnya sama dengan panjang bentang dari balok tepi.

Menurut SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.6.6.4. jalur kolom harus memikul momen longitudinal dengan presentase seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3. Persentase dari momen arah memanjang dalam jalur kolom. [1]

Perbandingan ukuran l_1/l_2		0,5	1,0	2,0
Momen negatif pada tumpuan luar	$\alpha_{l1/l2} = 0$	100	100	100
	$\beta_1 = 0$	75	75	75
	$\beta_1 \geq 2,5$	100	100	100
	$\alpha_{l1/l2} = 1,0$	90	75	45
Momen positif	$\alpha_{l1/l2} = 0$	60	60	60
	$\alpha_{l1/l2} = 1,0$	90	75	95
Momen negatif pada tumpuan dalam	$\alpha_{l1/l2} = 0$	75	75	75
	$\alpha_{l1/l2} = 1,0$	90	75	45

3.4. Metode Portal Ekuivalen

Perencanaan dari sistem pelat dengan cara portal ekuivalen harus didasarkan pada SK SNI T-15-1991-03, pasal 3.6.7.2 sebagai berikut :

1. Struktur harus dianggap terdiri dari rangka ekuivalen pada bidang kolom yang diambil dalam arah longitudinal

dan transversal.

2. Setiap rangka harus terdiri dari suatu baris kolom atau tumpuan dan jalur pelat-balok, dibatasi dalam arah lateral oleh garis sumbu dari panel pada tiap sisi dari garis sumbu kolom atau tumpuan.
3. Kolom atau tumpuan harus dianggap dihubungkan pada jalur pelat-balok oleh komponen puntir yang arahnya transversal terhadap arah bentang yang sedang ditentukan momennya dan menerus hingga garis sumbu lateral panel yang membatasi tiap sisi suatu kolom.
4. Rangka yang berada disebelah dan sejajar terhadap suatu tepi harus dibatasi oleh tepi tersebut dan garis sumbu panel yang disebelahnya.
5. Setiap rangka ekuivalen boleh dianalisis sebagai suatu kesatuan, atau untuk beban gravitasi, setiap lantai dan atap (pelat-balok) boleh dianalisis secara terpisah dengan asumsi bahwa ujung terjauh dari kolom dijepit.
6. Bila pelat balok dianalisa secara terpisah, dalam menentukan momen pada suatu tumpuan boleh diasmsikan bahwa pelat baloknya dijepit pada tumpuan yang berjarak dua panel dari tumpuan yang ditinjau, asalkan pelatnya masih menerus melampaui titik tumpuan jepit tersebut.

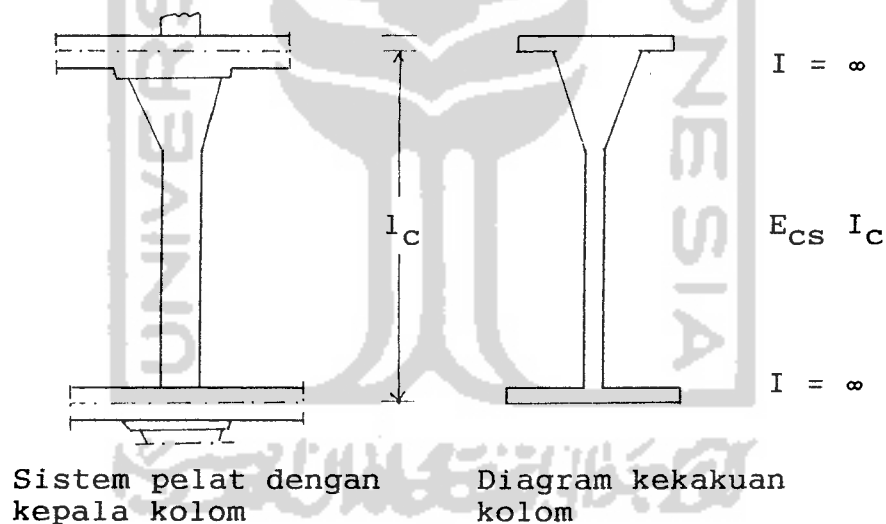
3.4.1. Kekakuan kolom

Kekakuan kolom didasarkan pada tinggi kolom l_c , diukur dari tengah pelat diatas kolom sampai tengah pelat

dibawah kolom (gambar 3.11).

Ketentuan untuk menghitung kekakuan lentur menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.7.4 sebagai berikut :

1. Momen inersia kolom pada sembarang penampang di luar joint atau kepala kolom harus didasarkan pada penampang bruto beton.
2. Variasi dari momen inersia sepanjang sumbu kolom harus diperhitungkan.
3. Momen inersia kolom dari puncak hingga dasar dari pelat-balok pada suatu joint harus dianggap tidak terhingga.



Gambar 3.11. Potongan melintang untuk menghitung kekakuan kolom. [6]

$$\text{Kekakuan kolom, } K_C = k_C \frac{E I_C}{l_C} \dots\dots\dots(3.12)$$

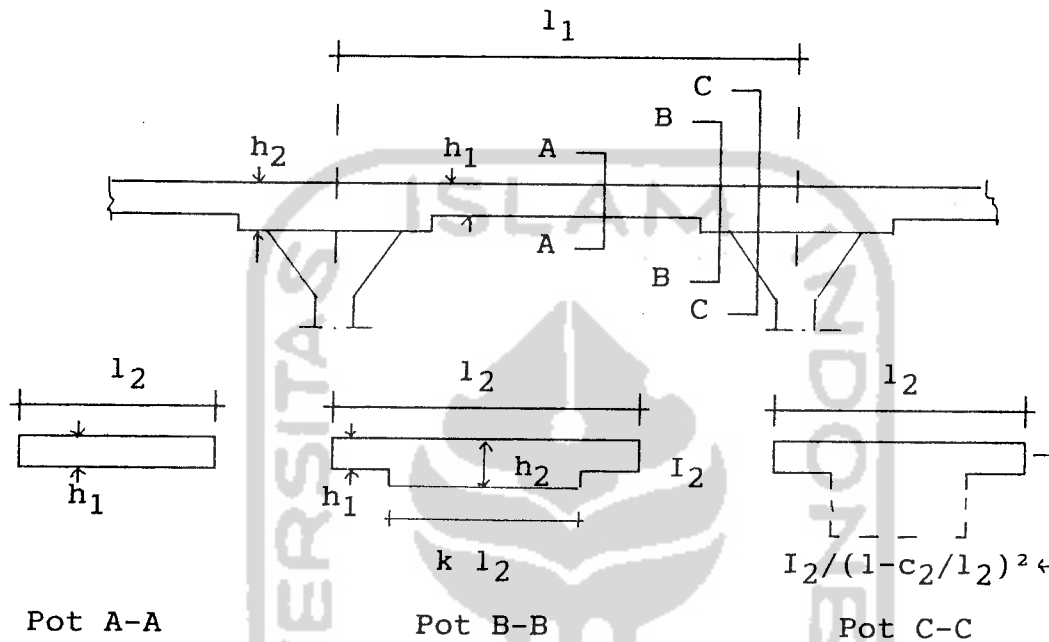
k_C = faktor kekakuan kolom

I_C = momen inersia kolom

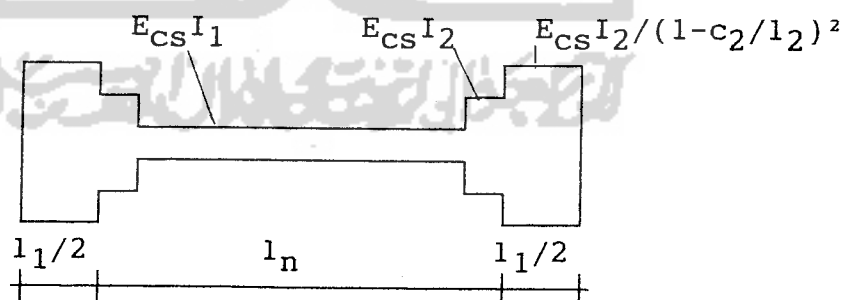
l_C = tinggi kolom

3.4.2. Kekakuan Pelat - Balok

Tipe umum dari sistem pelat cendawan antara dua tumpuan dapat dilihat pada gambar 3.12 dan 3.13.



Gambar 3.12. Potongan melintang untuk menghitung kekakuan pelat-balok. [6]



Gambar 3.13. Diagram kekakuan ekivalen pelat-balok

Potongan melintang digunakan untuk menentukan kekakuan dari batang pelat-balok (K_{sb}) antara pusat tumpuan. [6]

$$\text{Kekakuan pelat-balok, } K_{sb} = k_{NF} \frac{E I_{sb}}{l_1} \dots\dots\dots(3.13)$$

k_{NF} = faktor kekakuan ditentukan dengan tabel lampiran 1

I_{sb} = momen inersia pelat-balok

3.4.3. Komponen Puntir

Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.7.5. komponen puntir diasumsikan mempunyai penampang yang konstan untuk seluruh panjang komponen dan diambil yang terbesar dari :

1. Sebagian dari pelat yang lebarnya sama dengan lebar kolom, konsol pendek atau kepala kolom dalam arah bentang yang sedang ditinjau momennya.
2. untuk struktur monolit atau komposit penuh, sebagian yang ditentukan dalam butir (1) ditambah dengan bagian balok transversal yang berada, di atas dan di bawah pelat.
3. Balok transversal mencakup bagian dari pelat pada tiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau dibawah pelat, diambil yang terbesar, tetapi tidak boleh lebih besar dari empat kali tebal pelat.

Kekakuan (K_t) dari komponen puntir menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.6.7.5 dihitung berdasarkan rumus :

$$K_t = \Sigma \frac{9 E_{cs} C}{l_2 \left(1 - \frac{c_2}{l_2}\right)^2} \dots\dots\dots (3.14)$$

K_t = kekakuan puntir

C = konstanta puntir balok transversal, boleh dihitung dengan membagi penampang yang ditinjau menjadi beberapa bagian penampang persegi yang terpisah untuk kemudian dijumlahkan.

$$C = \sum \left(1 - 0,63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3} \dots \dots \dots (3.15)$$

E_{cs} = modulus elastis pelat - balok
 c_2 dan l_2 berkaitan dengan bentang transversal pada sisi kolom.

3.4.4. Kenaikan Komponen Puntir

Bila terdapat balok yang merangka ke dalam kolom yang dalam arah bentang ditinjau momennya, harga K_t yang dihitung berdasarkan persamaan (3.14) harus dikalikan momen inersia pelat dengan balok yang ada terhadap momen inersia pelat tanpa memperhitungkan balok tersebut. [1]

Maka kekakuan torsi menjadi K_{ta} dengan rumus sebagai berikut :

$$K_{ta} = K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \dots \dots \dots (3.16)$$

K_{ta} = kenaikan kekakuan torsi dari komponen puntir

I_{sb} = momen inersia pelat-balok

I_s = momen inersia pelat

3.4.5. Kekakuan Kolom Ekuivalen

Kolom ekuivalen mengubah kekakuan kolom dan bermanfaat untuk lentur puntir dari hubungan pelat ke kolom

yang mengurangi efisiensi dari penyebaran momen.

Kekakuan lentur dari kolom ekuivalen (K_{ce}) diberikan pada persamaan berikut :

$$\frac{1}{K_{ec}} = \left[\frac{1}{\Sigma K_C} \right] + \left[\frac{1}{\Sigma K_t} \right] \dots\dots\dots (3.17)$$

atau lebih umum dipakai oleh perencana :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_C \times \Sigma K_t}{\Sigma K_C + \Sigma K_t} = \frac{\Sigma (K_C \times K_t)}{\Sigma (K_C + K_t)} \dots\dots\dots (3.18)$$

dimana,

$$K_C = K_{ct} + K_{cb}$$

$$K_t = K_{ta} + K_{tb}$$

K_{ct} = kekakuan lentur ujung bawah, kolom atas pada joint.

K_{cb} = kekakuan lentur ujung atas, kolom bawah pada joint.

K_{ta} = kekakuan lentur masing-masing komponen puntir.

3.4.6. Pengaturan Beban Hidup

Pengaturan beban hidup menurut ketentuan SK SNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

1. Bila pola pembebanan diketahui, maka rangka ekuivalen harus dianalisis terhadap beban tersebut.
2. Bila beban hidup bervariasi, tetapi tidak melebihi 3/4 bagian beban mati, atau bila kondisi dari beban hidup merata pada semua panel, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup penuh terfaktor pada seluruh sistem pelat.
3. Momen positif maksimum pelat pada suatu tumpuan boleh

dianggap terjadi dengan pengaturan $3/4$ dari beban hidup penuh terfaktor pada panel yang bersebelahan saja.

3.4.7. Momen terfaktor

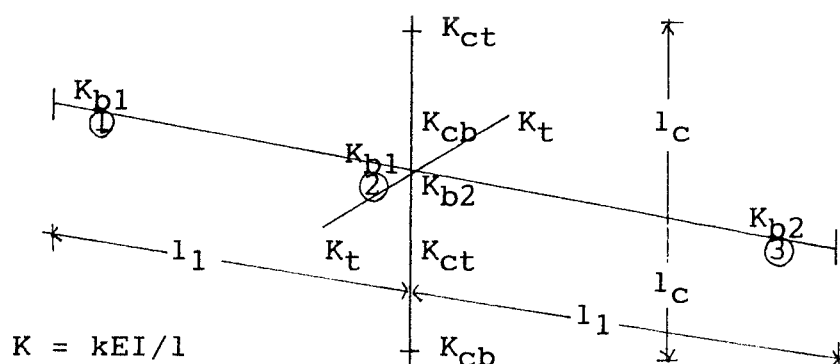
Distribusi momen memungkinkan metode perhitungan yang lebih tepat untuk analisis rangka parsial yang terdiri dari beberapa bentang menerus dengan ujung kolom atas dan bawah terjepit.

Ketentuan momen terfaktor metode portal ekuivalen sebagai berikut :

1. Pada tumpuan interior, penampang kritis untuk momen negatif terfaktor harus diambil pada muka rektilinear tumpuan, tetapi tidak melebihi $0,175 l_1$ dari sumbu kolom.
2. Jumlah dari momen positif dan momen negatif yang digunakan dalam perencanaan tidak melebihi nilai :

$$M_o = 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n \dots \dots \dots (3.19)$$

3. Distribusi momen dengan faktor D_F (Distribution Factor) pada joint menggunakan kekakuan rangka ekuivalen K_{ec} seperti gambar 3.14.



Gambar 3.14. Faktor Distribusi Momen D_F . [6]

Faktor Distribusi Momen dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$\text{exterior : DF} = \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}} \dots\dots\dots(3.21)$$



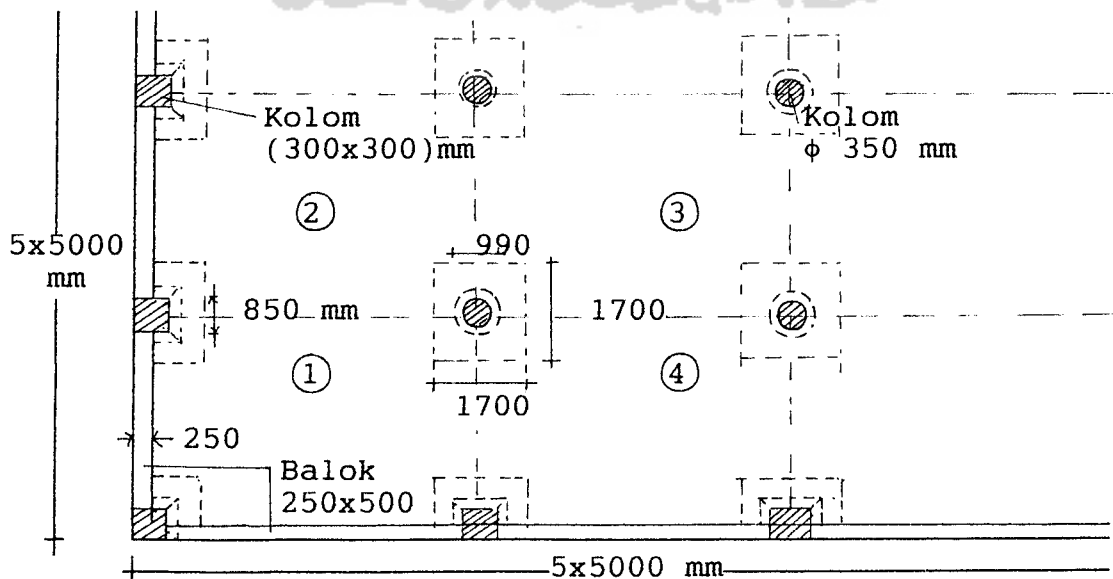
BAB IV
PERHITUNGAN

4.1. Metode Perencanaan Langsung

4.1.1. Bentang (5000 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5000}{5000} = 1,0$$

Diketahui pelat cendawan sebuah rumah tinggal (gambar 4.1), beban hidup yang diterima 2,00 kN/m², beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton 2,88 kN/m², dengan kekuatan beton f'c = 25 Mpa dan kekuatan baja fy = 300 Mpa. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (5000 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (300 x 300)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok tepi (250 x 500) mm. Tebal pelat diasumsikan 110 mm dan tebal drop panel 220 mm (asumsi) termasuk tebal pelat.



Gambar 4.1. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

1. Memeriksa Tebal Pelat

a. Berdasarkan persyaratan lendutan

Panel dengan balok tepi

$$b_E = b_w + (h-t) = 250 + (500 - 110) = 640 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_w + 4(t) = 250 + 4(110) = 690 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{640}{250} = 2,560 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{110}{500} = 0,220$$

$$k = \frac{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right] \left\{ 4 - 6 \left[\frac{t}{h} \right] + 4 \left[\frac{t}{h} \right]^2 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]^3 \right\}}{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]}$$

$$k = \frac{1 + (2,560-1)(0,220)\{4-6(0,220) + 4(0,220)^2 + (2,560-1)(0,220)^3\}}{1 + (2,560-1)(0,220)}$$

$$= 1,483$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,483 \frac{250 (500)^3}{12} = 3861718750 \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah panjang} = 1/12 (2500)(110)^3 = 277291666,7 \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah pendek} = 1/12 (2500)(110)^3 = 277291666,7 \text{ mm}^4$$

$$\alpha \text{ arah panjang} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{3861718750 E_{cb}}{277291666,7 E_{cs}} = 13,9266$$

$$\alpha \text{ arah pendek} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{3861718750 E_{cb}}{277291666,7 E_{cs}} = 13,9266$$

Karena tidak ada balok dalam maka α dalam = 0

$$\alpha_m \text{ panel 1} = \frac{1}{4} (0 + 13,9266 + 13,9266 + 0) = 6,9633$$

$$\alpha_m \text{ panel 2} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 13,9266) = 3,4817$$

$$\alpha_m \text{ panel 3} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 13,9266) = 3,4817$$

$$\alpha_m \text{ panel 4} = 0$$

Koefisien dari bagian yang menerus β_s untuk keliling panel :

$$\text{Panel 1 : } \beta_s = \frac{5000 + 5000}{2(5000 + 5000)} = 0,50$$

$$\text{Panel 2 : } \beta_s = \frac{5000 + 2(5000)}{2(5000 + 5000)} = 0,75$$

$$\text{Panel 3 : } \beta_s = \frac{2(5000) + 5000}{2(5000 + 5000)} = 0,75$$

$$\text{Panel 4 : } \beta_s = \frac{2(5000 + 5000)}{2(5000 + 5000)} = 0,50$$

Karena panel 1,2,3⁴ menggunakan balok-balok tepi dan α_m panel > 0, maka memperkaku tepi-tepi dari panel luar dengan demikian panel dalam menentukan tebal pelat.

Bentang bersih panel dalam :

$$l_n = 5000 - 990 = 4010 \text{ mm}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel 3.1 :

$$h_{\min} = \frac{l_n}{40} = \frac{4010}{40} = 100,25 < 110$$

- Ok -

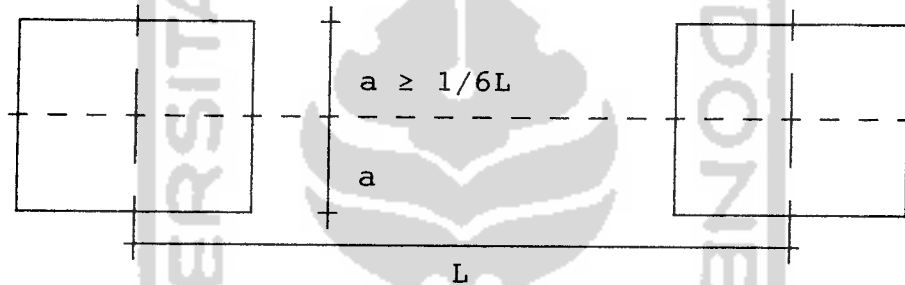


dan tidak lebih dari :

$$h = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{4010 \left[0,8 + \frac{300}{1500} \right]}{36}$$

$$= 111,389 > 110 \quad - \text{ Ok } -$$

Rasio kekakuan (α) balok tepi untuk balok pendek dan balok panjang jauh diatas 0,8 maka tebal pelat tidak perlu ditambah 10 %, tebal pelat 110 mm cukup.



$$1/6L = 1/6 \cdot 5000 = 833,33 \text{ mm}$$

b. Berdasarkan persyaratan geser

Aksi balok lebar (satu arah), pemeriksaan ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 (gambar 4.1).

$$W_d \text{ pelat} = 0,110 (24) = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ penutup pelat} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

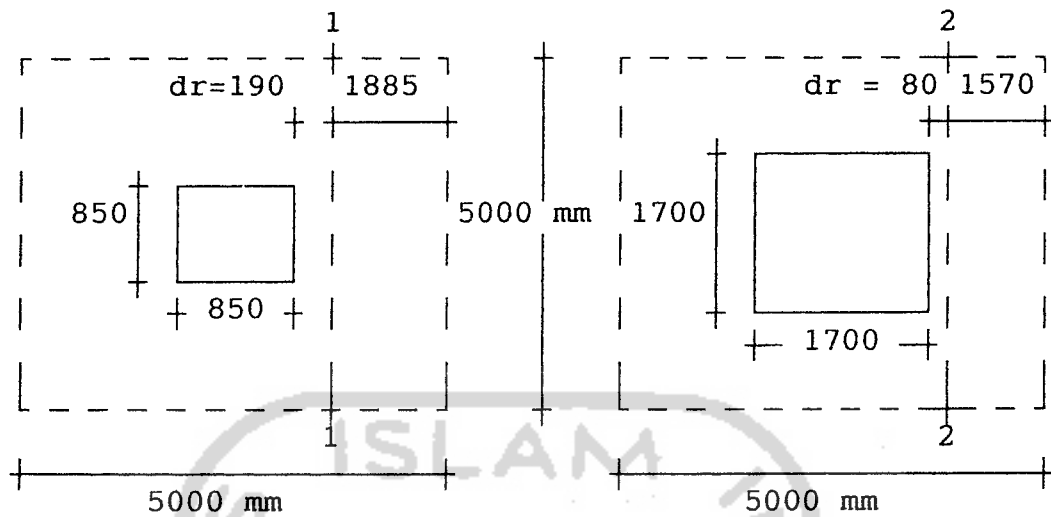
$$W_d \text{ total} = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$W_l = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$W_u = 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6(W_l)$$

$$= 1,2 (2,88) + 1,6(2,00)$$

$$= 6,656 \text{ kN/m}^2$$



$$\begin{aligned} dr &= 220 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 190 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dr &= 110 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar 4.2. Aksi balok lebar

Untuk potongan 1-1 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 1,885 \\ &= 6,656 \cdot 5 \cdot 1,885 \\ &= 62,7328 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_w \cdot d \\ &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 5000 (80) \end{aligned}$$

$$= 200000 \text{ N} = 200,000 \text{ kN} > V_u$$

- Ok -

Untuk potongan 2-2 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 1,570 \\ &= 6,656 (5) (1,570) \\ &= 52,2496 \text{ kN} \end{aligned}$$

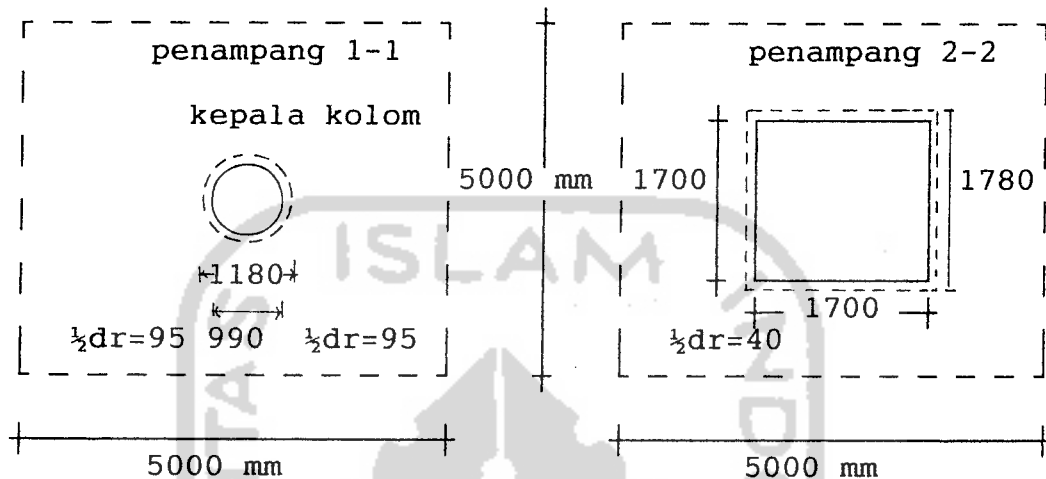
$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_w \cdot d \\ &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 1700 (190) \end{aligned}$$

$$= 161500 \text{ N} = 161,500 \text{ kN}$$

- Ok -

Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2.



Gambar 4.3. Aksi dua arah

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \{ (5 \times 5) - \frac{1}{4} \pi d^2 \} + 1,6 W_{dd} \{ 1,7(1,7) - \frac{1}{4} \pi d^2 \} \\ &= 6,656 \{ 25 - \frac{1}{4} \pi (0,99)^2 \} + 1,6(2,64) \{ 2,89 - \frac{1}{4} \pi (0,99)^2 \} \\ &= 170,232 \text{ kN} \end{aligned}$$

dimana W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 110 mm

$$= 0,110 \times 24 = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'c}/6) b_o \cdot d \\ &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2\pi (1180) 190 \\ &= 704345,073 \text{ N} = 704,345 \text{ kN} > V_u \quad - \text{Ok} - \end{aligned}$$

Penampang 2-2 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \{ 5(5) - 1,7(1,7) \} \\ &= 6,656 \{ 25 - 2,89 \} \\ &= 147,164 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_o \cdot d \\
 &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2(1780 + 1780)(80) \\
 &= 284800 \text{ N} = 284,800 \text{ kN} > V_u \quad - \text{ Ok } -
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Momen Statis Terfaktor



Gambar 4.4. Portal kaku ekivalen

$$\begin{aligned}
 \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\
 &= 1/8 (6,656) 5 (5 - 0,85)^2 \\
 &= 71,646 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 (6,656) 2,5 (5 - 0,85)^2 \\
 &= 35,823 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung kekakuan pelat, balok dan kolom

a. Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 \cdot E \cdot I_s}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (5000)(110)^2}{5000} = 443666,67 \text{ E}$$

$$K_s \text{ portal B} = \frac{4.E.I_s}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (2500)(110)^2}{5000} = 221833,33 \text{ E}$$

b. Kekakuan kolom (K_C)

ΣK_C (kolom dalam atas dan bawah lingkaran)

$$\begin{aligned} \Sigma K_C &= \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C} \\ &= \frac{2 \{4.E.\pi (350)^4 (1/64)\}}{3500} = 1682843,75 \text{ E} \end{aligned}$$

ΣK_C (kolom luar atas dan bawah bujursangkar)

$$\begin{aligned} \Sigma K_C &= \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C} \\ &= \frac{2 \{4.E.\pi.1/12 (300)(300)^3\}}{3500} = 1542857,14 \text{ E} \end{aligned}$$

c. Kekakuan balok (K_D)

K_D portal A = 0 (tidak ada balok)

$$K_D \text{ portal B} = \frac{4.E.1/12 (250)(500)^3}{5000} = 2083333,33 \text{ E}$$

4. Menghitung faktor pengali δ_s untuk momen positif

Perbandingan dari beban mati layan terhadap beban hidup layan (β_a) adalah :

$$\beta_a = \frac{(0,110)(24) + 0,24}{2,50} = 1,152$$

Harga-harga α_{\min} yang disyaratkan untuk $\delta_s = 1,0$

Tabel 4.1. Nilai α_{\min}

Portal	A	B
$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$	0	13,927
l_1/l_2	1,0	1,0
α_{\min} (tabel 3.2)	0	0

Portal A :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{1542857,14 E}{443666,67E + 0} \\ &= 3,4775 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ dalam} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{1682843,75E}{2 (443666,67E) + 0} \\ &= 1,896 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{1542857,14 E}{221833,333E + 2083333,33E} \\ &= 0,669 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ dalam} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{1682843,75E}{2 (221833,333E + 2083333,33E)} \\ &= 0,365 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

Karena semua harga $\alpha_c > \alpha_{\min}$ maka faktor pembesaran momen $\delta_s = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

5. Menentukan distribusi momen arah longitudinal

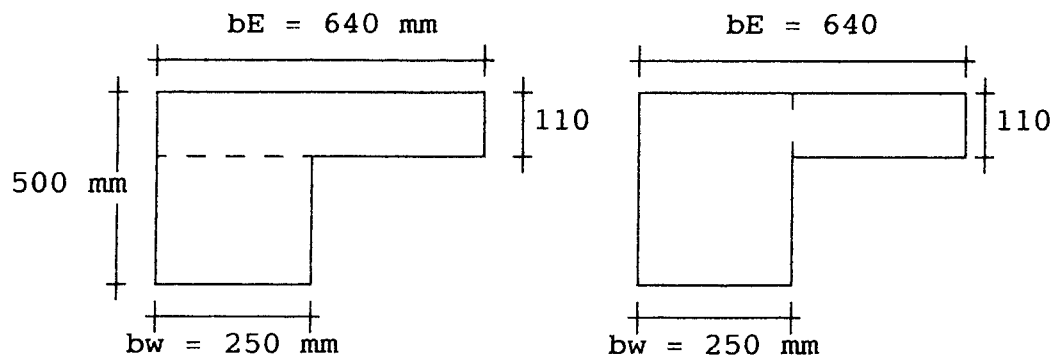
Distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.3, maka dapat ditentukan distribusi momen sebagai berikut :

Tabel 4.2. Distribusi momen arah memanjang

Portal	A	B
Mo	71,646	35,823
Mneg tumpuan eks (0,30 Mo)	21,493	10,747
Mpos bentang eks (0,50 Mo)	35,823	17,912
Mneg tumpuan int pertama (0,70 Mo)	50,152	25,076
Mneg tumpuan int (0,65 Mo)	46,570	23,285
Mpos bentang int (0,35 Mo)	25,076	12,538

6. Menentukan tetapan torsi C dari balok transversal

Untuk balok tepi pada arah pendek dan panjang, tetapan torsi C dihitung berdasarkan penampang seperti gambar berikut :



Gambar 4.5. Balok tepi pendek atau panjang

$$C = \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3}$$

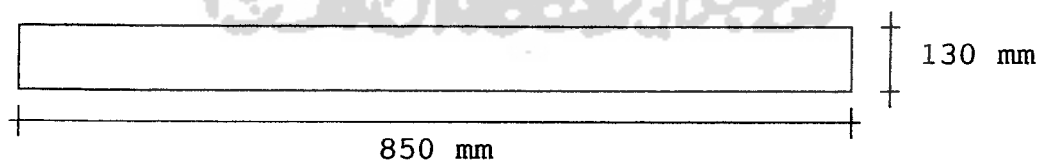
$$C = \left[1 - \frac{0,63(110)}{640} \right] \frac{(110)3640}{3} + \left[1 - \frac{0,63(110)}{380} \right] \frac{(250)3380}{3}$$

$$= 1871429733$$

$$C = \left[1 - \frac{0,63(250)}{500} \right] \frac{(250)3500}{3} + \left[1 - \frac{0,63(110)}{390} \right] \frac{(110)3390}{3}$$

$$= 1926138067$$

Untuk balok dalam pada arah pendek dan panjang digunakan tebal pelat 130 mm.



Gambar 4.6. Balok dalam arah pendek atau panjang

$$C = \left[1 - \frac{0,63(130)}{850} \right] \frac{(130)3850}{3}$$

$$= 562505233,3$$

7. Mendistribusikan momen longitudinal ke arah transversal

Hitungan distribusi transversal berdasarkan nilai l_1/l_2 , $\alpha_1 l_1/l_2$, dan β_t dengan bantuan tabel 3.4, sehingga dapat ditentukan prosentase momen arah transversal dengan cara interpolasi linear. Hasil hitungan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Prosentase distribusi transversal dari momen longitudinal.

No	Portal kaku ekivalen	A	B
1	Lebar melintang total (mm)	5000	2500
2	Lebar jalur kolom (mm)	2500	1250
3	Lebar $\frac{1}{2}$ jalur tengah (mm)	2@1250	1250
4	C	1959188567	
5	I_s (x 10^9 mm ⁴)	0,555	0,277
6	$\beta_t = (E_{cb} \cdot I_b) / (2E_{cs} \cdot I_s)$	1,765	3,536
7	α_1	0	13,927
8	l_1/l_2	1,0	1,0
9	$\alpha_1 l_1/l_2$	0	13,927
10	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	82,35	75
11	Prosentase M_{pos} ekst. thd jalur kolom	60	75
12	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	75	75
13	Prosentase momen balok thd jalur kolom	0	85

Tabel 4.4. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal A

Lbr total=5000mm, lbr jalur kolom=2500mm, lbr jalur tengah=2500mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	21,494	35,823	50,152	46,570	25,076
M balok	0	0	0	0	0
Mplt jalur kolom	17,700	21,494	37,614	34,928	15,046
Mplt jalur tengah	3,794	14,329	12,538	11,642	10,030

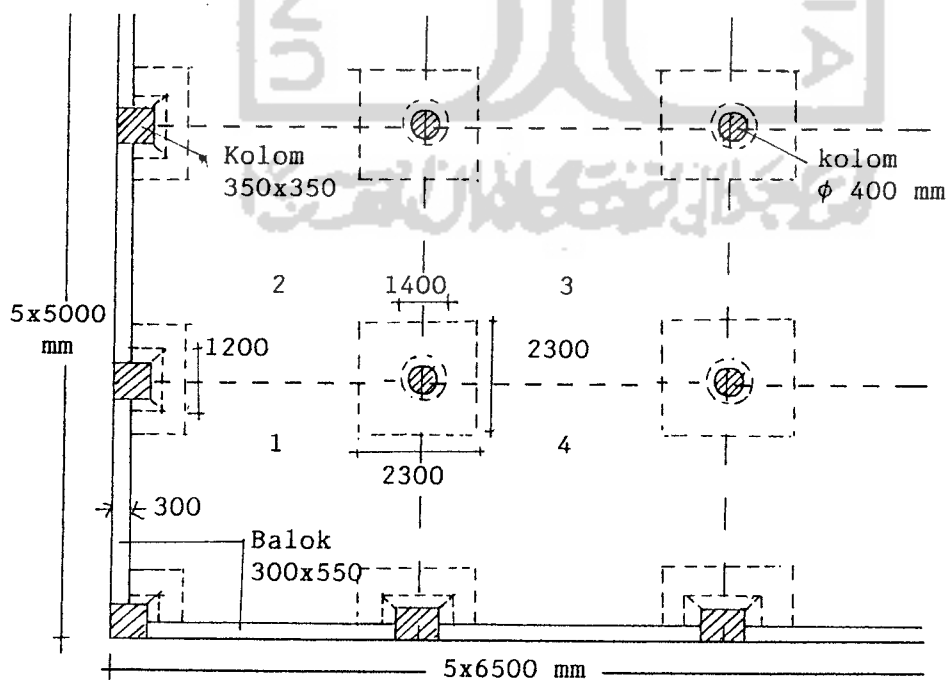
Tabel 4.5. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal B

Lbr total=2500mm, lbr jalur kolom=1250mm, lbr jalur tengah=1250mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	10,747	17,912	25,076	23,285	12,538
M balok	6,851	11,419	15,986	14,844	7,993
Mplt jalur kolom	1,209	2,015	2,821	2,620	1,411
Mplt jalur tengah	2,687	4,478	6,269	5,821	3,135

4.1.2. Bentang (6500 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{6500}{5000} = 1,3$$

Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.6.), beban hidup yang diterima $2,50 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $3,36 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (6500 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (350 x 350)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 400 mm dan balok tepi (300 x 550) mm. Tebal pelat diasumsikan 140 mm dan tebal drop panel 200 mm (diasumsikan) termasuk tebal pelat.



Gambar 4.7. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

1. Memeriksa Tebal Pelat

a. Berdasarkan persyaratan lendutan

Panel dengan balok tepi

$$b_E = b_w + (h-t) = 300 + (550 - 140) = 710 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_w + 4(t) = 300 + 4(140) = 860 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{710}{300} = 2,367 \quad ; \quad \frac{t}{h} = \frac{140}{550} = 0,255$$

$$k = \frac{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right] \left\{ 4 - 6 \left[\frac{t}{h} \right] + 4 \left[\frac{t}{h} \right]^2 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]^3 \right\}}{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]}$$

$$k = \frac{1 + (2,367-1)(0,255)\{4-6(0,255) + 4(0,255)^2 + (2,367-1)(0,255)^3\}}{1 + (2,367-1)(0,255)}$$

$$= 1,453$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,453 \frac{300 (550)^3}{12} = 6043571875 \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah panjang} = 1/12 (2500)(140)^3 = 571666666,7 \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah pendek} = 1/12 (3250)(140)^3 = 743166666,7 \text{ mm}^4$$

$$\alpha \text{ arah panjang} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{6043571875 E_{cb}}{571666666,7 E_{cs}} = 10,572$$

$$\alpha \text{ arah pendek} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{6043571875 E_{cb}}{743166666 E_{cs}} = 8,132$$

Karena tidak ada balok dalam maka a dalam = 0

$$a_m \text{ panel 1} = \frac{1}{4} (0 + 8,132 + 10,572 + 0) = 4,676$$

$$a_m \text{ panel 2} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 10,572) = 2,643$$

$$a_m \text{ panel 3} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 8,132) = 3,4817$$

$$a_m \text{ panel 4} = 0$$

Koefisien dari bagian yang menerus β_s untuk keliling panel :

$$\text{Panel 1 : } \beta_s = \frac{6500 + 5000}{2(6500 + 5000)} = 0,50$$

$$\text{Panel 2 : } \beta_s = \frac{6500 + 2(5000)}{2(6500 + 5000)} = 0,72$$

$$\text{Panel 3 : } \beta_s = \frac{2(6500) + 5000}{2(6500 + 5000)} = 0,783$$

$$\text{Panel 4 : } \beta_s = \frac{2(6500 + 5000)}{2(6500 + 5000)} = 1,00$$

Karena panel 1,2,3 menggunakan balok-balok tepi dan a_m panel > 0, maka memperkaku tepi-tepi dari panel luar dengan demikian panel dalam menentukan tebal pelat.

Bentang bersih panel dalam :

$$l_n = 6500 - 1400 = 5100 \text{ mm}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel 3.1 :

$$h_{\min} = \frac{l_n}{40} = \frac{5100}{40} = 127,5 < 140$$

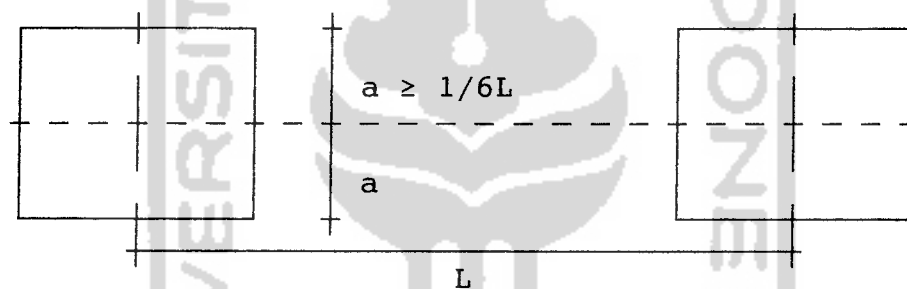
- Ok -

dan tidak lebih dari :

$$h = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{5100 \left[0,8 + \frac{300}{1500} \right]}{36}$$

$$= 141,667 > 140 \quad - \text{Ok} -$$

Rasio kekakuan (α) balok tepi untuk balok pendek dan balok panjang jauh diatas 0,8 maka tebal pelat tidak perlu ditambah 10 %, tebal pelat 110 mm cukup.



$$1/6L = 1/6 \cdot 6500 = 1083,33 \text{ mm}$$

b. Berdasarkan persyaratan geser

Aksi balok lebar (satu arah), pemeriksaan ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 (gambar 4.7).

$$W_d \text{ pelat} = 0,130 (24) = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ penutup pelat} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

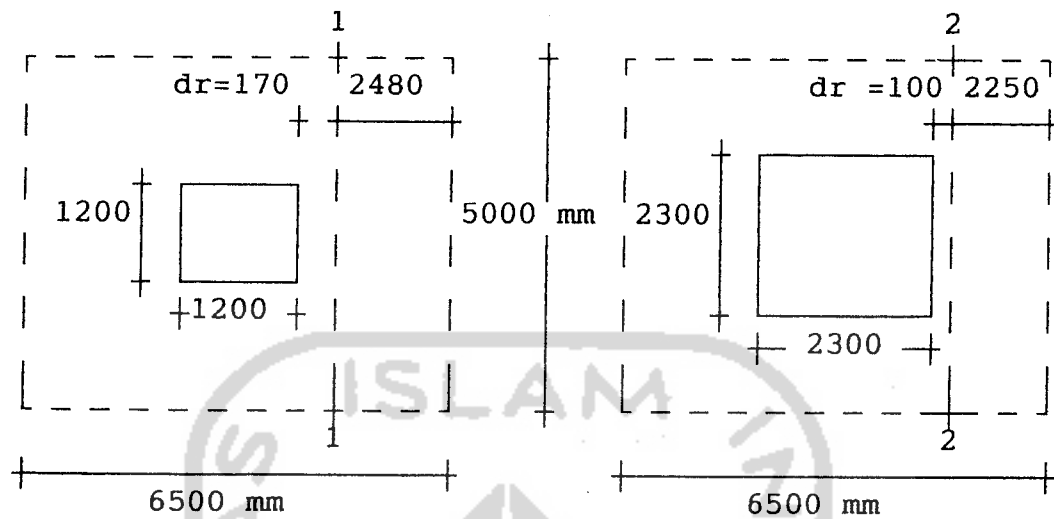
$$W_d \text{ total} = 3,36 \text{ kN/m}^2$$

$$W_l = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$W_u = 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6(W_l)$$

$$= 1,2 (3,36) + 1,6(2,50)$$

$$= 8,032 \text{ kN/m}^2$$



$$\begin{aligned} dr &= 200 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 170 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dr &= 130 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar 4.8. Aksi balok lebar

Untuk potongan 1-1 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 2,480 \\ &= 8,032 \cdot 5 \cdot 2,480 \\ &= 119,516 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) b_w \cdot d \\ &= 0,6 \left(\sqrt{25} / 6 \right) 5000 (100) \\ &= 250000 \text{ N} = 250,000 \text{ kN} > V_u \end{aligned}$$

- Ok -

Untuk potongan 2-2 :

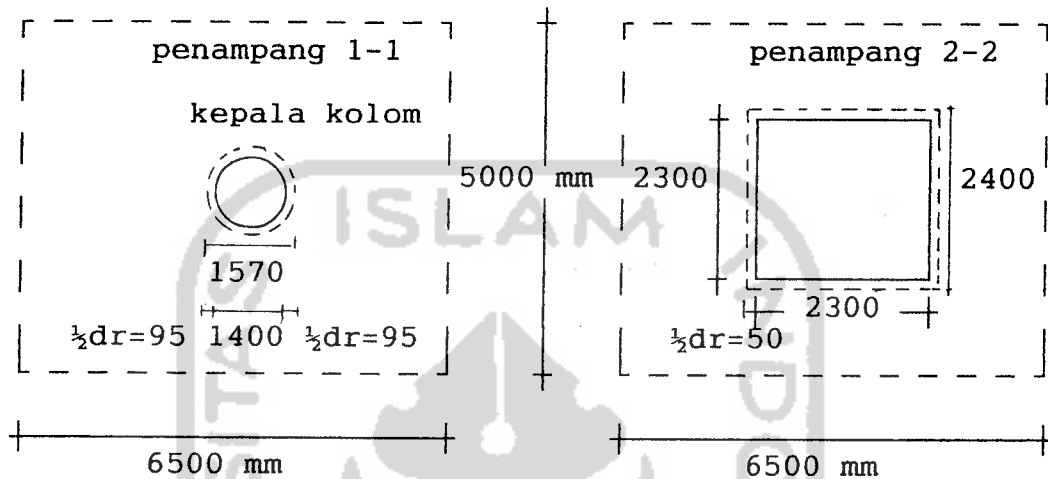
$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 2,250 \\ &= 8,032 (5) (2,250) \\ &= 108,432 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) b_w \cdot d \\ &= 0,6 \left(\sqrt{25} / 6 \right) 2300 (170) \\ &= 195500 \text{ N} = 195,500 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Ok -

Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2.



Gambar 4.9. Aksi dua arah

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \{ (6,5 \times 5) - \frac{1}{4} \pi d^2 \} + 1,6 W_{dd} \{ 2,3(2,3) - \frac{1}{4} \pi d^2 \} \\
 &= 8,032 \{ 32,2 - \frac{1}{4} \pi (1,44)^2 \} + 1,6(1,44) \{ 5,29 - \frac{1}{4} \pi (1,4)^2 \} \\
 &= 257,317 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dimana W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 60 mm

$$= 0,60 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi V_n = \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_o \cdot d$$

$$= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2\pi (1570/2) 170$$

$$= 419245,5396 \text{ N} = 419,246 \text{ kN} > V_u \quad - \text{Ok} -$$

Penampang 2-2 :

$$V_u = W_u \{ 6,5(5) - 2,3(2,3) \}$$

$$= 8,032 \{ 32,5 - 5,29 \}$$

$$= 218,551 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_o \cdot d \\
 &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2(2400 + 2400)(100) \\
 &= 480000 \text{ N} = 480,000 \text{ kN} > V_u \quad - \text{ Ok } -
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Momen Statis Terfaktor



Gambar 4.10. Portal kaku ekivalen

$$\begin{aligned}
 \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\
 &= 1/8 (8,032) 5 (6,5 - 1,2)^2 \\
 &= 141,012 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 (8,032) 5 (6,5 - 1,2)^2 \\
 &= 70,506 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung kekakuan pelat, balok dan kolom

a. Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 \cdot E \cdot I_s}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (5000)(130)^2}{6500} = 56333,333 E$$

$$K_S \text{ portal B} = \frac{4.E.I_S}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (2500)(110)^2}{6500} = 281666,667E$$

b. Kekakuan kolom (K_C)

ΣK_C (kolom dalam atas dan bawah lingkaran)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi (400)^4 (1/64)\}}{3500} = 2872313,283 E$$

ΣK_C (kolom luar atas dan bawah bujursangkar)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi.1/12 (350)(350)^3\}}{3500} = 2858333,333 E$$

c. Kekakuan balok (K_B)

K_B portal A = 0 (tidak ada balok)

$$K_B \text{ portal B} = \frac{4.E.1/12 (300)(550)^3}{6500} = 2559615,385 E$$

4. Menghitung faktor pengali δ_S untuk momen positif

Perbandingan dari beban mati layan terhadap beban hidup layan (β_a) adalah :

$$\beta_a = \frac{(0,130)(24) + 0,24}{2,50} = 1,344$$

Harga-harga α_{\min} yang disyaratkan untuk $\delta_s = 1,0$

Tabel 4.1. Nilai α_{\min}

Portal	A	B
$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$	0	11,506
l_1/l_2	1,3	1,3
α_{\min} (tabel 3.2)	0	0

Portal A :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{C1} + K_{C2}}{\Sigma K_S + \Sigma K_b} \\ &= \frac{2858333,333 \text{ E}}{563333,333\text{E} + 0} \\ &= 5,074 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \\ \alpha_c \text{ dalam} &= \frac{K_{C1} + K_{C2}}{\Sigma K_S + \Sigma K_b} \\ &= \frac{2872313,283 \text{ E}}{2(563333,333\text{E}) + 0} \\ &= 2,549 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{C1} + K_{C2}}{\Sigma K_S + \Sigma K_b} \\ &= \frac{2858333,333 \text{ E}}{281666,667\text{E} + 2559615,385\text{E}} \\ &= 1,006 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_C \text{ dalam} &= \frac{K_{C1} + K_{C2}}{\Sigma K_S + \Sigma K_D} \\ &= \frac{2872313,283E}{2 (281666,667E + 2559615,385E)} \\ &= 0,505 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_S = 1,0 \end{aligned}$$

Karena semua harga $\alpha_C > \alpha_{\min}$ maka faktor pembesaran momen $\delta_S = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

5. Menentukan distribusi momen arah longitudinal

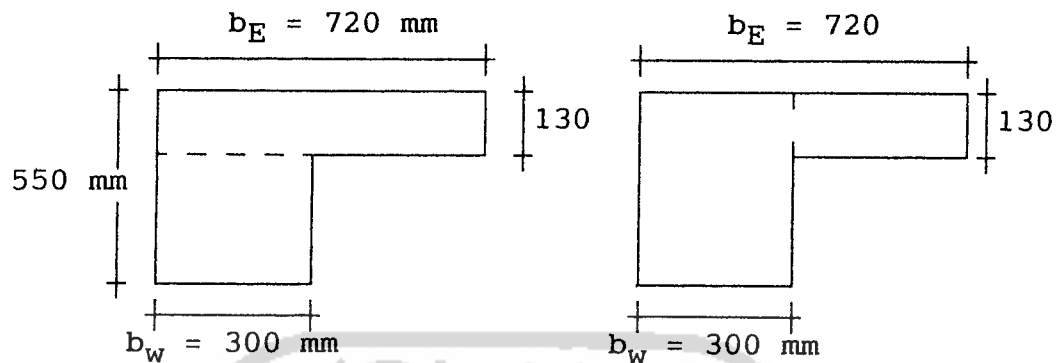
Distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.3, maka dapat ditentukan distribusi momen sebagai berikut :

Tabel 4.2. Distribusi momen arah memanjang

Portal	A	B
Mo	141,012	70,506
Mneg tumpuan eks (0,30 Mo)	42,304	21,152
Mpos bentang eks (0,50 Mo)	70,506	35,253
Mneg tumpuan int pertama (0,70 Mo)	98,708	49,354
Mneg tumpuan int (0,65 Mo)	91,658	45,829
Mpos bentang int (0,35 Mo)	49,354	24,677

6. Menentukan tetapan torsi C dari balok transversal

Untuk balok tepi pada arah pendek dan panjang, tetapan torsi C dihitung berdasarkan penampang seperti gambar berikut :



$$b_E = b_w + (h-t) = 300 + (550 - 130) = 720 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_w + 4t = 300 + 4(130) = 820 \text{ mm}$$

Gambar 4.11. Balok tepi pendek atau panjang

$$C = \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3}$$

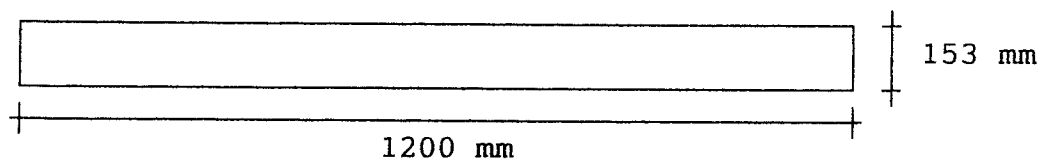
$$C = \left[1 - \frac{0,63(130)}{720} \right] \frac{(130)^3 720}{3} + \left[1 - \frac{0,63(300)}{420} \right] \frac{(300)^3 420}{3}$$

$$= 2546301900$$

$$C = \left[1 - \frac{0,63(300)}{420} \right] \frac{(300)^3 550}{3} + \left[1 - \frac{0,63(130)}{420} \right] \frac{(130)^3 420}{3}$$

$$= 3496601903$$

Untuk balok dalam pada arah pendek dan panjang digunakan tebal pelat 153 mm.



Gambar 4.12. Balok dalam arah pendek atau panjang

$$C = \left[1 - \frac{0,63(153)}{1200} \right] \frac{(153)31200}{3}$$

$$= 1317554731$$

7. Mendistribusikan momen longitudinal ke arah transversal

Hitungan distribusi transversal berdasarkan nilai l_1/l_2 , $\alpha_1 l_1/l_2$, dan β_t dengan bantuan tabel 3.4, sehingga dapat ditentukan prosentase momen arah transversal dengan cara interpolasi linear. Hasil hitungan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Prosentase distribusi transversal dari momen longitudinal.

No	Portal kaku ekivalen	A	B
1	Lebar melintang total (mm)	5000	2500
2	Lebar jalur kolom (mm)	2500	1250
3	Lebar $\frac{1}{2}$ jalur tengah (mm)	2@1250	1250
4	C	3496601903	
5	I_s (x 10^9 mm ⁴)	1,143	0,572
6	$\beta_t = (E_{cb} \cdot I_b) / (2E_{cs} \cdot I_s)$	1,530	3,056
7	α_1	0	11,506
8	l_1/l_2	0,769	0,769
9	$\alpha_1 l_1/l_2$	0	8,848
10	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	84,70	81,93
11	Prosentase M_{pos} ekst. thd jalur kolom	60	81,93
12	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	75	81,93
13	Prosentase momen balok thd jalur kolom	0	85

Tabel 4.8. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal A

Lbr total=5000mm, lbr jalur kolom=2500mm, lbr jalur tengah=2500mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	42,304	70,506	98,708	91,658	49,354
M balok	0	0	0	0	0
Mplt jalur kolom	35,831	42,304	74,031	68,744	29,612
Mplt jalur tengah	6,473	28,202	24,677	22,914	19,742

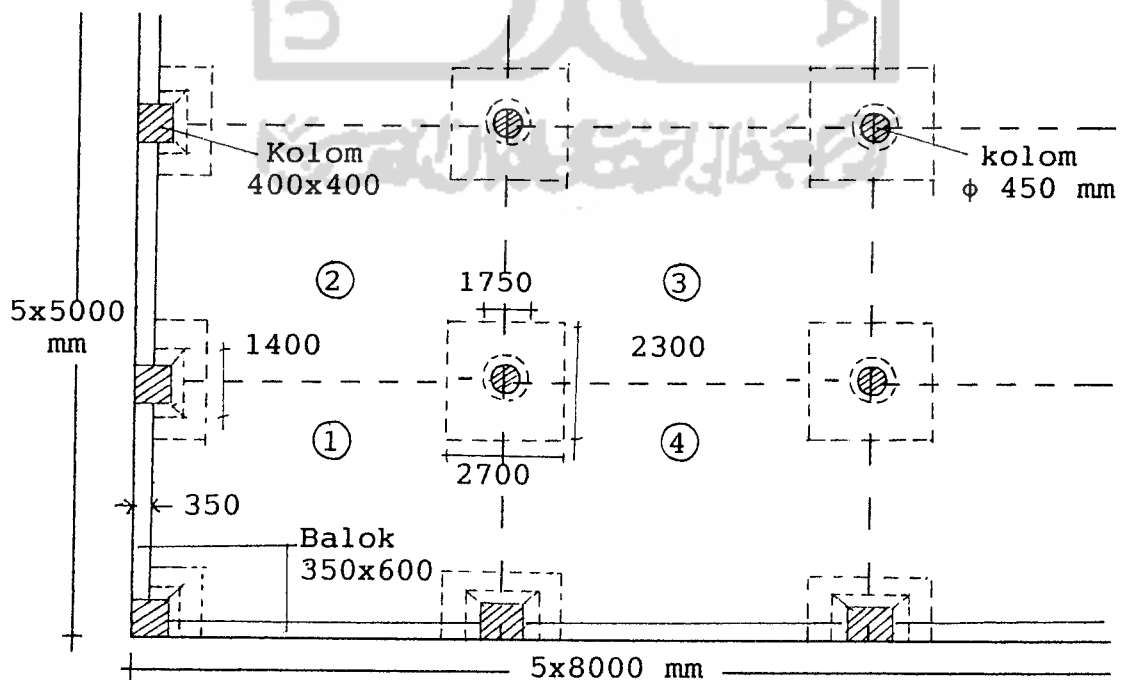
Tabel 4.9. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal B

Lbr total=2500mm, lbr jalur kolom=1250mm, lbr jalur tengah=1250mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	21,152	35,253	49,354	45,829	24,677
M balok	14,730	24,550	34,370	31,916	17,185
Mplt jalur kolom	2,599	4,332	6,065	5,632	3,033
Mplt jalur tengah	3,822	6,370	8,918	8,281	4,459

4.1.3. Bentang (8000 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{8000}{5000} = 1,6$$

Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.12.), beban hidup yang diterima $2,50 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $4,08 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (8000 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (400 x 400)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 450 mm dan balok tepi (350 x 600) mm. Tebal pelat diasumsikan 160 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.13. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

1. Memeriksa Tebal Pelat

a. Berdasarkan persyaratan lendutan

Panel dengan balok tepi

$$b_E = b_W + (h-t) = 350 + (600 - 160) = 790 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_W + 4(t) = 350 + 4(160) = 990 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_W} = \frac{790}{350} = 2,257 ; \quad \frac{t}{h} = \frac{160}{600} = 0,267$$

$$k = \frac{1 + \left[\frac{b_E}{b_W} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right] \left\{ 4 - 6 \left[\frac{t}{h} \right] + 4 \left[\frac{t}{h} \right]^2 + \left[\frac{b_E}{b_W} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]^3 \right\}}{1 + \left[\frac{b_E}{b_W} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]}$$

$$k = \frac{1 + (2,257-1)(0,267)\{4-6(0,267) + 4(0,267)^2 + (2,257-1)(0,267)^3\}}{1 + (2,257-1)(0,267)}$$

$$= 1,429$$

$$I_D = k \frac{b_W h^3}{12} = 1,429 \frac{350 (600)^3}{12} = 9002700000 \text{ mm}^4$$

$$I_S \text{ arah panjang} = 1/12 (2500)(160)^3 = 853333333,3 \text{ mm}^4$$

$$I_S \text{ arah pendek} = 1/12 (4000)(160)^3 = 1365333333 \text{ mm}^4$$

$$\alpha \text{ arah panjang} = \frac{E_{cb} \cdot I_D}{E_{cs} \cdot I_S} = \frac{9002700000 E_{cb}}{853333333,3 E_{cs}} = 10,550$$

$$\alpha \text{ arah pendek} = \frac{E_{cb} \cdot I_D}{E_{cs} \cdot I_S} = \frac{9002700000 E_{cb}}{1365333333 E_{cs}} = 6,594$$

Karena tidak ada balok dalam maka α dalam = 0

$$\alpha_m \text{ panel 1} = \frac{1}{4} (0 + 6,594 + 10,550 + 0) = 4,286$$

$$\alpha_m \text{ panel 2} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 10,550) = 2,638$$

$$\alpha_m \text{ panel 3} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 6,594) = 1,649$$

$$\alpha_m \text{ panel 4} = 0$$

Koefisien dari bagian yang menerus β_s untuk keliling panel :

$$\text{Panel 1 : } \beta_s = \frac{8000 + 5000}{2(8000 + 5000)} = 0,50$$

$$\text{Panel 2 : } \beta_s = \frac{8000 + 2(5000)}{2(8000 + 5000)} = 0,69$$

$$\text{Panel 3 : } \beta_s = \frac{2(8000) + 5000}{2(8000 + 5000)} = 0,81$$

$$\text{Panel 4 : } \beta_s = \frac{2(8000 + 5000)}{2(8000 + 5000)} = 1,00$$

Karena panel 1,2,3 menggunakan balok-balok tepi dan α_m panel > 0, maka memperkaku tepi-tepi dari panel luar dengan demikian panel dalam menentukan tebal pelat.

Bentang bersih panel dalam :

$$l_n = 8000 - 1750 = 6250 \text{ mm}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel 3.1 :

$$h_{\min} = \frac{l_n}{40} = \frac{6250}{40} = 156,25 < 160$$

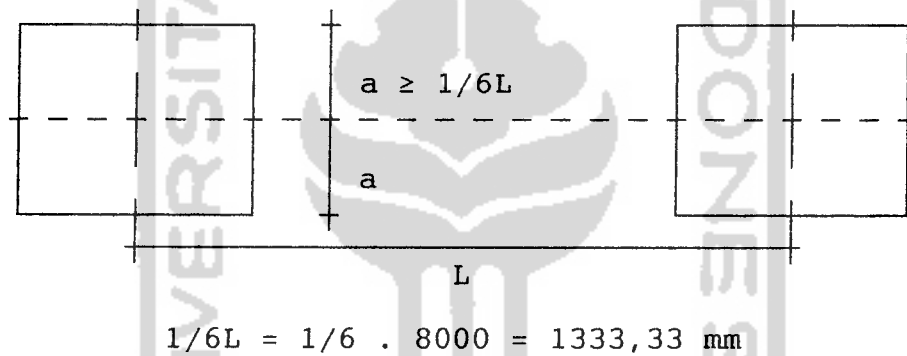
- Ok -

dan tidak lebih dari :

$$h = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{6250 \left[0,8 + \frac{300}{1500} \right]}{36}$$

$$= 173,61 > 160 \quad - \text{Ok} -$$

Rasio kekakuan (α) balok tepi untuk balok pendek dan balok panjang jauh diatas 0,8 maka tebal pelat tidak perlu ditambah 10 %, tebal pelat 160 mm cukup.



b. Berdasarkan persyaratan geser

Aksi balok lebar (satu arah), pemeriksaan ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 (gambar 4.7).

$$W_d \text{ pelat} = 0,160 (24) = 3,84 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ penutup pelat} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

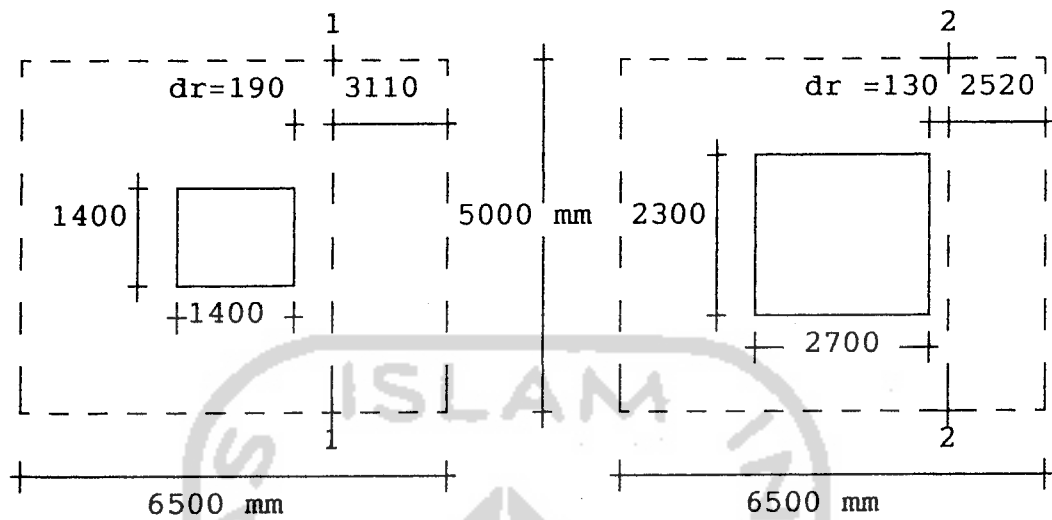
$$W_d \text{ total} = 4,08 \text{ kN/m}^2$$

$$W_l = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$W_u = 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6(W_l)$$

$$= 1,2 (4,08) + 1,6(2,50)$$

$$= 8,896 \text{ kN/m}^2$$



$$\begin{aligned} d_r &= 220 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 190 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_r &= 160 - 24 - \frac{1}{2} (12) \\ &= 130 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar 4.14. Aksi balok lebar

Untuk potongan 1-1 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 3,110 \\ &= 8,896 \cdot 5 \cdot 3,110 \\ &= 133,854 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) b_w \cdot d \\ &= 0,6 \left(\sqrt{25} / 6 \right) 5000 (130) \\ &= 325000 \text{ N} = 325,000 \text{ kN} > V_u \end{aligned}$$

- Ok -

Untuk potongan 2-2 :

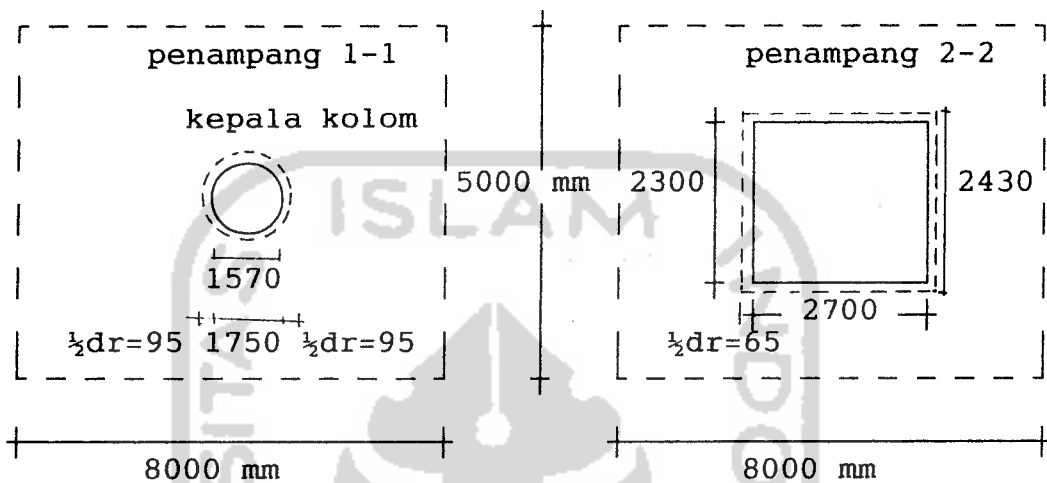
$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 2,520 \\ &= 8,896 (5) (2,520) \\ &= 112,090 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) b_w \cdot d \\ &= 0,6 \left(\sqrt{25} / 6 \right) 2300 (190) \\ &= 218500 \text{ N} = 218,500 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Ok -

Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2.



Gambar 4.15. Aksi dua arah

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \{ (8 \times 5) - \frac{1}{4}\pi d^2 \} + 1,6 W_{dd} \{ 2,3 (2,7) - \frac{1}{4}\pi d^2 \} \\
 &= 8,896 \{ 40 - \frac{1}{4}\pi (1,75)^2 \} + 1,6 (1,44) \{ 6,21 - \frac{1}{4}\pi (1,75)^2 \} \\
 &= 343,209 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dimana W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 60 mm

$$= 0,60 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi V_n = \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c} / 6) b_o \cdot d$$

$$= 0,6 (\sqrt{25} / 6) 2\pi (1940 / 2) 190$$

$$= 578995,526 \text{ N} = 578,995 \text{ kN} > V_u \quad - \text{ Ok } -$$

Penampang 2-2 :

$$V_u = W_u \{ 8(5) - 2,3(2,7) \}$$

$$= 8,896 \{ 40 - 6,21 \}$$

$$= 300,596 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_o \cdot d \\
 &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2(2830 + 2430)(130) \\
 &= 683800 \text{ N} = 683,800 \text{ kN} > V_u \quad - \text{ Ok } -
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Momen Statis Terfaktor



Gambar 4.16. Portal kaku ekuivalen

$$\begin{aligned}
 \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\
 &= 1/8 (8,896) 5 (8 - 1,4)^2 \\
 &= 242,194 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 (8,896) 5 (8 - 1,4)^2 \\
 &= 121,097 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung kekakuan pelat, balok dan kolom

a. Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 \cdot E \cdot I_s}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (5000)(160)^2}{8000} = 853333,333 \text{ E}$$

$$K_S \text{ portal B} = \frac{4.E.I_S}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (2500)(160)^2}{8000} = 426666,667 \text{ E}$$

b. Kekakuan kolom (K_C)

ΣK_C (kolom dalam atas dan bawah lingkaran)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi (450)^4 (1/64)\}}{3500} = 4600890,491 \text{ E}$$

ΣK_C (kolom luar atas dan bawah bujursangkar)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi.1/12 (400)(400)^3\}}{3500} = 4876190,476 \text{ E}$$

c. Kekakuan balok (K_b)

K_b portal A = 0 (tidak ada balok)

$$K_b \text{ portal B} = \frac{4.E.1/12 (350)(600)^3}{8000} = 3150000 \text{ E}$$

4. Menghitung faktor pengali δ_s untuk momen positif

Perbandingan dari beban mati layan terhadap beban hidup layan (β_a) adalah :

$$\beta_a = \frac{(0,160)(24) + 0,24}{2,50} = 1,632$$

Harga-harga α_{\min} yang disyaratkan untuk $\delta_s = 1,0$

Tabel 4.10. Nilai α_{\min}

Portal	A	B
$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$	0	6,594
l_1/l_2	1,6	1,6
α_{\min} (tabel 3.2)	0	0

Portal A :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{4876190,476 \text{ E}}{853333,333\text{E} + 0} \\ &= 5,714 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{4600890,491\text{E}}{2 (853333,333\text{E}) + 0} \\ &= 2,696 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{4876190,476 \text{ E}}{426666,667\text{E} + 3150000\text{E}} \\ &= 1,363 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_C \text{ luar} &= \frac{K_{C1} + K_{C2}}{\Sigma K_S + \Sigma K_b} \\ &= \frac{4600890,491E}{2 (426666,667E + 3150000E)} \\ &= 0,643 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_S = 1,0 \end{aligned}$$

Karena semua harga $\alpha_C > \alpha_{\min}$ maka faktor pembesaran momen $\delta_S = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

5. Menentukan distribusi momen arah longitudinal

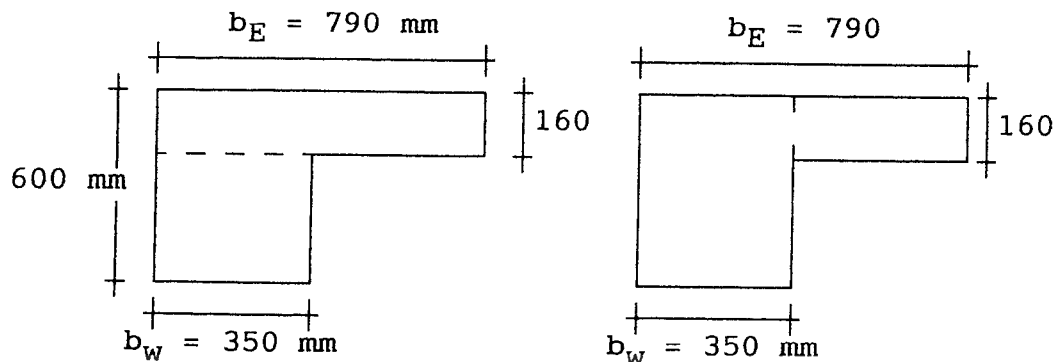
Distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.3, maka dapat ditentukan distribusi momen sebagai berikut :

Tabel 4.11. Distribusi momen arah memanjang

Portal	A	B
Mo	242,194	121,097
Mneg tumpuan eks (0,30 Mo)	72,658	36,329
Mpos bentang eks (0,50 Mo)	121,097	60,549
Mneg tumpuan int pertama (0,70 Mo)	169,536	84,768
Mneg tumpuan int (0,65 Mo)	157,426	78,713
Mpos bentang int (0,35 Mo)	84,768	42,384

6. Menentukan tetapan torsi C dari balok transversal

Untuk balok tepi pada arah pendek dan panjang, tetapan torsi C dihitung berdasarkan penampang seperti gambar berikut :



$$b_E = b_w + (h-t) = 350 + (600 - 160) = 790 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_w + 4t = 350 + 4(160) = 990 \text{ mm}$$

Gambar 4.17. Balok tepi pendek atau panjang

$$C = \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3}$$

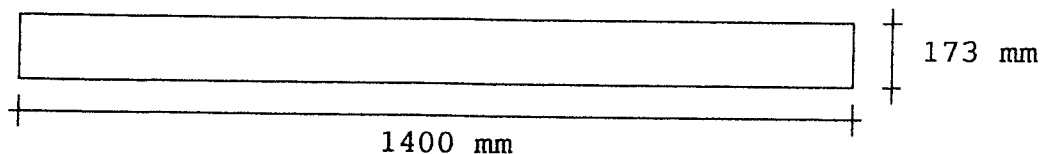
$$C = \left[1 - \frac{0,63(160)}{790} \right] \frac{(160)^3 790}{3} + \left[1 - \frac{0,63(350)}{440} \right] \frac{(350)^3 440}{3}$$

$$= 3950552105$$

$$C = \left[1 - \frac{0,63(350)}{600} \right] \frac{(350)^3 600}{3} + \left[1 - \frac{0,63(160)}{440} \right] \frac{(160)^3 440}{3}$$

$$= 5886808567$$

Untuk balok dalam pada arah pendek dan panjang digunakan tebal pelat 173 mm.



Gambar 4.18. Balok dalam arah pendek atau panjang

$$C = \left[1 - \frac{0,63 (173)}{1400} \right] \frac{(173)^3 1400}{3}$$

$$= 2228161475$$

7. Mendistribusikan momen longitudinal ke arah transversal

Hitungan distribusi transversal berdasarkan nilai l_1/l_2 , $\alpha_1 l_1/l_2$, dan β_t dengan bantuan tabel 3.4, sehingga dapat ditentukan prosentase momen arah transversal dengan cara interpolasi linear. Hasil hitungan dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12. Prosentase distribusi transversal dari momen longitudinal.

No	Portal kaku ekivalen	A	B
1	Lebar melintang total (mm)	5000	2500
2	Lebar jalur kolom (mm)	2500	1250
3	Lebar $\frac{1}{2}$ jalur tengah (mm)	2@1250	1250
4	C	5886808567	
5	I_s (x 10^9 mm ⁴)	1,706	0,853
6	$\beta_t = (E_{cb} \cdot I_b) / (2E_{cs} \cdot I_s)$	1,725	3,449
7	α_1	0	6,594
8	l_1/l_2	0,625	0,625
9	$\alpha_1 l_1/l_2$	0	4,121
10	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	82,75	86,25
11	Prosentase M_{pos} ekst. thd jalur kolom	60	86,25
12	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	75	86,25
13	Prosentase momen balok thd jalur kolom	0	85

Tabel 4.13. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal A

Lbr total=5000mm, lbr jalur kolom=2500mm, lbr jalur tengah=2500mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	75,658	121,097	169,536	157,426	84,768
M balok	0	0	0	0	0
Mplt jalur kolom	60,124	72,658	127,152	118,070	50,861
Mplt jalur tengah	12,534	48,439	42,384	39,356	33,907

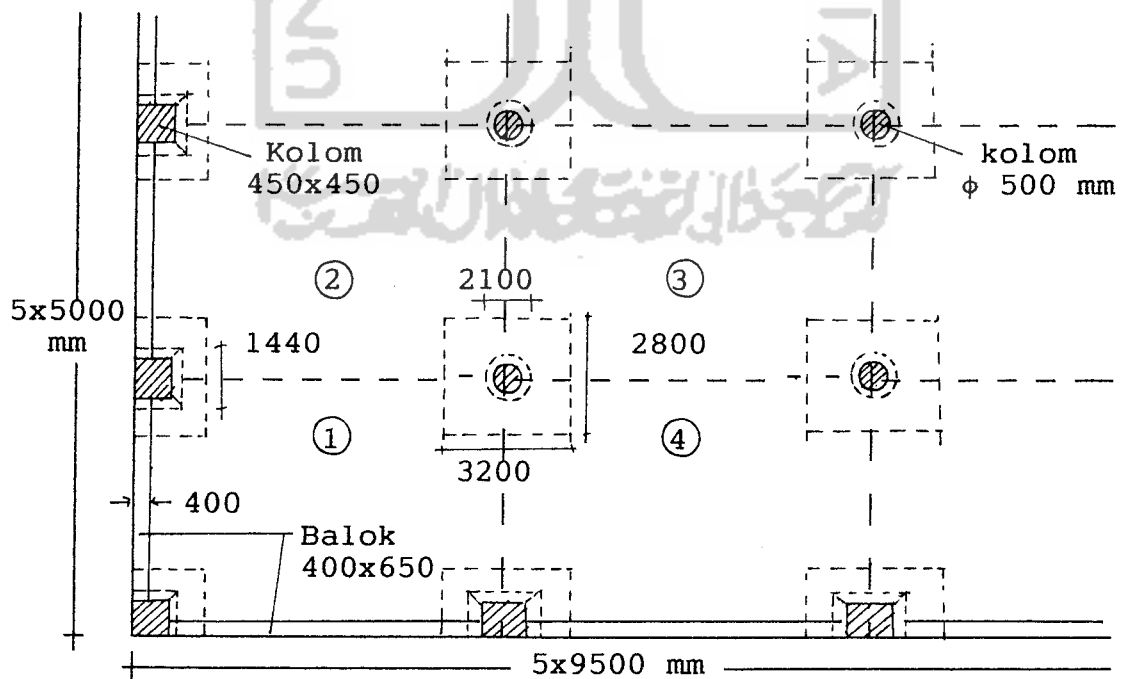
Tabel 4.14. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal B

Lbr total=2500mm, lbr jalur kolom=1250mm, lbr jalur tengah=1250mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	36,329	60,549	84,768	78,713	42,384
M balok	26,634	44,390	62,146	57,706	31,073
Mplt jalur kolom	4,700	7,834	10,967	10,183	5,483
Mplt jalur tengah	5,037	8,325	11,656	10,823	5,828

4.1.4. Bentang (9500 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{9500}{5000} = 1,9$$

Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.18), beban hidup yang diterima $3,00 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $4,56 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (9500 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3800 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (450 x 450)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 500 mm dan balok tepi (400 x 650) mm. Tebal pelat diasumsikan 180 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.19. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

1. Memeriksa Tebal Pelat

a. Berdasarkan persyaratan lendutan

Panel dengan balok tepi

$$b_E = b_w + (h-t) = 400 + (650 - 180) = 870 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_w + 4(t) = 400 + 4(180) = 1120 \text{ mm}$$

$$\frac{b_E}{b_w} = \frac{870}{400} = 2,175 ; \quad \frac{t}{h} = \frac{180}{650} = 0,277$$

$$k = \frac{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right] \left[4 - 6 \left[\frac{t}{h} \right] + 4 \left[\frac{t}{h} \right]^2 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]^3 \right]}{1 + \left[\frac{b_E}{b_w} - 1 \right] \left[\frac{t}{h} \right]}$$

$$k = \frac{1 + (2,175-1)(0,277)\{4-6(0,277) + 4(0,277)^2 + (2,175-1)(0,277)^3\}}{1 + (2,175-1)(0,277)}$$

$$= 1,410$$

$$I_b = k \frac{b_w h^3}{12} = 1,410 \frac{400 (650)^3}{12} = 1,2907375 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah panjang} = 1/12 (2500)(180)^3 = 121500000 \text{ mm}^4$$

$$I_s \text{ arah pendek} = 1/12 (4750)(180)^3 = 230850000 \text{ mm}^4$$

$$\alpha \text{ arah panjang} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{1,2907375 \cdot 10^{10} E_{cb}}{121500000 E_{cs}} = 10,623$$

$$\alpha \text{ arah pendek} = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s} = \frac{1,2907375 \cdot 10^{10} E_{cb}}{230850000 E_{cs}} = 5,591$$

Karena tidak ada balok dalam maka α dalam = 0

$$\alpha_m \text{ panel 1} = \frac{1}{4} (0 + 5,591 + 10,623 + 0) = 4,054$$

$$\alpha_m \text{ panel 2} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 10,623) = 2,656$$

$$\alpha_m \text{ panel 3} = \frac{1}{4} (0 + 0 + 0 + 5,591) = 1,398$$

$$\alpha_m \text{ panel 4} = 0$$

Koefisien dari bagian yang menerus β_s untuk keliling panel :

$$\text{Panel 1 : } \beta_s = \frac{9500 + 5000}{2(9500 + 5000)} = 0,50$$

$$\text{Panel 2 : } \beta_s = \frac{9500 + 2(5000)}{2(9500 + 5000)} = 0,67$$

$$\text{Panel 3 : } \beta_s = \frac{2(9500) + 5000}{2(9500 + 5000)} = 0,83$$

$$\text{Panel 4 : } \beta_s = \frac{2(9500 + 5000)}{2(9500 + 5000)} = 1,00$$

Karena panel 1,2,3 menggunakan balok-balok tepi dan α_m panel > 0, maka memperkaku tepi-tepi dari panel luar dengan demikian panel dalam menentukan tebal pelat.

Bentang bersih panel dalam :

$$l_n = 9500 - 2500 = 7000 \text{ mm}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel 3.1 :

$$h_{\min} = \frac{l_n}{40} = \frac{7000}{40} = 175 < 180$$

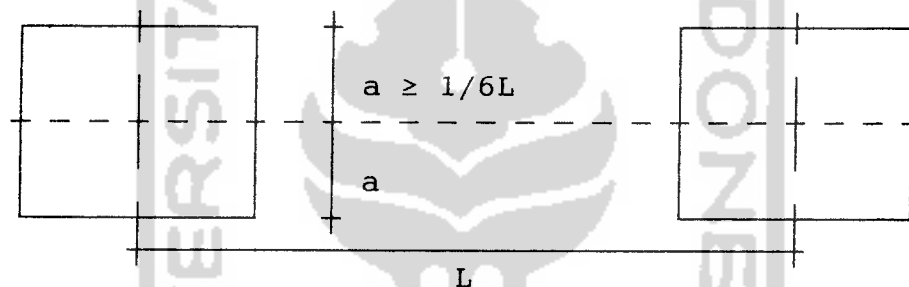
- Ok -

dan tidak lebih dari :

$$h = \frac{l_n \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} = \frac{7000 \left[0,8 + \frac{300}{1500} \right]}{36}$$

$$= 194,44 > 180 \quad - \text{Ok} -$$

Rasio kekakuan (α) balok tepi untuk balok pendek dan balok panjang jauh diatas 0,8 maka tebal pelat tidak perlu ditambah 10 %, tebal pelat 180 mm cukup.



$$1/6L = 1/6 \cdot 9500 = 1583,33 \text{ mm}$$

b. Berdasarkan persyaratan geser

Aksi balok lebar (satu arah), pemeriksaan ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 (gambar 4.19).

$$W_d \text{ pelat} = 0,180 (24) = 4,32 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ penutup pelat} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

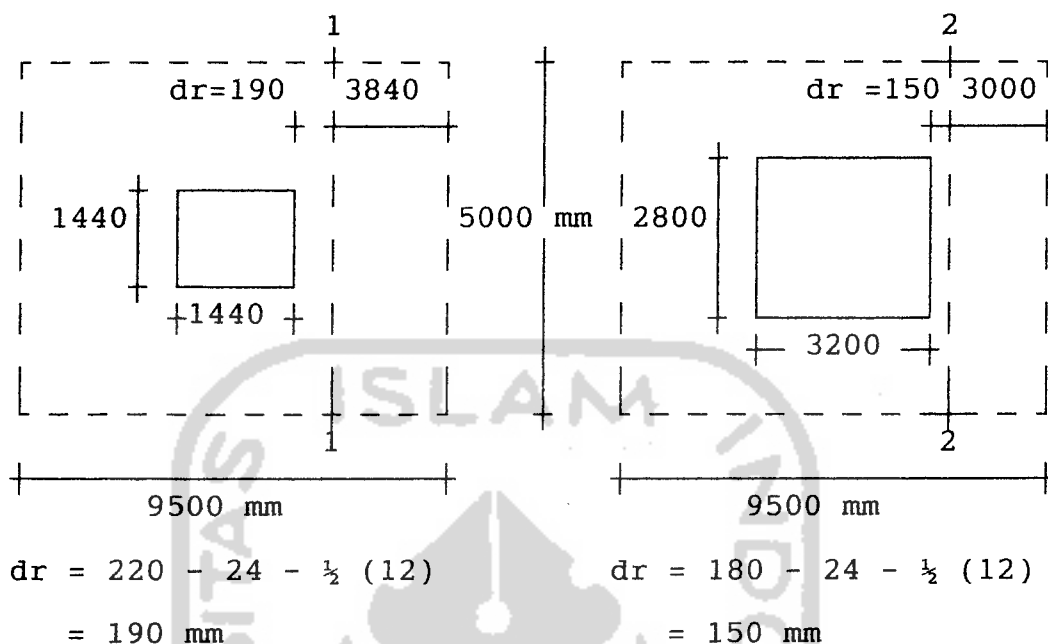
$$W_d \text{ total} = 4,56 \text{ kN/m}^2$$

$$W_l = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

$$W_u = 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6(W_l)$$

$$= 1,2 (4,56) + 1,6(3,00)$$

$$= 10,272 \text{ kN/m}^2$$



Gambar 4.20. Aksi balok lebar

Untuk potongan 1-1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 3,840 \\
 &= 10,272 \cdot 5 \cdot 3,840 \\
 &= 197,222 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_w \cdot d \\
 &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 5000 (150) \\
 &= 375000 \text{ N} = 375,000 \text{ kN} > V_u
 \end{aligned}$$

- Ok -

Untuk potongan 2-2 :

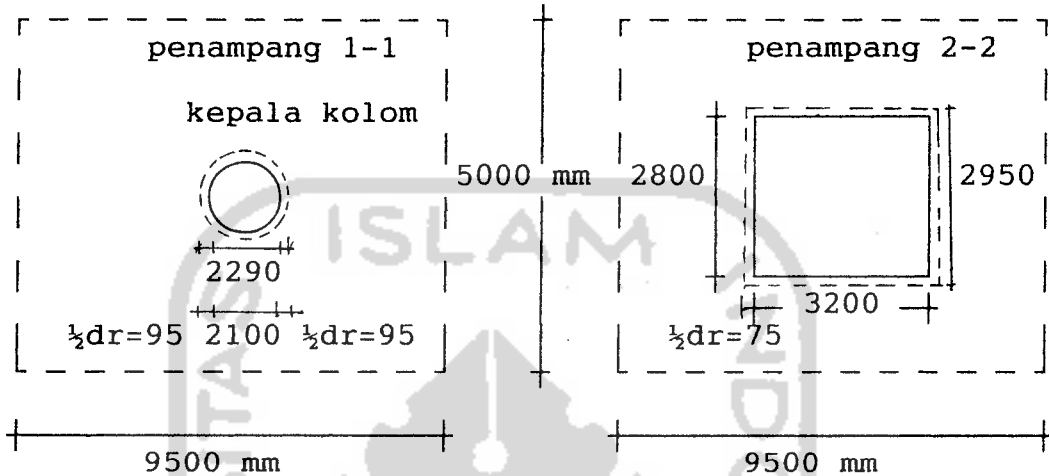
$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \cdot 5 \cdot 3,000 \\
 &= 10,272 (5) (3,000) \\
 &= 154,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi V_c = \phi (\sqrt{f'_c}/6) b_w \cdot d \\
 &= 0,6 (\sqrt{25}/6) 2800 (190) \\
 &= 266000 \text{ N} = 266,000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Ok -

Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2.



Gambar 4.21. Aksi dua arah

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \{ (9,5 \times 5) - \frac{1}{4}\pi d^2 \} + 1,6 W_{dd} \{ 2,8 (3,2) - \frac{1}{4}\pi d^2 \} \\ &= 10,272 \{ 47,5 - \frac{1}{4}\pi (2,1)^2 \} + 1,6 (0,96) \{ 8,96 - \frac{1}{4}\pi (2,1)^2 \} \\ &= 435,104 \text{ kN} \end{aligned}$$

dimana W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 40 mm

$$= 0,40 \times 24 = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_o \cdot d \\ &= 0,6 \left(\frac{\sqrt{25}}{6} \right) 2\pi \left(\frac{2290}{2} \right) 190 \\ &= 683453,482 \text{ N} = 683,453 \text{ kN} > V_u \quad - \text{Ok} - \end{aligned}$$

Penampang 2-2 :

$$\begin{aligned} V_u &= W_u \{ 9,5(5) - 2,8(3,2) \} \\ &= 10,272 \{ 47,5 - 8,96 \} \\ &= 370,203 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi V_c = \phi \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) b_o \cdot d \\ &= 0,6 \left(\frac{\sqrt{25}}{6} \right) 2(2950 + 3350)(150) \end{aligned}$$

$$= 945000 \text{ N} = 945,000 \text{ kN} > V_u \quad - \text{ Ok } -$$

Karena aksi dua arah dan satu arah untuk semua nilai $V_u < \phi V_n$ maka tebal pelat 180 mm memenuhi syarat sehingga tidak memerlukan tulangan geser.

2. Menghitung Momen Statis Terfaktor



Gambar 4.22. Portal kaku ekivalen

$$\begin{aligned} \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\ &= 1/8 (10,272) 5 (9,5 - 1,44)^2 \\ &= 417,066 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 (10,272) 2,5 (9,5 - 1,44)^2 \\ &= 208,533 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Menghitung kekakuan pelat, balok dan kolom

a. Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 \cdot E \cdot I_s}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (5000)(180)^2}{9500} = 1023157,895E$$

$$K_S \text{ portal B} = \frac{4.E.I_S}{l_1}$$

$$= \frac{4.E.1/12 (2500)(180)^2}{9500} = 511578,947E$$

b. Kekakuan kolom (K_C)

ΣK_C (kolom dalam atas dan bawah lingkaran)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi (500)^4 (1/64)\}}{3500} = 7012483,602 E$$

ΣK_C (kolom luar atas dan bawah bujursangkar)

$$\Sigma K_C = \frac{2 (4.E.I_C)}{l_C}$$

$$= \frac{2 \{4.E.\pi.1/12 (450)(450)^3\}}{3500} = 7810714,286 E$$

c. Kekakuan balok (K_b)

K_b portal A = 0 (tidak ada balok)

$$K_b \text{ portal B} = \frac{4.E.1/12 (400)(650)^3}{9500} = 3854385,965 E$$

4. Menghitung faktor pengali δ_s untuk momen positif

Perbandingan dari beban mati layan terhadap beban hidup layan (β_a) adalah :

$$\beta_a = \frac{(0,180)(24) + 0,24}{3,00} = 1,52$$

Harga-harga α_{\min} yang disyaratkan untuk $\delta_s = 1,0$

Tabel 4.13. Nilai α_{\min}

Portal	A	B
$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$	0	5,591
l_1/l_2	0,526	0,526
α_{\min} (tabel 3.2)	0	0

Portal A :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{7810714,286 \text{ E}}{1023157,895\text{E} + 0} \\ &= 7,634 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ dalam} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{7012483,602\text{E}}{2 (1023157,895\text{E}) + 0} \\ &= 3,817 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \alpha_c \text{ luar} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\ &= \frac{7810714,286 \text{ E}}{511578,947\text{E} + 3854385,965\text{E}} \\ &= 1,789 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_c \text{ dalam} &= \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\Sigma K_s + \Sigma K_b} \\
 &= \frac{7012483,602E}{2 (511578,947E + 3854385,965E)} \\
 &= 0,803 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0
 \end{aligned}$$

Karena semua harga $\alpha_c > \alpha_{\min}$ maka faktor pembesaran momen $\delta_s = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

5. Menentukan distribusi momen arah longitudinal

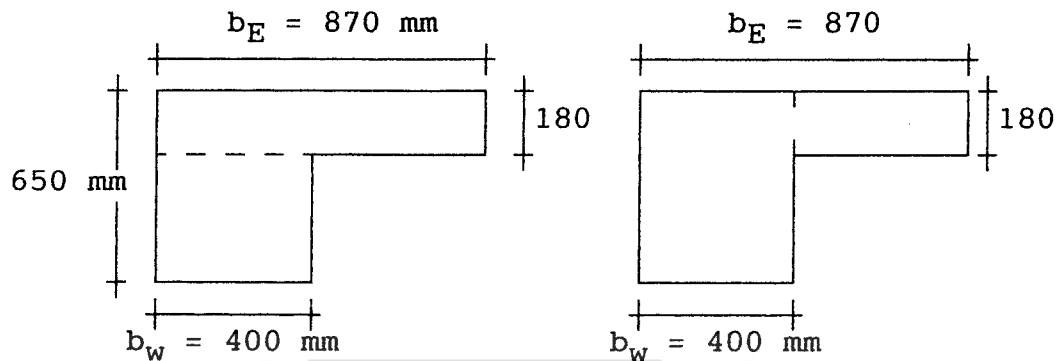
Distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.3, maka dapat ditentukan distribusi momen sebagai berikut :

Tabel 4.14. Distribusi momen arah memanjang

Portal	A	B
Mo	417,066	208,533
Mneg tumpuan eks (0,30 Mo)	125,120	62,560
Mpos bentang eks (0,50 Mo)	208,533	104,267
Mneg tumpuan int pertama (0,70 Mo)	291,946	145,973
Mneg tumpuan int (0,65 Mo)	271,093	135,546
Mpos bentang int (0,35 Mo)	145,973	72,987

6. Menentukan tetapan torsi C dari balok transversal

Untuk balok tepi pada arah pendek dan panjang, tetapan torsi C dihitung berdasarkan penampang seperti gambar berikut :



$$b_E = b_W + (h-t) = 400 + (650 - 180) = 870 \text{ mm (dipakai)}$$

$$b_E = b_W + 4t = 400 + 4(180) = 1120 \text{ mm}$$

Gambar 4.23. Balok tepi pendek atau panjang

$$C = \left[1 - 0,63 \frac{x}{y} \right] \frac{x^3 y}{3}$$

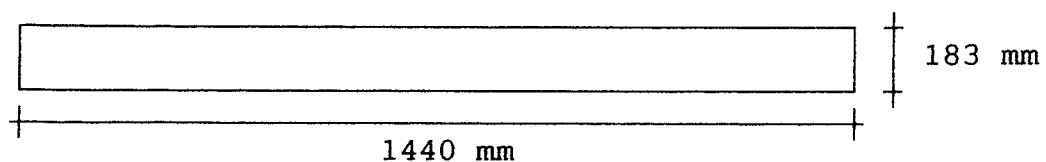
$$C = \left[1 - \frac{0,63(180)}{870} \right] \frac{(180)^3 870}{3} + \left[1 - \frac{0,63(400)}{470} \right] \frac{(400)^3 470}{3}$$

$$= 6121497068$$

$$C = \left[1 - \frac{0,63(400)}{650} \right] \frac{(400)^3 650}{3} + \left[1 - \frac{0,63(180)}{470} \right] \frac{(180)^3 470}{3}$$

$$= 9183897067$$

Untuk balok dalam pada arah pendek dan panjang digunakan tebal pelat 183 mm.



Gambar 4.24. Balok dalam arah pendek atau panjang

$$C = \left[1 - \frac{0,63(183)}{1440} \right] \frac{(183)^3 1440}{3}$$

$$= 2706156005$$

7. Mendistribusikan momen longitudinal ke arah transversal

Hitungan distribusi transversal berdasarkan nilai l_1/l_2 , $\alpha_1 l_1/l_2$, dan β_t dengan bantuan tabel 3.4, sehingga dapat ditentukan prosentase momen arah transversal dengan cara interpolasi linear. Hasil hitungan dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. Prosentase distribusi transversal dari momen longitudinal.

No	Portal kaku ekivalen	A	B
1	Lebar melintang total (mm)	5000	2500
2	Lebar jalur kolom (mm)	2500	1250
3	Lebar $\frac{1}{2}$ jalur tengah (mm)	2@1250	1250
4	C	9183897067	
5	I_s (x 10^9 mm ⁴)	2,430	1,215
6	$\beta_t = (E_{cb} \cdot I_b) / (2E_{cs} \cdot I_s)$	1,890	3,780
7	α_1	0	5,591
8	l_1/l_2	0,526	0,526
9	$\alpha_1 l_1/l_2$	0	2,941
10	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	81,10	89,22
11	Prosentase M_{pos} ekst. thd jalur kolom	60	89,22
12	Prosentase M_{neg} ekst. thd jalur kolom	75	89,22
13	Prosentase momen balok thd jalur kolom	0	85

Tabel 4.16. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal A

Lbr total=5000mm, lbr jalur kolom=2500mm, lbr jalur tengah=2500mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	125,120	208,533	291,946	271,093	145,973
M balok	0	0	0	0	0
Mplt jalur kolom	101,472	125,120	218,960	203,320	87,584
Mplt jalur tengah	23,650	83,413	72,986	67,773	58,380

Tabel 4.17. Distribusi transversal dari momen longitudinal Portal B

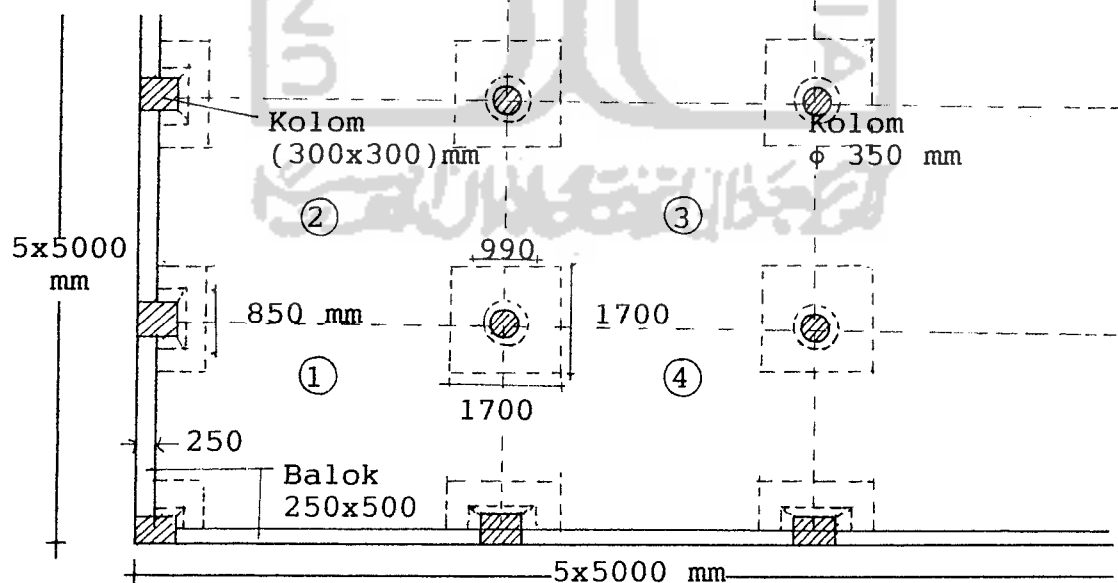
Lbr total=2500mm, lbr jalur kolom=1250mm, lbr jalur tengah=1250mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	62,560	104,267	145,973	135,546	72,987
M balok	47,444	79,070	110,702	102,794	55,351
Mplt jalur kolom	8,372	13,954	19,536	18,140	9,768
Mplt jalur tengah	6,744	11,240	15,736	14,612	7,868

4.2. Metode Portal Ekuivalen

4.2.1. Bentang (5000 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5000}{5000} = 1,0$$

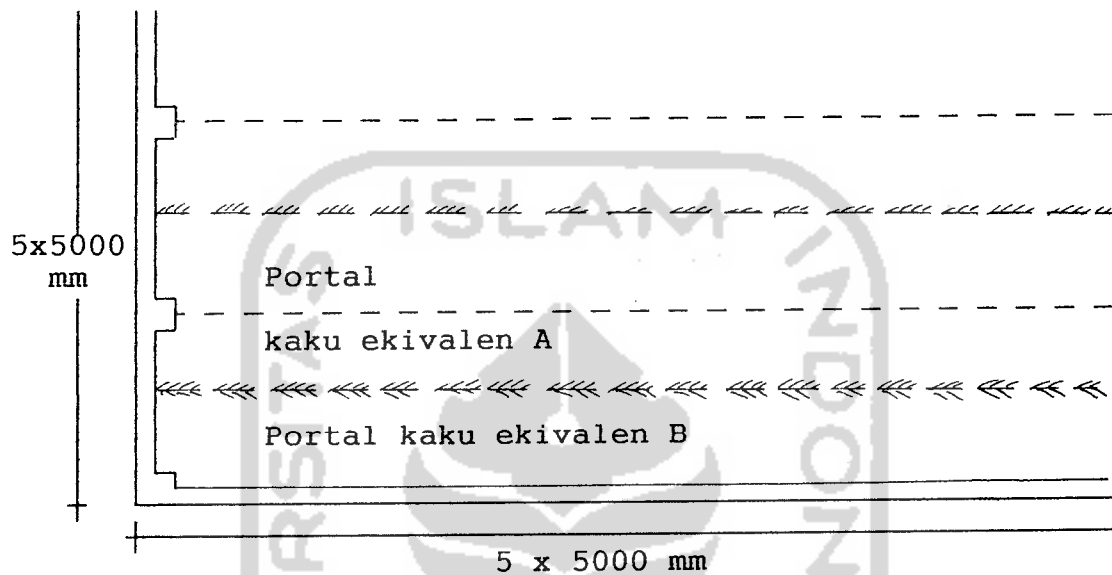
Diketahui pelat cendawan sebuah rumah tinggal (gambar 4.25), beban hidup yang diterima $2,00 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $2,88 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (5000 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (300 x 300)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 350 mm dan balok tepi (250 x 500) mm. Tebal pelat diasumsikan 110 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.25. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

Untuk penyelesaian dengan metoda ini hanya ditinjau dua portal yaitu portal A dan portal B (gambar 4.26).



Gambar 4.26. Portal kaku ekivalen

1. Memeriksa tebal pelat

Menurut persyaratan lendutan dan persyaratan geser, tebal pelat 110 mm sudah memenuhi syarat (lihat penyelesaian 4.1.1).

2. Komponen Rangka Ekivalen

Menentukan konstanta distribusi momen fixed end moment komponen rangka ekivalen. Metode distribusi momen digunakan untuk menganalisis rangka parsial untuk beban vertikal. Faktor kekakuan (K), carry over factor (COF) dan fixed end moment (FEM) untuk pelat-balok dan kolom ditentukan dengan bantuan tabel dalam lampiran 1 dengan cara

interpolasi linier.

Portal A :

$$CN_1/l_1 = 850/5000 = 0,170$$

$$CN_2/l_2 = 850/5000 = 0,170$$

Portal B :

$$CN_1/l_1 = 850/5000 = 0,170$$

$$CN_2/l_2 = 850/2500 = 0,340$$

tabel 4.18. Menentukan KNF, COF, dan FEM

CN_1/l_1	CN_2/l_2	kNF	COF	FEM
0,100	0,100	6,040	0,600	0,0936
	0,170	6,180	0,607	0,0939
	0,200	6,240	0,610	0,0940
0,170	0,170	6,404	0,614	0,0948
	0,340	6,982	0,631	0,0969
0,200	0,100	6,220	0,610	0,0942
	0,170	6,500	0,617	0,0953
	0,200	6,620	0,620	0,0957

a. Pelat - balok

Portal A :

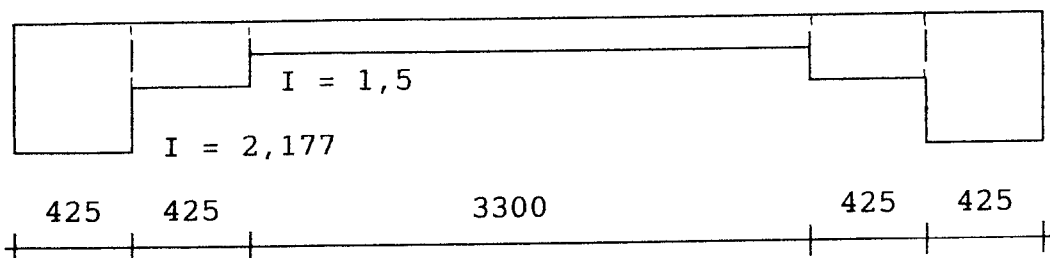
$$kNF = 6,404$$

$$COF = 0,614$$

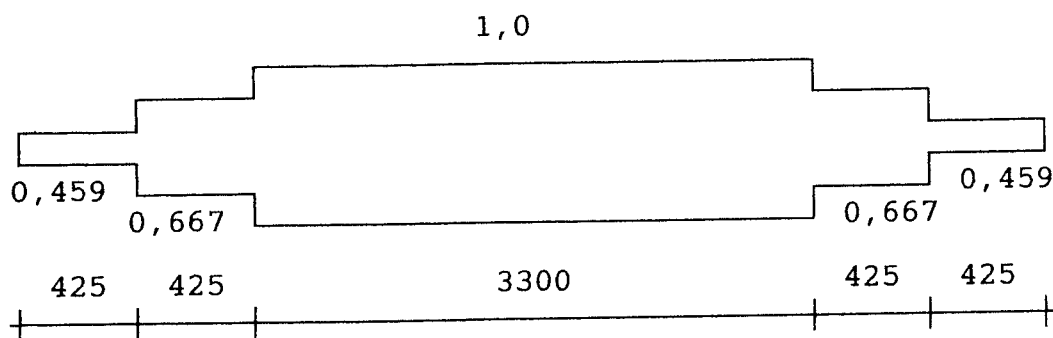
$$FEM = 0,0948 Wu \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok :

$$I = 1,0$$



Gambar 4.27. Momen inersia relatif



Gambar 4.28. Penampang kolom analogi

Variasi momen inersia satu bentang dari jalur pelat ditunjukkan pada gambar di atas. Tebal pelat 110 mm sebagai harga pembanding, maka momen inersia pertebalan menjadi :

$$(110 + 55) / 110 = 1,5.$$

Momen inersia di antara garis tengah kolom dan sisi dari kepala kolom bujursangkar ekuivalen adalah :

$$1,5 (1 - 850/5000)^2 = 2,177.$$

Variasi diarah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.28)

Luas penampang kolom analogi :

$$\begin{aligned} A &= 3300 + 2 (0,6667) (425) + 2 (0,459)(425) \\ &= 3300 + 566,695 + 390,15 \\ &= 4256,845 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

$$\begin{aligned} I_{sb} &= 1/12 (3300)^3 + 566,695 (1862,5)^2 + 390,15 (2287,5)^2 \\ &= 7002082663 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sb} &= \text{kNF} \frac{E I_{sb}}{11} = 6,404 \frac{E (7002082663)}{5000} \\ &= 8968267,475 E \end{aligned}$$

Portal B :

$$k_{NF} = 6,982$$

$$COF = 0,631$$

$$FEM = 0,0969 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok, I_{sb} tengah dihitung dengan bantuan grafik pada lampiran 2.

$$I_{sb} \text{ tengah} = C_t (1/12 b_w h^3)$$

$$= 2,3 \{ 1/12 \cdot 250 \cdot (500)^3 \}$$

Dimana C_t ditentukan :

$$\text{rasio A} = b/b_w = 2500/250 = 10$$

$$\text{rasio B} = t/h = 110/500 = 0,22$$

} dari grafik, $C_t = 2,3$

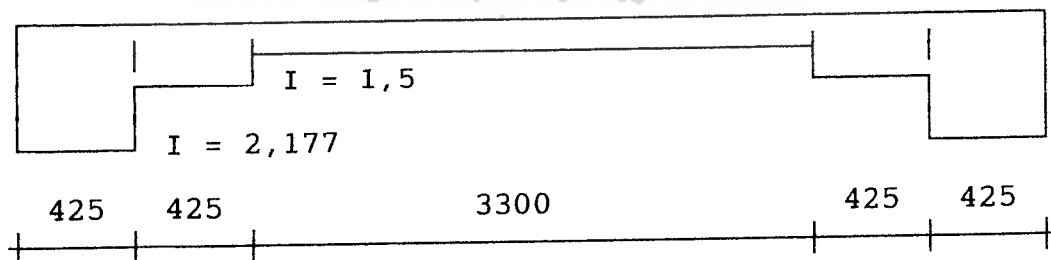
Dengan mengambil momen inersia pada pelat-balok tengah dengan tebal 110 mm, momen inersia menjadi :

$$(110 + 55) / 110 = 1,5$$

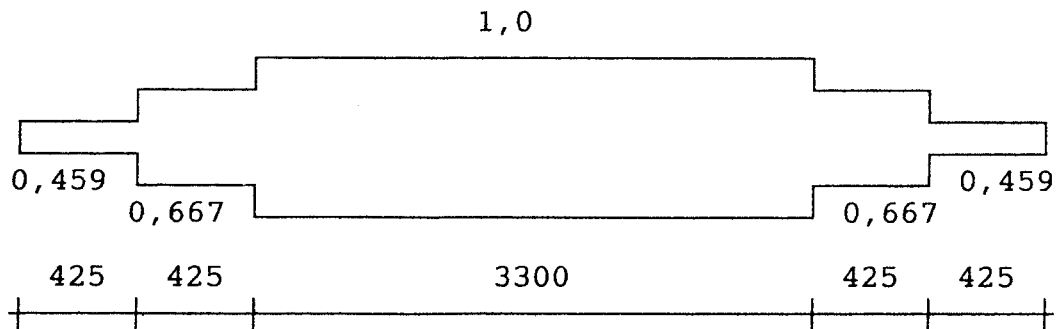
Momen inersia diantara garis tengah kolom dan sisi kepala kolom :

$$1,5 / (1 - 850/5000)^2 = 2,177$$

$$I = 1,0$$



Gambar 4.29. Momen inersia relatif



Gambar 4.30. Penampang kolom analogi

Variasi di arah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.30)

Luas penampang kolom analogi ;

$$\begin{aligned} A &= 3300 + 2 (0,6667)(425) + 2(0,459)(425) \\ &= 3300 + 566,695 + 390,15 \\ &= 4256,845 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

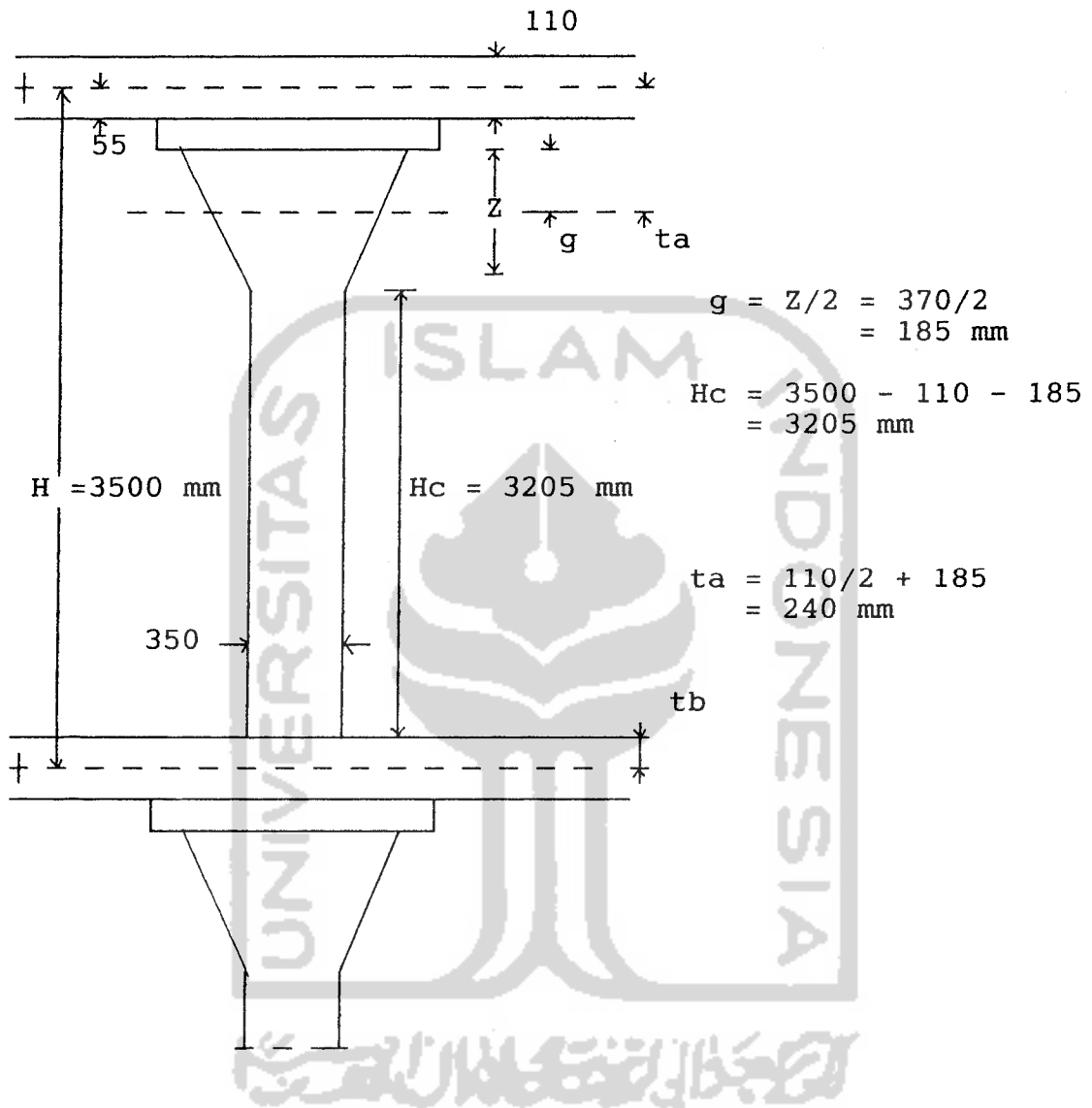
$$\begin{aligned} I_{sb} &= I_{sb} \text{ tengah} + 566,695 (1862,5)^2 + 390,15 (2287,5)^2 \\ &= 5989583333 + 196511827 + 2041520836 \\ &= 9996915996 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sb} &= kNF \frac{E I_{sb}}{11} = 6,982 \frac{E (9996915996)}{5000} \\ &= 13959693,5 E \end{aligned}$$

b. Kekakuan lentur kolom

Kekakuan lentur kolom ditentukan dengan bantuan tabel pada lampiran 3 dengan cara interpolasi linier.

Portal A dan B



Penentuan k_{ct} :

$$t_a/t_b = 240/55 = 4,364$$

$$H/H_c = 3500/3205 = 1,092$$

Penentuan k_{cb} :

$$t_b/t_a = 55/240 = 0,229$$

$$H/H_c = 3500/3205 = 1,092$$

Tabel 4.19. Menentukan kct, Cct, kcb dan Ccb

ta/tb		H/HC		
		1,05	1,092	1,10
0,200	kcb Ccb	4,310 0,560		4,620 0,620
0,229	kcb Ccb	4,320 0,559	4,593 0,608	4,645 0,617
0,400	kcb Ccb	4,380 0,550		4,790 0,600
4,200	kct Cct	4,730 0,510		5,550 0,520
4,364	kct Cct	4,730 0,510	5,426 0,518	5,558 0,520
4,400	kct Cct	4,730 0,510		5,560 5,520

Dari hitungan di atas maka portal A dan B didapat :

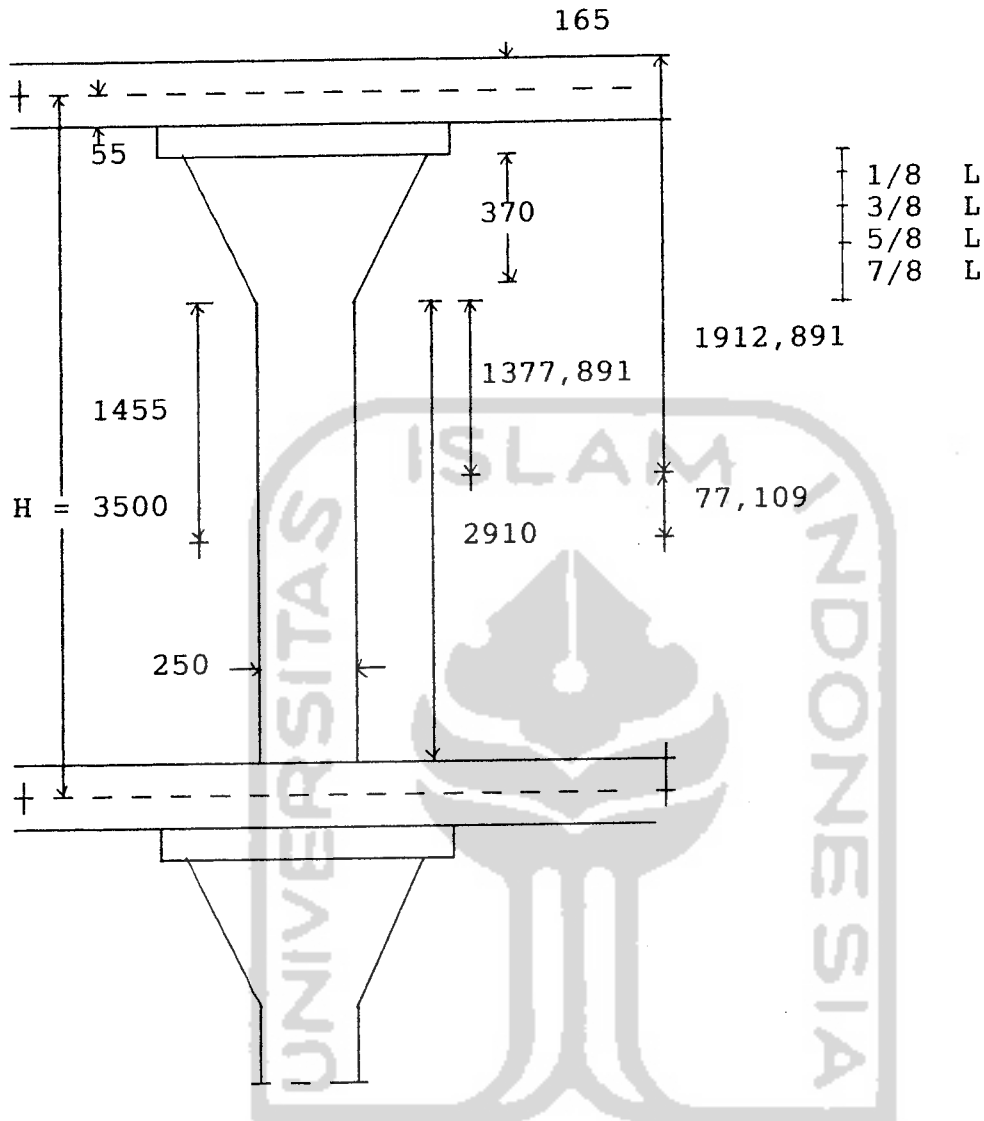
$$kct = 5,426$$

$$kcb = 4,593$$

$$Cct = 0,518$$

$$Ccb = 0,608$$

$$l_c = 3500 \text{ mm}$$



Gambar 4.31. Sifat-sifat lentur kolom (satuan dalam mm)

Bagian sebesar 370 mm dari kolom analogi yang mewakili kepala kolom dibagi menjadi empat segmen :

$$L = 370, \text{ dengan } l/I \text{ dari } 1/8, 3/8, 5/8 \text{ dan } 7/8.$$

$$A = 2910 + \left\{ 1/8 + 3/8 + 5/8 + 7/8 \right\} (370/4)$$

$$= 2910 + 11,563 + 34,688 + 57,813 + 80,938$$

$$= 3095,002 \text{ mm}^2$$

ΣAy dari permukaan atas pelat :

$$\begin{aligned}\Sigma Ay &= 370/4 \{ (1/8 \cdot 370 + 165) + (3/8 \cdot 370 + 165) + \\ &\quad (5/8 \cdot 370 + 165) + (7/8 \cdot 370 + 165) \} + 2910 (1990) \\ &= 19540,625 + 28096,875 + 36653,125 + 45209,373 + \\ &\quad 5790900 \\ &= 5920399,998 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$Y = \frac{\Sigma Ay}{A} = \frac{5920399,998}{3095,002} = 1912,891 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}I_C &= 1/12 (2910)^3 + (2910) (77,109)^2 + 370/4 \{ (7/8 \cdot 370 + \\ &\quad 1377,891) + (5/8 \cdot 370 + 1377,891) + (3/8 \cdot 370 + \\ &\quad 1377,891) + (1/8 \cdot 370 + 1377,891) \} \\ &= 2053514250 + 17302271,83 + 157401,793 + 148845,543 + \\ &\quad 140289,293 + 131733,043 \\ &= 2071394791 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$K_{ct} = k_{ct} \frac{EI_C}{l_C} = 5,426 \frac{2071394791 E}{3500} = 3211253,754 E$$

$$K_{cb} = k_{cb} \frac{EI_C}{l_C} = 4,593 \frac{2071394791 E}{3500} = 3718261,793 E$$

c. Kekakuan torsi komponen transversal

Tetapan torsi dari balok transversal

$$C = 1926138067 \quad (\text{untuk balok tepi})$$

$$C = 562505233,3 \quad (\text{untuk balok tengah})$$

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(562505233,3)}{5000(1-850/5000)^3} \\ &= 1770780,763 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(1926138067)}{5000(1-850/5000)^3} = 6063531,561 \text{ E}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(562505233,3)}{2500(1-850/2500)^3} \\ &= 7043641,789 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(1926138067)}{2500(1-850/2500)^3} = 24118933,970 \text{ E}$$

d. Kenaikan kekakuan torsi dari komponen puntir

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 1770780,763 \text{ E} \frac{70020282663}{1/12 \cdot 5000(110)^3} \\ &= 22357601,71 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 6063531,561 \text{ E} \frac{70020282663}{1/12 \cdot 5000(110)^3} \\ &= 76557203,7 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 7043641,789 \text{ E} \frac{9996915996}{1/12.2500(110)^3} \\ &= 253937293 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 24118933,970 \text{ E} \frac{9996915996}{1/12.2500(110)^3} \\ &= 869535531,7 \text{ E} \end{aligned}$$

e. Kekakuan kolom ekuivalen

Portal A :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3211253,754\text{E}+2718261,793\text{E}) \times 2(22357601,71\text{E})}{(3211253,754\text{E}+2718261,793\text{E}) + 2(22357601,71\text{E})} \\ &= 5235284,138 \text{ E} \end{aligned}$$

Eksterior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3211253,753\text{E}+2718261,793\text{E}) \times 2(76557203,7\text{E})}{(3211253,753\text{E}+2718261,793\text{E}) + 2(76557203,7\text{E})} \\ &= 5708449,854 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$K_{ec} = \frac{(3211253,754E+2718261,793E) \times 2(253937293,2E)}{(3211253,754E+2718261,793E) + 2(253937293,2E)}$$

$$= 5861086,442 \text{ E}$$

Eksterior :

$$K_{ec} = \frac{(3211253,753E+2718261,793E) \times 2(86935531,7E)}{(3211253,753E+2718261,793E) + 2(86935531,7E)}$$

$$= 5909367,041 \text{ E}$$

f. Distribusi Faktor (DF) pada tumpuan pelat-balok

Portal A :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{8968267,475 \text{ E}}{2(8968267,475E) + 5235284,138E} = 0,3870$$

$$\text{Eksterior : DF} = \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}}$$

$$= \frac{8968267,475 \text{ E}}{8968267,475 \text{ E} + 5708449,854E} = 0,6111$$

Portal B :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{13959693,5 \text{ E}}{2(13959693,5E) + 5861086,442E} = 0,4132$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior : DF} &= \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}} \\ &= \frac{13959693,5 \text{ E}}{13959693,5 \text{ E} + 5909367,041 \text{ E}} = 0,7026 \end{aligned}$$

3. Analisa rangka parsial pada rangka ekivalen

Menentukan momen negatif dan positif maksimum pada pelat dengan distribusi momen.

Karena beban hidup (W_1) = $2,00 \text{ kN/m}^2 < 3/4 W_d = 3/4 \cdot 2,88 = 2,16 \text{ kN/m}^2$, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup bekerja pada seluruh bentang pelat.

a. Beban terfaktor dan fixed end moments

$$\begin{aligned} \text{Beban mati : pelat} &= 0,110 \cdot 24 = 2,64 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penutup pelat} &= 0,24 \text{ kN/m}^2 \\ \hline W_d \text{ total} &= 2,88 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban hidup } (W_1) = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6 (W_1) \\ &= 1,2 (2,88) + 1,6 (2,00) \\ &= 6,656 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal A} &= 0,0948 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0948 (6,656) 5 (5)^2 \\ &= 78,8736 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal B} &= 0,0969 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0969 (6,656) 2,5 (5)^2 \\ &= 40,3104 \end{aligned}$$

b. Momen positif tengah bentang (M_{lap})

$$M_{lap} = M_S - \frac{1}{2} (M_L + M_R)$$

dimana, M_S = Momen tengah bentang

$$= 1/8 (W_u) l_2 l_1^2$$

M_R = momen negatif kanan bentang yang ditinjau

M_L = Momen negatif kiri bentang yang ditinjau

Portal A :

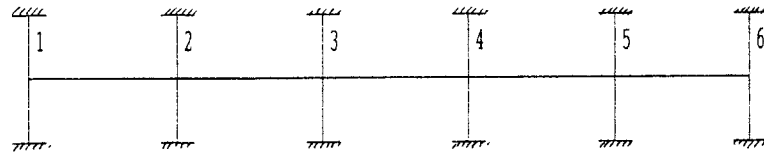
$$\begin{aligned} M_{lap} (1-2) &= 1/8 (6,656)5(5)^2 - \frac{1}{2} (33,934 + 97,938) \\ &= 38,064 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (2-3) &= 1/8 (6,656)5(5)^2 - \frac{1}{2} (89,958 + 74,735) \\ &= 21,654 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (3-4) &= 1/8 (6,656)5(5)^2 - \frac{1}{2} (77,212 + 77,212) \\ &= 26,788 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (4-5) &= 1/8 (6,656)5(5)^2 - \frac{1}{2} (77,735 + 89,958) \\ &= 21,654 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (5-6) &= 1/8 (6,656)5(5)^2 - \frac{1}{2} (74,735 + 89,958) \\ &= 38,062 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Tabel 4.20. Distribusi Momen Portal A

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,6111	0,3870	0,3870	0,3870	0,3870	0,3870	0,3870	0,3870	0,3870	0,6111
COF	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614	0,614
FEM	+78,8736	-78,8736	+78,8736	-78,8736	+78,8736	-78,8736	+78,8736	-78,8736	+78,8736	-78,8736
COM	0	-29,595	0	0	0	0	0	0	+29,595	0
COM	+ 7,032	0	0	+ 7,032	0	0	- 7,032	0	0	- 7,032
COM	0	- 2,639	- 1,671	0	+ 1,671	- 1,671	0	+ 1,671	+ 2,639	0
COM	+ 1,024	0	- 0,397	+ 1,024	+ 0,397	- 0,397	- 1,024	+ 0,397	0	- 1,024
COM	+ 0,094	- 0,384	- 0,338	+ 0,094	+ 0,338	- 0,338	- 0,094	+ 0,338	+ 0,384	- 0,094
COM	+ 0,172	- 0,035	- 0,091	+ 0,172	+ 0,091	- 0,091	- 0,172	+ 0,091	+ 0,035	- 0,172
COM	+ 0,029	- 0,065	- 0,062	+ 0,029	+ 0,062	- 0,062	- 0,029	+ 0,062	+ 0,065	- 0,029
COM	+ 0,030	- 0,011	- 0,022	+ 0,030	+ 0,022	- 0,022	- 0,030	+ 0,022	+ 0,011	- 0,030
Σ	+ 87,256	-111,603	+ 76,293	- 70,496	+ 81,455	- 81,455	+ 70,492	- 76,293	+111,603	- 87,256
DM	- 53,322	+ 13,665	+ 13,665	- 4,243	- 4,243	+ 4,243	+ 4,243	- 13,665	- 13,665	+ 53,322
Total	+ 33,934	- 97,938	+ 89,958	- 74,735	+ 77,212	- 77,212	+ 74,735	- 89,958	+ 97,938	- 33,934
M_{lap}	38,064		21,654		26,788		21,654		38,062	

Portal B :

$$\begin{aligned}
 M_{lap} (1-2) &= 1/8 (6,656)2,5(5)^2 - \frac{1}{2} (13,735 + 51,452) \\
 &= 19,406 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lap} (2-3) &= 1/8 (6,656)2,5(5)^2 - \frac{1}{2} (47,533 + 37,728) \\
 &= 9,369 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_{lap} (3-4) = 1/8 (6,656)2,5(5)^2 - \frac{1}{2} (39,115 + 39,115)$$

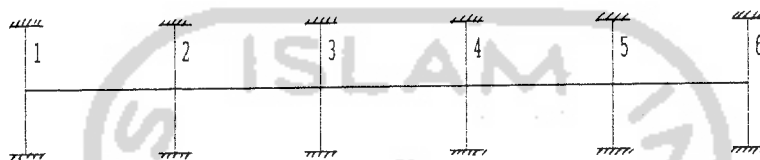
$$= 12,885 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (4-5) = 1/8 (6,656)2,5(5)^2 - \frac{1}{2} (37,728 + 47,533)$$

$$= 9,369 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (5-6) = 1/8 (6,656)2,5(5)^2 - \frac{1}{2} (51,452 + 13,735)$$

$$= 19,407 \text{ kNm}$$



Tabel 4.21. Distribusi Momen Portal B

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,7026	0,4132	0,4132	0,4132	0,4132	0,4132	0,4132	0,4132	0,4132	0,7026
COF	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631	0,631
FEM	+40,3104	-40,3104	+40,3104	-40,3104	+40,3104	-40,3104	+40,3104	-40,3104	+40,3104	-40,3104
COM	0	-17,871	0	0	0	0	0	0	+17,871	0
COM	+ 4,659	0	0	+ 4,659	0	0	- 4,659	0	0	- 4,659
COM	0	- 2,066	- 1,215	0	+ 1,215	- 1,215	0	+ 1,215	+ 2,066	0
COM	+ 0,855	0	- 0,317	+ 0,855	+ 0,317	- 0,317	- 0,855	+ 0,317	0	- 0,855
COM	+ 0,083	- 0,379	- 0,306	+ 0,083	+ 0,306	- 0,306	- 0,083	+ 0,306	+ 0,379	- 0,083
COM	+ 0,179	- 0,037	- 0,101	+ 0,179	+ 0,101	- 0,101	- 0,179	+ 0,101	+ 0,037	- 0,179
COM	+ 0,048	- 0,016	- 0,037	+ 0,048	+ 0,037	- 0,037	- 0,048	+ 0,037	+ 0,016	- 0,048
COM	+ 0,014	- 0,021	- 0,022	+ 0,014	+ 0,022	- 0,022	- 0,014	+ 0,022	+ 0,021	- 0,014
Σ	+ 46,184	- 60,779	+ 38,206	- 34,429	+ 42,414	- 42,414	+ 34,429	- 38,206	+ 60,779	- 46,184
DM	- 32,449	+ 9,327	+ 9,327	- 3,299	- 3,299	+ 3,299	+ 3,299	- 9,327	- 9,327	+ 32,449
Total	+ 13,735	- 51,452	+ 47,533	- 37,728	+ 39,115	- 39,115	+ 37,728	- 47,533	+ 51,452	- 13,735
M_{lap}	19,406		9,369		12,885		9,369		19,407	

c. Momen negatif rencana

Momen negatif rencana harus diambil pada muka rektilinear tumpuan, tetapi tidak boleh melebihi $0,175 l_1$ dari sumbu kolom ekuivalen.

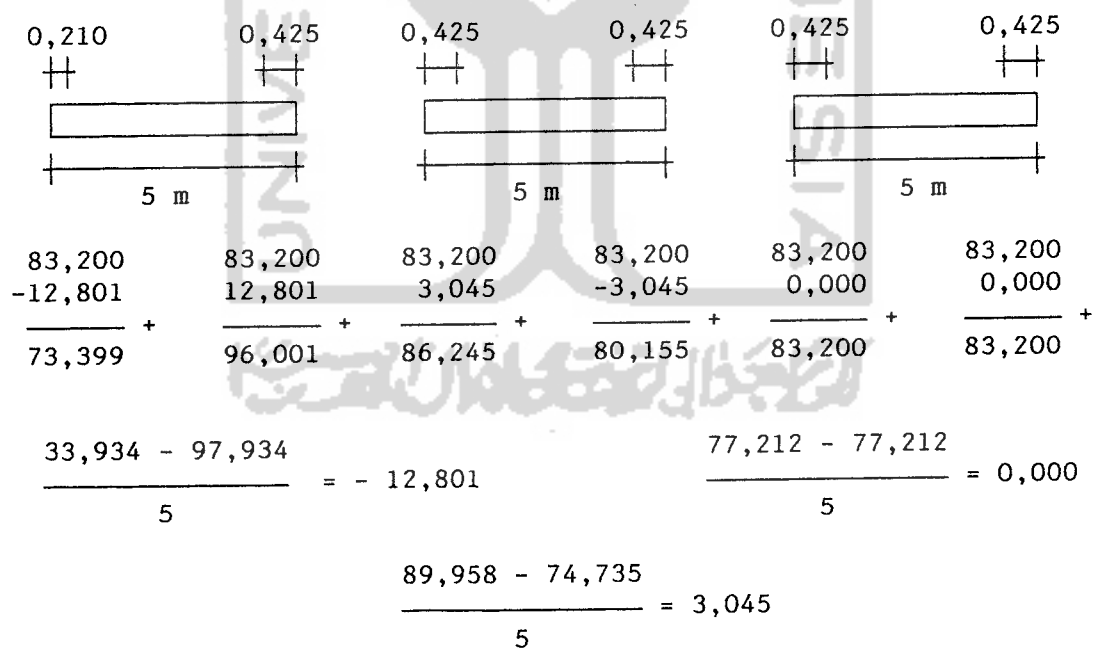
$$\frac{1}{2} (850) = 425 \text{ mm} < 0,175 (5000) = 875 \text{ mm} \quad - \text{ Ok } -$$

Untuk hitungan momen negatif lihat gambar 4.32 (portal A) dan gambar 4.34 (portal B).

Portal A :

$$\text{Beban terbagi merata : } W = W_u \cdot l = 6,656 \cdot 5 = 33,28 \text{ kN/m}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 33,28 \cdot 5 = 83,200 \text{ kN}$$



Gambar 4.32. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned} ML_{(1-2)} &= 33,934 - 73,399(0,210) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,210) \frac{1}{2}(0,210) \\ &= 19,254 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(1-2)} &= 97,938 - 96,001(0,425) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 60,143 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(2-3)} &= 89,958 - 86,245(0,425) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 56,309 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(3-2)} &= 74,735 - 80,155(0,425) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 43,675 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(3-4)} &= 77,212 - 83,200(0,425) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 44,858 \text{ kNm} \end{aligned}$$

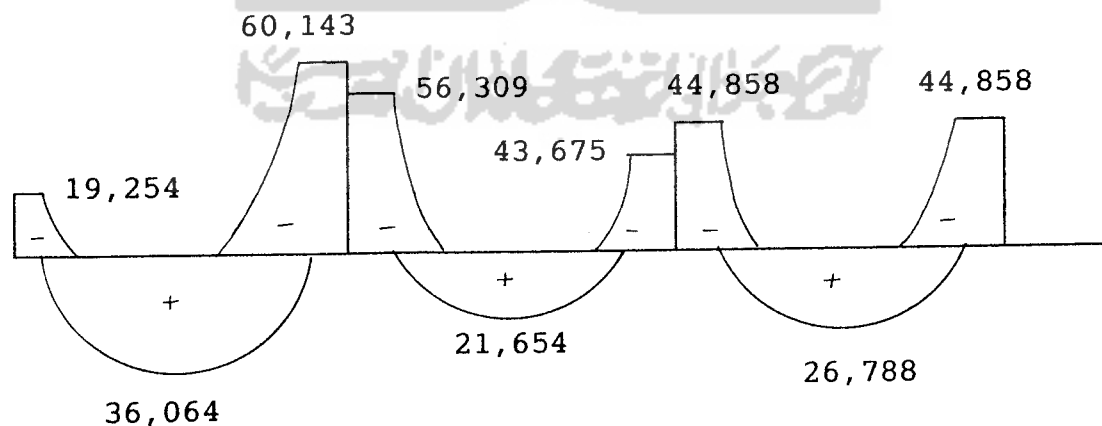
$$\begin{aligned} MR_{(4-3)} &= 77,212 - 83,200(0,425) + (6,656 \cdot 5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 44,858 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_{(4-5)} = 43,675 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 56,309 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 60,143 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 19,254 \text{ kNm}$$

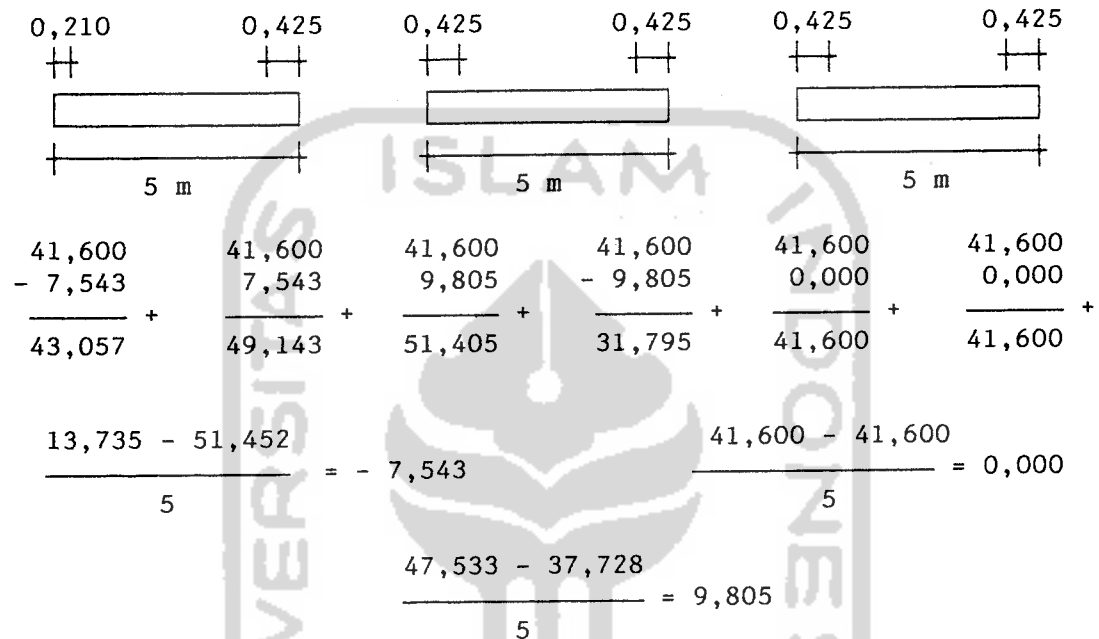


Gambar 4.33. Diagram momen rencana arah longitudinal (satuan : kNm)

Portal B :

Beban terbagi merata : $W = W_u \cdot l = 6,656 \cdot 2,5 = 16,64 \text{ kN/m}$

$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 16,64 \cdot 2,5 = 41,60 \text{ kN}$



Gambar 4.34. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned} ML_{(1-2)} &= 13,735 - 34,057(0,210) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,210) \frac{1}{2}(0,210) \\ &= 6,950 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(1-2)} &= 51,452 - 49,143(0,425) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 32,069 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(2-3)} &= 47,533 - 51,405(0,425) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 27,189 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(3-2)} &= 37,728 - 31,795(0,425) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,425) \frac{1}{2}(0,425) \\ &= 25,718 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML(3-4) &= 39,115 - 41,600(0,425) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,425)^{\frac{1}{2}}(0,425) \\ &= 22,938 \text{ kNm} \end{aligned}$$

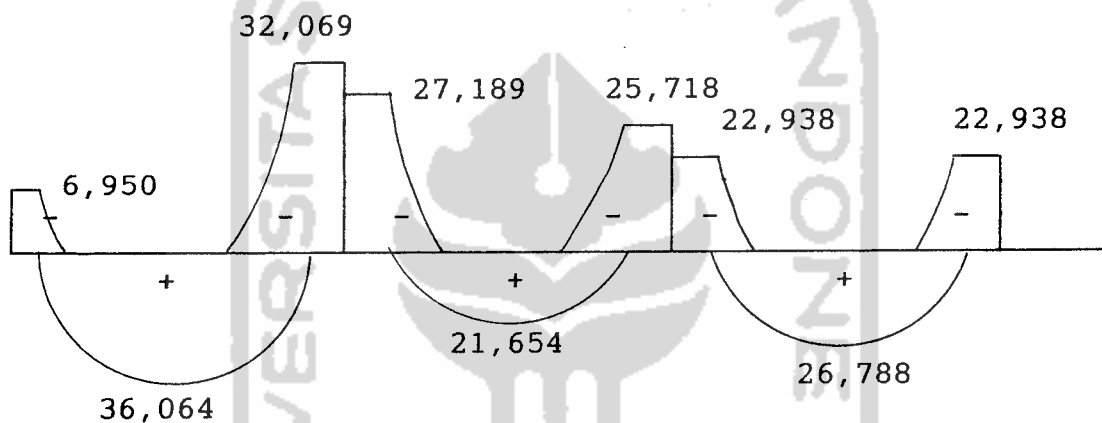
$$\begin{aligned} MR(4-3) &= 39,115 - 41,600(0,425) + (6,656 \cdot 2,5 \cdot 0,425)^{\frac{1}{2}}(0,425) \\ &= 22,938 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML(4-5) = 25,718 \text{ kNm}$$

$$MR(5-4) = 27,189 \text{ kNm}$$

$$ML(5-6) = 32,069 \text{ kNm}$$

$$MR(6-5) = 6,950 \text{ kNm}$$

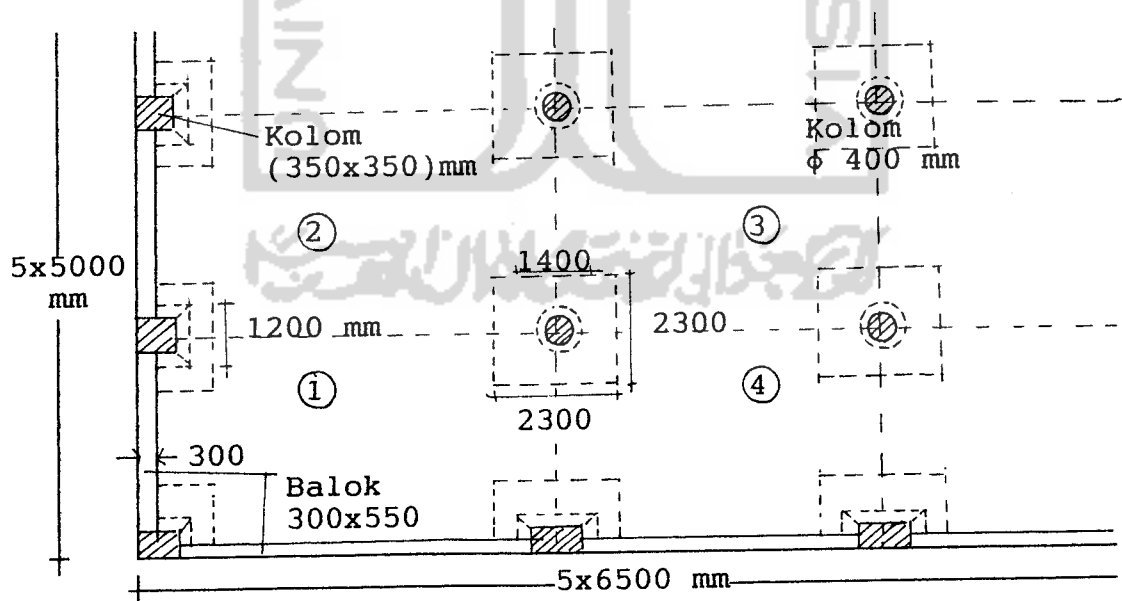


Gambar 4.35. Diagram momen rencana arah longitudinal
(satuan : kNm)

4.2.2. Bentang (6500 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{6500}{5000} = 1,3$$

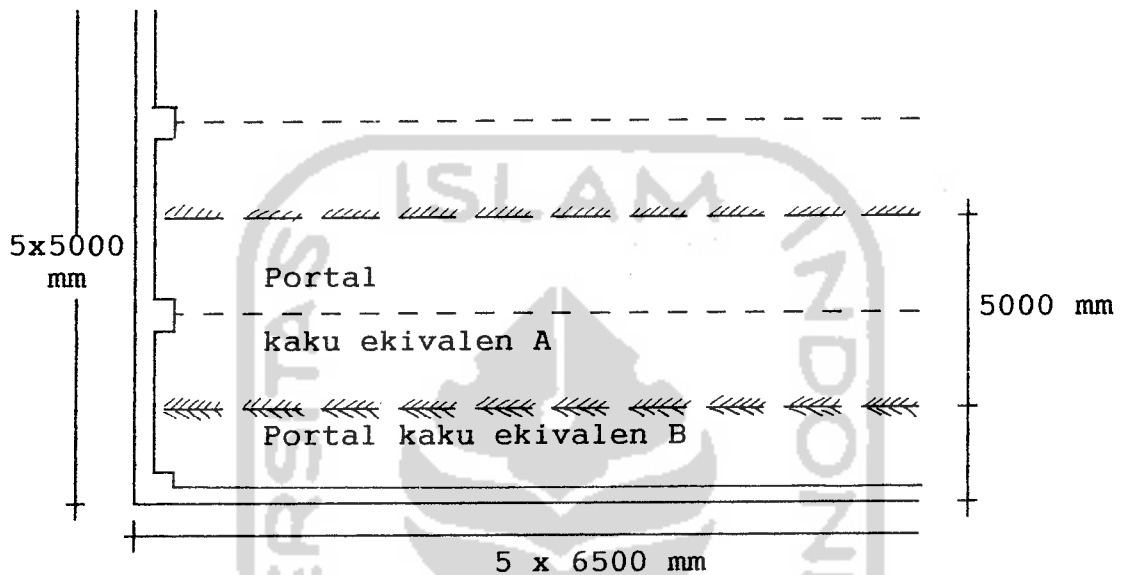
Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.36), beban hidup yang diterima $2,50 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $3,36 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (6500 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (350 x 350)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 400 mm dan balok tepi (300 x 550) mm. Tebal pelat diasumsikan 140 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.36. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

Untuk penyelesaian dengan metoda ini hanya ditinjau dua portal yaitu portal A dan portal B (gambar 4.37).



Gambar 4.37. Portal kaku ekivalen

1. Memeriksa tebal pelat

Menurut persyaratan lendutan dan persyaratan geser, tebal pelat 130 mm sudah memenuhi syarat (lihat penyelesaian 4.1.2).

2. Komponen Rangka Ekivalen

Menentukan konstanta distribusi momen fixed end moment komponen rangka ekivalen. Metode distribusi momen digunakan untuk menganalisis rangka parsial untuk beban vertikal. Faktor kekakuan (K), carry over factor (COF) dan fixed end moment (FEM) untuk pelat-balok dan kolom ditentukan dengan bantuan tabel dalam lampiran 1 dengan cara

interpolasi linier.

Portal A :

$$CN_1/l_1 = 1200/6500 = 0,185$$

$$CN_2/l_2 = 1200/5000 = 0,240$$

Portal B :

$$CN_1/l_1 = 1200/6500 = 0,185$$

$$CN_2/l_2 = 1200/2500 = 0,480$$

tabel 4.22. Menentukan KNF, COF, dan FEM

CN_1/l_1	CN_2/l_2	KNF	COF	FEM
0,100	0,200	6,240	0,610	0,0940
	0,240	6,180	0,610	0,0945
	0,300	6,430	0,610	0,0952
0,185	0,240	6,707	0,625	0,0960
	0,480	7,571	0,666	0,0993
0,200	0,200	6,620	0,620	0,0957
	0,240	6,776	0,628	0,0963
	0,300	7,010	0,640	0,0971

a. Pelat - balok

Portal A :

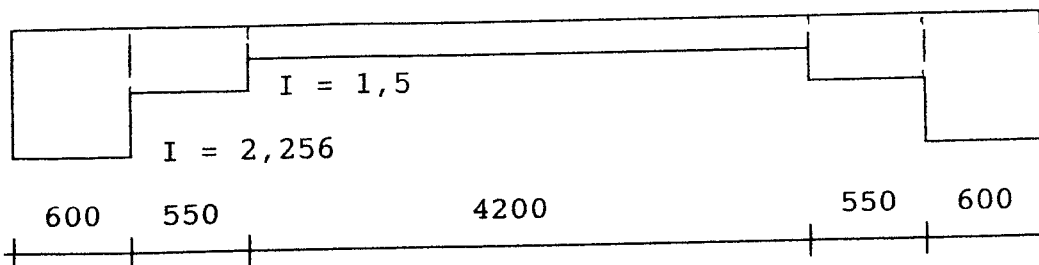
$$KNF = 6,707$$

$$COF = 0,625$$

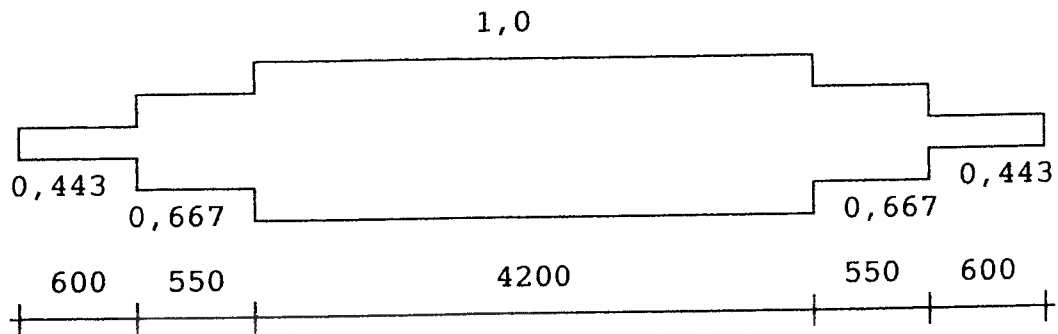
$$FEM = 0,0960 Wu \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok :

$$I = 1,0$$



Gambar 4.38. Momen inersia relatif



Gambar 4.39. Penampang kolom analogi

Variasi momen inersia satu bentang dari jalur pelat ditunjukkan pada gambar di atas. Tebal pelat 130 mm sebagai harga pembanding, maka momen inersia pertebalan menjadi :

$$(130 + 65) / 130 = 1,5.$$

Momen inersia di antara garis tengah kolom dan sisi dari kepala kolom bujursangkar ekuivalen adalah :

$$1,5 (1 - 1200/6500)^2 = 2,256.$$

Variasi diarah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.39)

Luas penampang kolom analogi :

$$\begin{aligned} A &= 4200 + 2 (0,6667) (550) + 2 (0,443)(600) \\ &= 4200 + 733,37 + 531,960 \\ &= 5465,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

$$\begin{aligned} I_{sb} &= 1/12 (4200)^3 + 733,370 (2375)^2 + 531,960 (2950)^2 \\ &= 1,49400 \cdot 10^{10} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$K_{sb} = kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 6,707 \frac{E (1,49400 \cdot 10^{10})}{6500}$$

$$= 15415781,54 E$$

Portal B :

$$kNF = 7,571$$

$$COF = 0,666$$

$$FEM = 0,0993 Wu \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok, I_{sb} tengah dihitung dengan bantuan grafik pada lampiran 2.

$$I_{sb} \text{ tengah} = Ct (1/12 b_w h^3)$$

$$= 2,19 \{ 1/12 \cdot 300 \cdot (550)^3 \}$$

Dimana Ct ditentukan :

$$\text{rasio A} = b/b_w = 2500/300 = 8,33$$

$$\text{rasio B} = t/h = 130/550 = 0,24$$

} dari grafik, $Ct = 2,19$

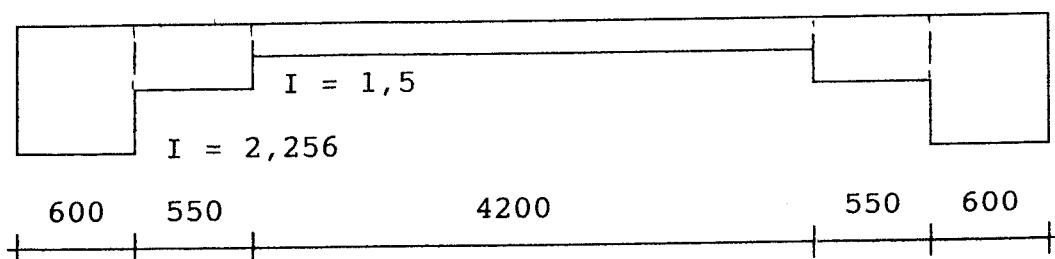
Dengan mengambil momen inersia pada pelat-balok tengah dengan tebal 130 mm, momen inersia menjadi :

$$(130 + 65) / 130 = 1,5$$

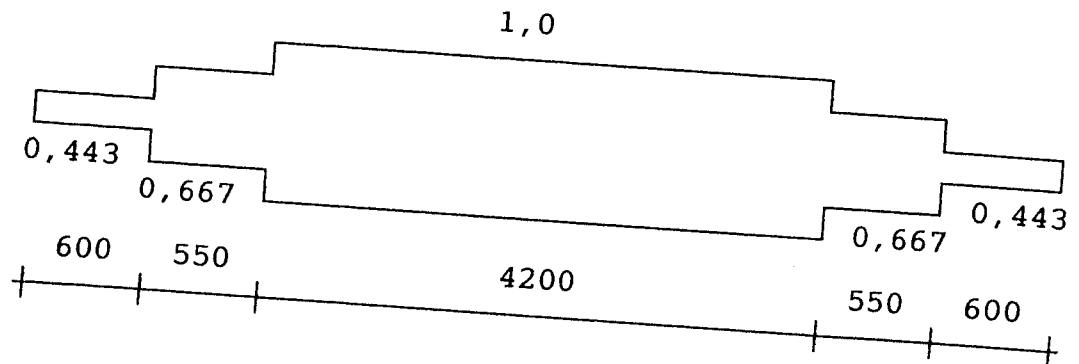
Momen inersia diantara garis tengah kolom dan sisi kepala kolom :

$$1,5 / (1 - 1200/6500)^2 = 2,256$$

$$I = 1,0$$



Gambar 4.40. Momen inersia relatif



Gambar 4.41. Penampang kolom analogi

Variasi di arah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.41)

Luas penampang kolom analogi ;

$$\begin{aligned} A &= 4200 + 2 (0,6667)(550) + 2(0,443)(600) \\ &= 4200 + 733,37 + 531,96 \\ &= 5465,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

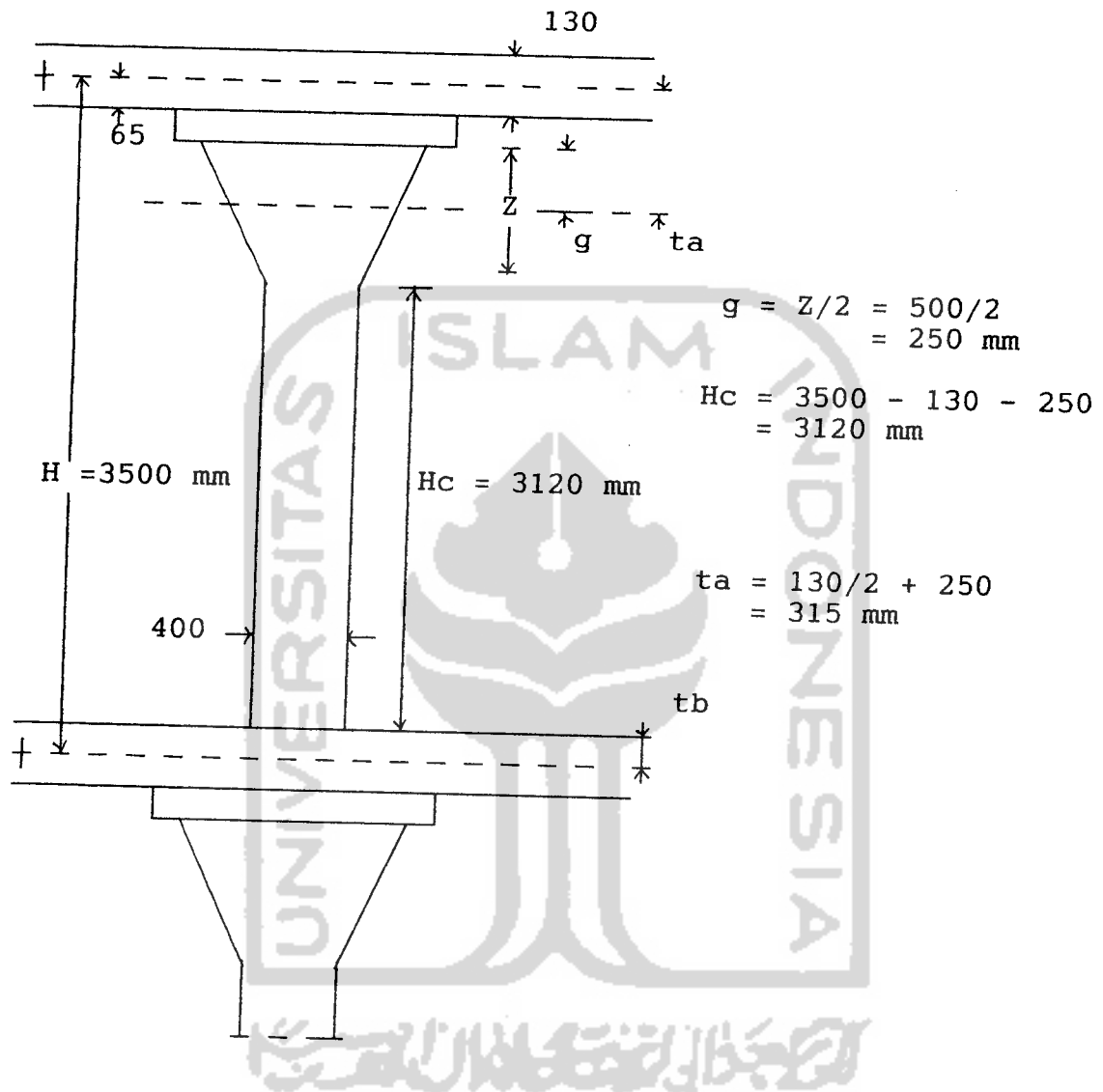
$$\begin{aligned} I_{sb} &= I_{sb} \text{ tengah} + 733,37 (2375)^2 + 531,96 (2950)^2 \\ &= 9109031250 + 4136665156 + 4629381900 \\ &= 1,787507831 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sb} &= kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 7,571 \frac{E (1,787507831 \cdot 10^{10})}{6500} \\ &= 20820341,21 E \end{aligned}$$

b. Kekakuan lentur kolom

Kekakuan lentur kolom ditentukan dengan bantuan tabel pada lampiran 3 dengan cara interpolasi linier.

Portal A dan B



Penentuan kct :

$$ta/tb = 315/65 = 4,846$$

$$H/H_c = 3500/3120 = 1,122$$

Penentuan kcb :

$$tb/ta = 65/315 = 0,206$$

$$H/H_c = 3500/3120 = 1,122$$

Tabel 4.23. Menentukan kct, Cct, kcb dan Ccb

ta/tb		H/HC		
		1,10	1,122	1,15
0,200	kcb Ccb	4,620 0,620		4,950 0,680
0,206	kcb Ccb	4,6251 0,6194	4,7726 0,6457	4,9581 0,6791
0,400	kcb Ccb	4,790 0,600		5,220 0,650
4,800	kct Cct	5,580 0,520		6,530 0,520
4,846	kct Cct	5,5823 0,5177	6,0003 0,5187	6,5323 0,520
5,000	kct Cct	5,590 0,510		6,540 5,520

Dari hitungan di atas maka portal A dan B didapat :

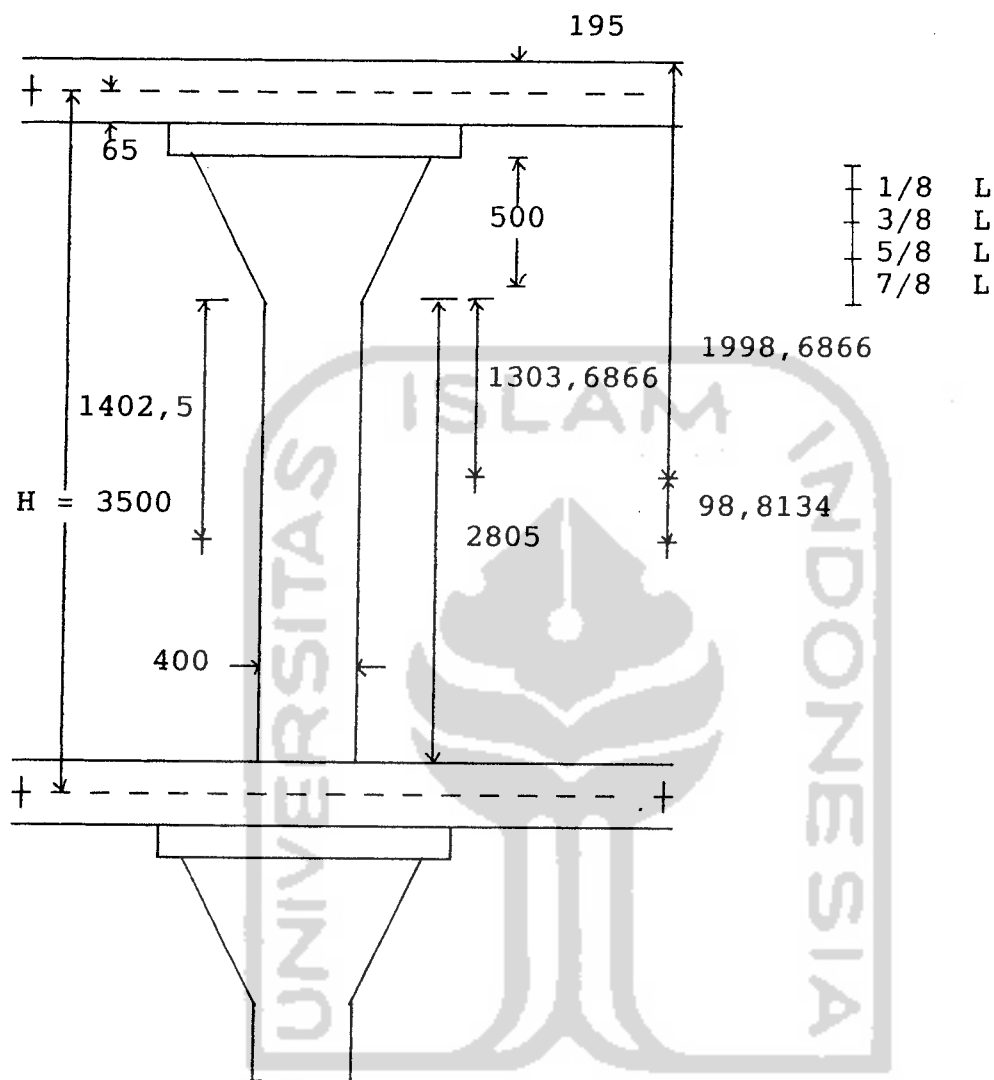
$$kct = 6,0003$$

$$kcb = 4,7716$$

$$Cct = 0,5187$$

$$Ccb = 0,6457$$

$$l_c = 3500 \text{ mm}$$



Gambar 4.42. Sifat-sifat lentur kolom (satuan dalam mm)

Bagian sebesar 500 mm dari kolom analogi yang mewakili kepala kolom dibagi menjadi empat segmen :

$$L = 500/4, \text{ dengan } 1/I \text{ dari } 1/8, 3/8, 5/8 \text{ dan } 7/8.$$

$$\begin{aligned} A &= 2805 + \{ 1/8 + 3/8 + 5/8 + 7/8 \} (500/4) \\ &= 2805 + 15,625 + 46,875 + 78,125 + 109,375 \\ &= 3055 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

ΣAy dari permukaan atas pelat :

$$\begin{aligned}\Sigma Ay &= 500/4 \{ (1/8 \cdot 500 + 195) + (3/8 \cdot 500 + 195) + \\ &\quad (5/8 \cdot 500 + 195) + (7/8 \cdot 500 + 195) \} + 2805 (2097,5) \\ &= 32187,5 + 47812,5 + 63437,5 + 79062,5 + 5883487,5 \\ &= 6105987,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$y = \frac{\Sigma Ay}{A} = \frac{6105987,5}{3055} = 1998,6866 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}I_C &= 1/12 (2805)^3 + (2805)(98,8134)^2 + 500/4 \{ (7/8 \cdot 500 + \\ &\quad 1303,6866) + (5/8 \cdot 500 + 1303,6866) + (3/8 \cdot 500 + \\ &\quad 1303,6866) + (1/8 \cdot 500 + 1303,6866) \} \\ &= 1839150844 + 27388266,89 + 217648,325 + 202023,325 + \\ &\quad 186398,325 + 170773,325 \\ &= 1867315954 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$K_{ct} = k_{ct} \frac{EI_C}{l_C} = 6,0003 \frac{1867315954 E}{3500} = 3201273,12 E$$

$$K_{cb} = k_{cb} \frac{EI_C}{l_C} = 4,7716 \frac{1867315954 E}{3500} = 2545738,516 E$$

c. Kekakuan torsi komponen transversal

Tetapan torsi dari balok transversal

$$C = 3496601903 \quad (\text{untuk balok tepi})$$

$$C = 1317554731 \quad (\text{untuk balok tengah})$$

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(1317554731)}{5000(1-1200/5000)^3} \\ &= 5402569,88 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(3496601903)}{5000(1-1200/5000)^3} = 14337648,13 \text{ E}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(1317554731)}{2500(1-1200/2500)^3} \\ &= 33733479,12 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(3496601903)}{2500(1-1200/2500)^3} = 89523831,15 \text{ E}$$

d. Kenaikan kekakuan torsi dari komponen puntir

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 5402569,88 \text{ E} \frac{1,49400 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(130)^3} \\ &= 88172301,14 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 14337648,13 \text{ E} \frac{1,49400 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(130)^3} \\ &= 233996682,4 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 33733479,12 \text{ E} \frac{1,787507831 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(130)^3} \\ &= 1317407915 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 89523831,15 \text{ E} \frac{1,787507831 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(130)^3} \\ &= 3496212273 \text{ E} \end{aligned}$$

e. Kekakuan kolom ekuivalen

Portal A :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3201273,12\text{E}+2545738,516\text{E}) \times 2(88172301,14\text{E})}{(3201273,12\text{E}+2545738,516\text{E}) + 2(88172301,14\text{E})} \\ &= 5565630,196 \text{ E} \end{aligned}$$

Eksterior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3201273,12\text{E}+2545738,516\text{E}) \times 2(233996682,4\text{E})}{(3201273,12\text{E}+2545738,516\text{E}) + 2(233996682,4\text{E})} \\ &= 5677293,823 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$K_{ec} = \frac{(3201273,12E+2545738,516E) \times 2(1317407915E)}{(3201273,12E+2545738,516E) + 2(1317407915E)}$$

$$= 5734503,642 \text{ E}$$

Eksterior :

$$K_{ec} = \frac{(3201273,12E+2545738,516E) \times 2(3496212273E)}{(3201273,12E+2545738,516E) + 2(3496212273E)}$$

$$= 5742292,097 \text{ E}$$

f. Distribusi Faktor (DF) pada tumpuan pelat-balok

Portal A :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{15415781,54 \text{ E}}{2(15415781,54E) + 5565630,196E} = 0,4235$$

$$\text{Eksterior : DF} = \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}}$$

$$= \frac{15415781,54E}{15415781,54 \text{ E} + 5565630,196E} = 0,7347$$

Portal B :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{20820341,21 \text{ E}}{2(20820341,21E) + 5734503,642E} = 0,4395$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior : DF} &= \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}} \\ &= \frac{20820341,21 \text{ E}}{20820341,21 \text{ E} + 5734503,642 \text{ E}} = 0,7841 \end{aligned}$$

3. Analisa rangka parsial pada rangka ekivalen

Menentukan momen negatif dan positif maksimum pada pelat dengan distribusi momen.

Karena beban hidup (W_1) = $2,50 \text{ kN/m}^2 < 3/4 W_d = 3/4 \cdot 3,36 = 2,52 \text{ kN/m}^2$, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup bekerja pada seluruh bentang pelat.

a. Beban terfaktor dan fixed end moments

$$\begin{aligned} \text{Beban mati : pelat} &= 0,130 \cdot 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penutup pelat} &= 0,24 \text{ kN/m}^2 \\ \hline W_d \text{ total} &= 3,36 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup } (W_1) &= 2,50 \text{ kN/m}^2 \\ W_u &= 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6 (W_1) \\ &= 1,2 (3,36) + 1,6 (2,50) \\ &= 8,302 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal A} &= 0,0960 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0960 (8,032) 5 (6,5)^2 \\ &= 162,889 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal B} &= 0,0993 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0993 (8,032) 2,5 (6,5)^2 \\ &= 84,244 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Momen positif tengah bentang (M_{lap})

$$M_{lap} = M_S - \frac{1}{2} (M_L + M_R)$$

dimana, M_S = Momen tengah bentang

$$= \frac{1}{8} (W_u) l_2 l_1^2$$

M_R = momen negatif kanan bentang yang ditinjau

M_L = Momen negatif kiri bentang yang ditinjau

Portal A :

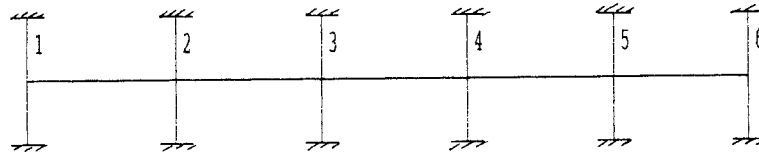
$$\begin{aligned} M_{lap} (1-2) &= \frac{1}{8}(8,032)5(6,5)^2 - \frac{1}{2}(47,059+189,288) \\ &= 93,922 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (2-3) &= \frac{1}{8}(8,032)5(6,5)^2 - \frac{1}{2}(181,086+156,717) \\ &= 43,193 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (3-4) &= \frac{1}{8}(8,032)5(6,5)^2 - \frac{1}{2}(159,722+159,722) \\ &= 52,370 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (4-5) &= \frac{1}{8}(8,032)5(6,5)^2 - \frac{1}{2}(156,717+181,088) \\ &= 43,193 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (5-6) &= \frac{1}{8}(8,032)5(6,5)^2 - \frac{1}{2}(189,288+47,059) \\ &= 93,922 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Tabel 4.24. Distribusi Momen Portal A

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,7347	0,4235	0,4235	0,4235	0,4235	0,4235	0,4235	0,4235	0,4235	0,7347
COF	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253	0,6253
FEM	+162,889	-162,889	+162,889	-162,889	+162,889	-162,889	+162,889	-162,889	+162,889	-162,889
COM	0	- 43,135	0	0	0	0	0	0	+ 43,135	0
COM	+ 11,423	0	0	+ 11,423	0	0	- 11,423	0	0	- 11,423
COM	0	- 5,248	- 3,025	0	+ 3,025	- 3,025	0	+ 3,025	+ 5,248	0
COM	+ 2,191	0	- 0,801	+ 2,191	+ 0,801	- 0,801	- 2,191	+ 0,801	0	- 2,191
COM	+ 0,212	- 1,007	- 0,792	+ 0,212	+ 0,792	- 0,792	- 0,212	+ 0,792	+ 1,007	- 0,212
COM	+ 0,476	- 0,097	- 0,267	+ 0,476	+ 0,267	- 0,267	- 0,476	+ 0,267	+ 0,097	- 0,476
COM	+ 0,096	- 0,219	- 0,197	+ 0,096	+ 0,197	- 0,197	- 0,096	+ 0,197	+ 0,219	- 0,096
COM	+ 0,093	- 0,044	- 0,070	+ 0,093	+ 0,070	- 0,070	- 0,093	+ 0,070	+ 0,044	- 0,093
Σ	+177,380	-212,639	+157,737	-148,398	+168,041	-168,041	+148,398	-157,737	+212,639	-177,380
DM	-130,321	+ 23,351	+ 23,351	- 8,319	- 8,319	+ 8,319	+ 8,319	- 23,351	- 23,351	+130,321
Total	+ 47,059	-189,288	+181,088	-156,717	+159,722	-159,722	+156,717	-181,088	+189,288	- 47,059
M_{lap}	93,922		43,193		53,370		43,193		93,922	

Portal B :

$$M_{lap} (1-2) = 1/8 (8,032)2,5(6,5)^2 - \frac{1}{2} (21,988+110,869)$$

$$= 39,619 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (2-3) = 1/8 (8,032)2,5(6,5)^2 - \frac{1}{2} (103,565+77,546)$$

$$= 15,492 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (3-4) = 1/8 (8,032)2,5(6,5)^2 - \frac{1}{2} (80,545+80,545)$$

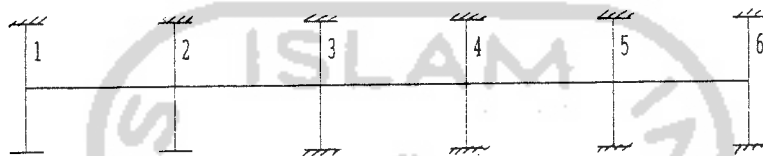
$$= 25,503 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (4-5) = 1/8 (8,032)2,5(6,5)^2 - \frac{1}{2} (77,546+103,565)$$

$$= 15,492 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} (5-6) = 1/8 (8,032)2,5(6,5)^2 - \frac{1}{2} (110,869+21,988)$$

$$= 39,619 \text{ kNm}$$



Tabel 4.25. Distribusi Momen Portal B

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,7841	0,4395	0,4395	0,4395	0,4395	0,4395	0,4395	0,4395	0,4395	0,7841
COF	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661	0,6661
FEM	+ 84,244	- 84,244	+ 84,244	- 84,244	+ 84,244	- 84,244	+ 84,244	- 84,244	+ 84,244	- 84,244
COM	0	- 43,999	0	0	0	0	0	0	+ 43,999	0
COM	+ 12,881	0	0	+ 12,881	0	0	- 12,881	0	0	- 12,881
COM	0	- 6,728	- 3,771	0	+ 3,771	- 3,771	0	+ 3,771	+ 6,728	0
COM	+ 3,074	0	- 1,104	+ 3,074	+ 1,104	- 1,104	- 3,074	+ 1,104	0	- 3,074
COM	+ 0,323	- 1,606	- 1,223	+ 0,323	+ 1,223	- 1,223	- 0,323	+ 1,223	+ 1,606	- 0,323
COM	+ 0,828	- 0,169	- 0,453	+ 0,828	+ 0,453	- 0,453	- 0,828	+ 0,453	+ 0,169	- 0,828
COM	+ 0,182	- 0,432	- 0,375	+ 0,182	+ 0,375	- 0,375	- 0,182	+ 0,375	+ 0,432	- 0,182
COM	+ 0,236	- 0,095	- 0,163	+ 0,236	+ 0,163	- 0,163	- 0,236	+ 0,163	+ 0,095	- 0,236
Σ	+101,844	-137,396	+ 77,038	- 66,644	+ 91,450	- 91,450	+ 66,644	- 77,038	+137,396	-101,844
DM	- 79,856	+ 26,527	+ 26,527	- 10,902	- 10,902	+ 10,902	+ 10,902	- 26,527	- 26,527	+ 79,856
Total	+ 21,988	-110,869	+103,565	- 77,546	+ 80,545	- 80,545	+ 77,546	-103,565	+110,869	- 21,988
M_{lap}	39,619		15,492		25,503		15,492		39,619	

c. Momen negatif rencana

Momen negatif rencana harus diambil pada muka rektilinear tumpuan, tetapi tidak boleh melebihi $0,175 l_1$ dari sumbu kolom ekuivalen.

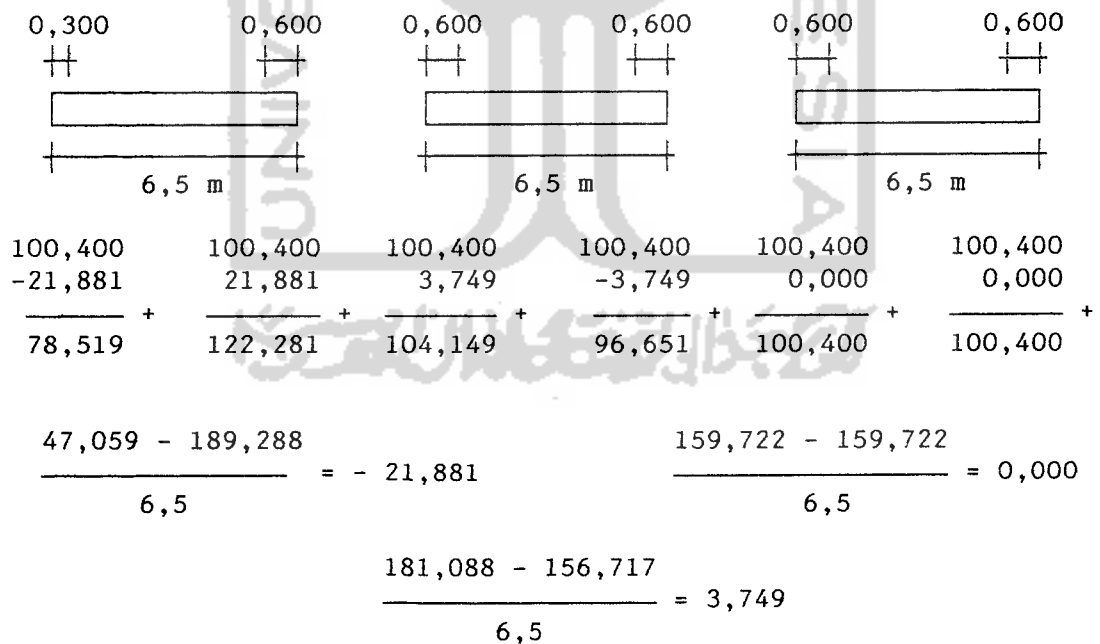
$$\frac{1}{2} (1200) = 600 \text{ mm} < 0,175 (6500) = 1137,5 \text{ mm} \quad - \text{Ok} -$$

Untuk hitungan momen negatif lihat gambar 4.43 (portal A) dan gambar 4.45 (portal B).

Portal A :

$$\text{Beban terbagi merata : } W = W_u \cdot l = 8,032 \cdot 5 = 40,16 \text{ kN/m}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 40,16 \cdot 5 = 100,400 \text{ kN}$$



Gambar 4.43. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned} ML_{(1-2)} &= 47,059 - 78,519(0,300) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,300)^{\frac{1}{2}}(0,300) \\ &= 25,311 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(1-2)} &= 189,288 - 122,281(0,600) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,600)^{\frac{1}{2}}(0,600) \\ &= 123,148 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(2-3)} &= 181,088 - 104,149(0,600) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,600)^{\frac{1}{2}}(0,600) \\ &= 125,827 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(3-2)} &= 156,717 - 96,651(0,600) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,600)^{\frac{1}{2}}(0,600) \\ &= 105,955 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(3-4)} &= 159,722 - 100,400(0,600) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,600)^{\frac{1}{2}}(0,600) \\ &= 108,960 \text{ kNm} \end{aligned}$$

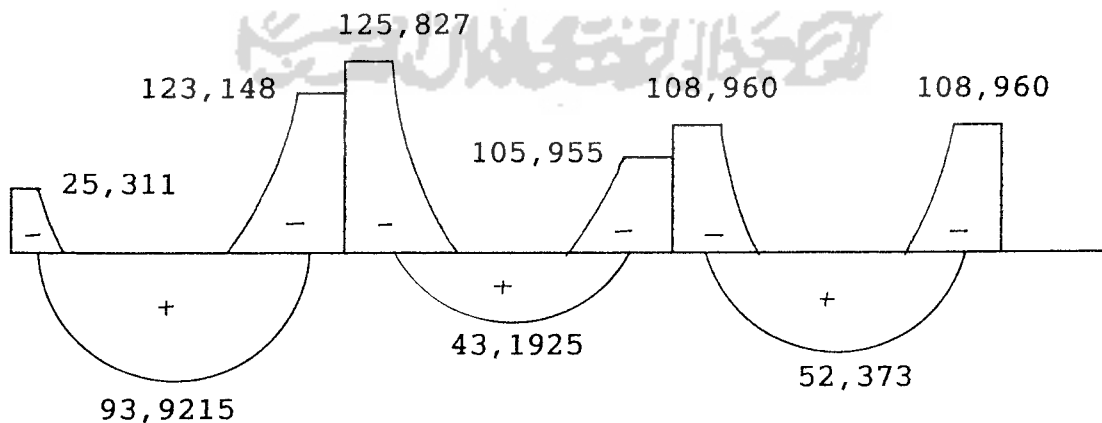
$$\begin{aligned} MR_{(4-3)} &= 159,722 - 100,400(0,600) + (8,032 \cdot 5 \cdot 0,600)^{\frac{1}{2}}(0,600) \\ &= 108,960 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_{(4-5)} = 105,955 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 125,827 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 123,148 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 25,311 \text{ kNm}$$

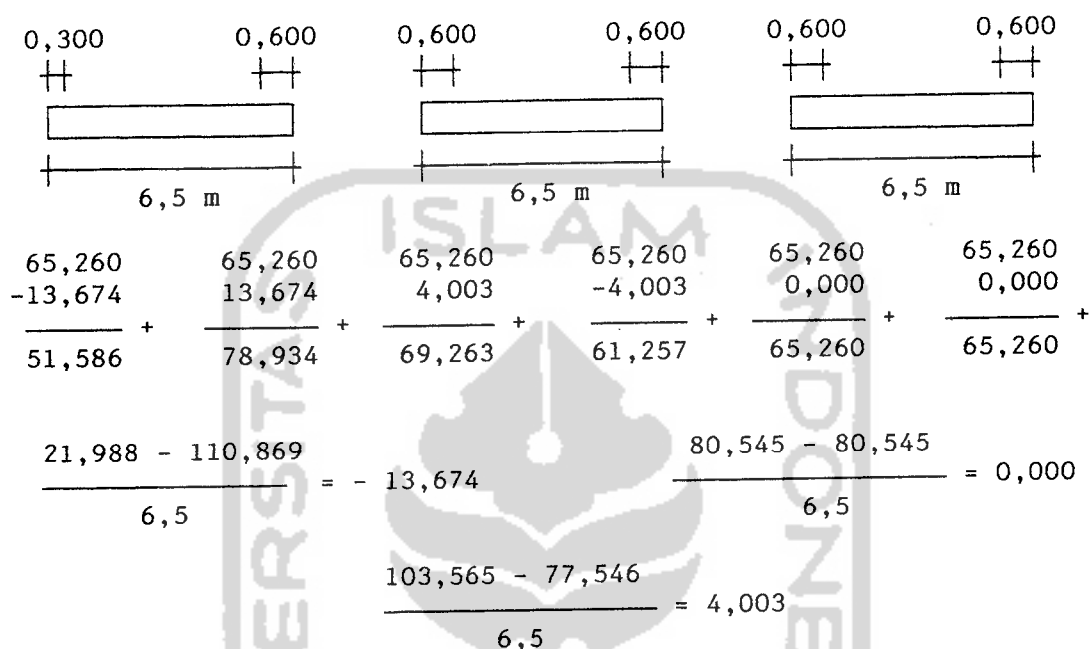


Gambar 4.44. Diagram momen rencana arah longitudinal (satuan : kNm)

Portal B :

Beban terbagi merata : $W = W_u \cdot l = 8,032 \cdot 2,5 = 20,08 \text{ kN/m}$

$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 20,08 \cdot 2,5 = 65,260 \text{ kN}$



Gambar 4.45. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned}
 ML_{(1-2)} &= 21,988 - 51,586(0,300) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,300) \frac{1}{2}(0,300) \\
 &= 13,716 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MR_{(1-2)} &= 110,869 - 78,934(0,600) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,600) \frac{1}{2}(0,600) \\
 &= 67,123 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ML_{(2-3)} &= 103,565 - 69,263(0,600) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,600) \frac{1}{2}(0,600) \\
 &= 65,622 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MR_{(3-2)} &= 77,546 - 61,257(0,600) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,600) \frac{1}{2}(0,600) \\
 &= 44,406 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ML_{(3-4)} &= 80,545 - 65,26(0,600) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,600) \frac{1}{2}(0,600) \\
 &= 45,003 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

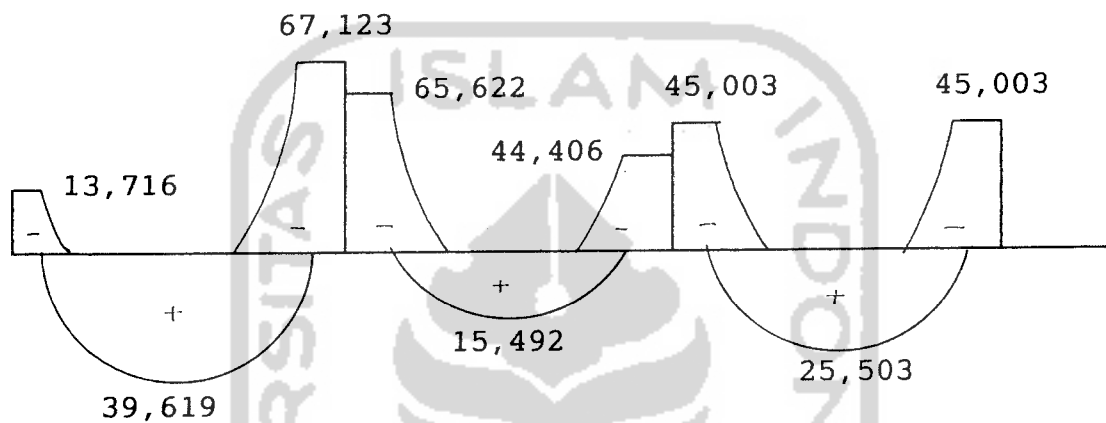
$$\begin{aligned} MR_{(4-3)} &= 80,545 - 65,26(0,600) + (8,032 \cdot 2,5 \cdot 0,600) \frac{1}{2}(0,600) \\ &= 45,003 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_{(4-5)} = 44,406 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 65,622 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 67,123 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 13,716 \text{ kNm}$$

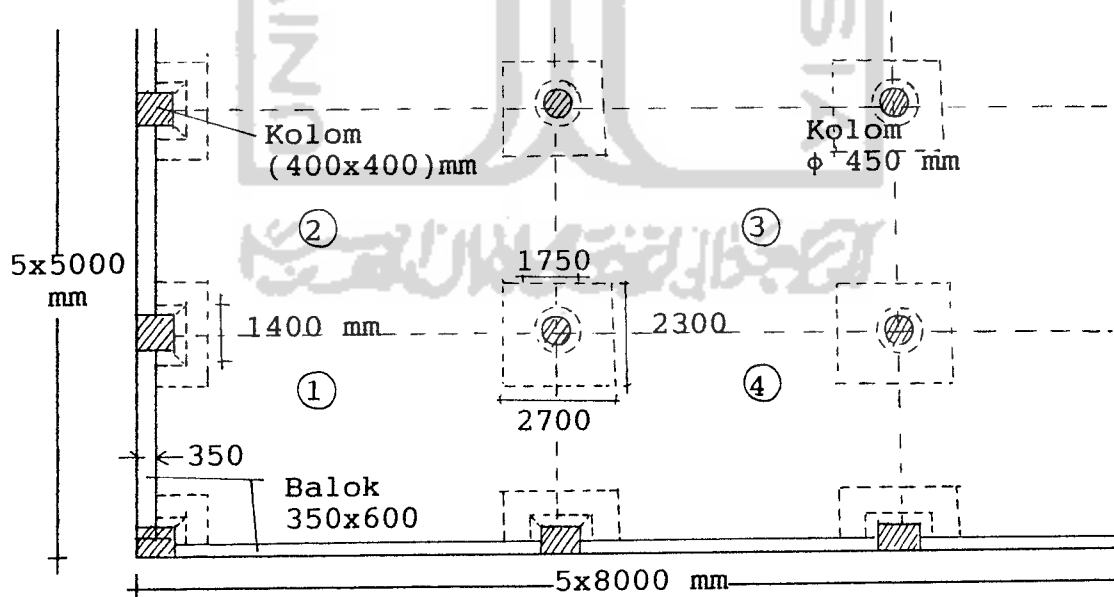


Gambar 4.46. Diagram momen rencana arah longitudinal
(satuan : kNm)

4.2.3. Bentang (8000 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{8000}{5000} = 1,6$$

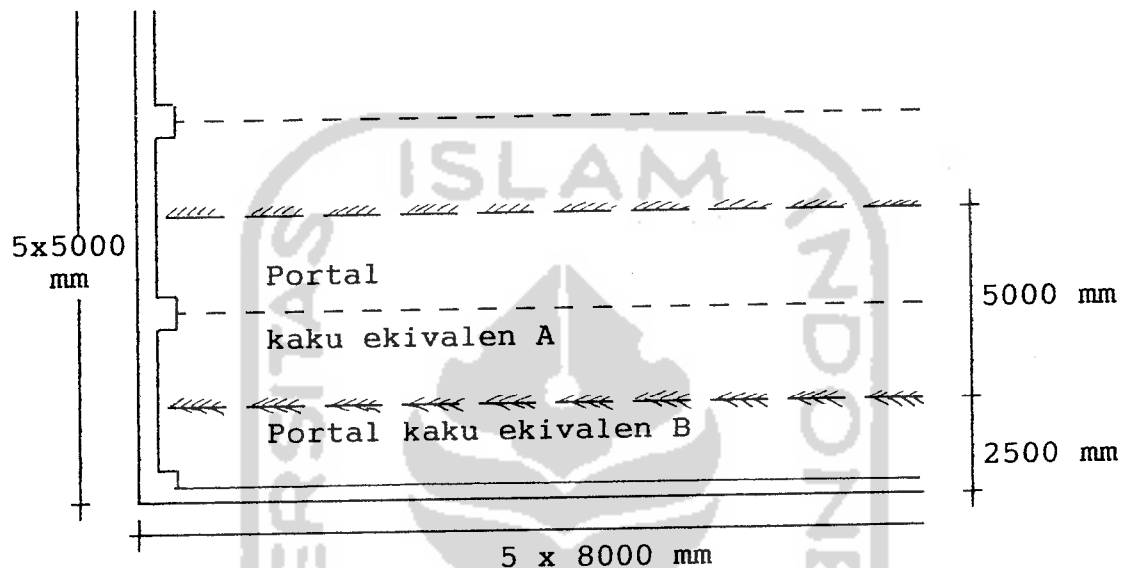
Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.47), beban hidup yang diterima $2,50 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $4,08 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (8000 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3500 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (400 x 400)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 450 mm dan balok tepi (350 x 600) mm. Tebal pelat diasumsikan 160 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.47. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

Untuk penyelesaian dengan metoda ini hanya ditinjau dua portal yaitu portal A dan portal B (gambar 4.48).



Gambar 4.48. Portal kaku ekivalen

1. Memeriksa tebal pelat

Menurut persyaratan lendutan dan persyaratan geser, tebal pelat 160 mm sudah memenuhi syarat (lihat penyelesaian 4.1.3).

2. Komponen Rangka Ekivalen

Menentukan konstanta distribusi momen fixed end moment komponen rangka ekivalen. Metode distribusi momen digunakan untuk menganalisis rangka parsial untuk beban vertikal. Faktor kekakuan (K), carry over factor (COF) dan fixed end moment (FEM) untuk pelat-balok dan kolom ditentukan dengan bantuan tabel dalam lampiran 1 dengan cara

interpolasi linier.

Portal A :

$$CN_1/l_1 = 1400/8000 = 0,175$$

$$CN_2/l_2 = 1400/5000 = 0,280$$

Portal B :

$$CN_1/l_1 = 1400/8000 = 0,175$$

$$CN_2/l_2 = 1400/2500 = 0,560$$

tabel 4.26. Menentukan KNF, COF, dan FEM

CN_1/l_1	CN_2/l_2	KNF	COF	FEM
0,100	0,200	6,240	0,610	0,0940
	0,280	6,392	0,610	0,0950
	0,300	6,430	0,610	0,0952
0,175	0,280	6,797	0,6295	0,0963
	0,560	7,749	0,6895	0,1015
0,200	0,200	6,620	0,620	0,0957
	0,280	6,932	0,636	0,0968
	0,300	7,010	0,640	0,0971

a. Pelat - balok

Portal A :

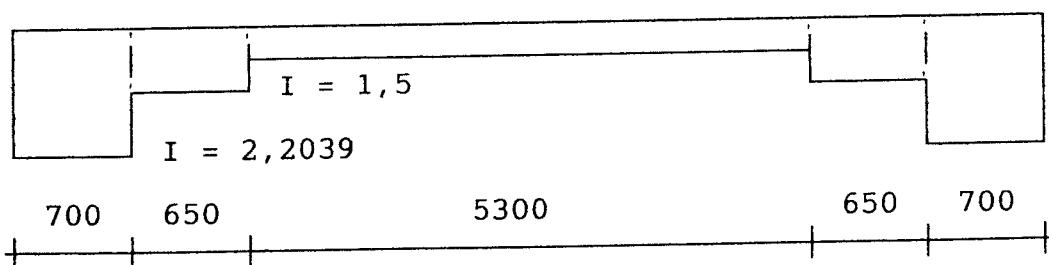
$$KNF = 6,797$$

$$COF = 0,6295$$

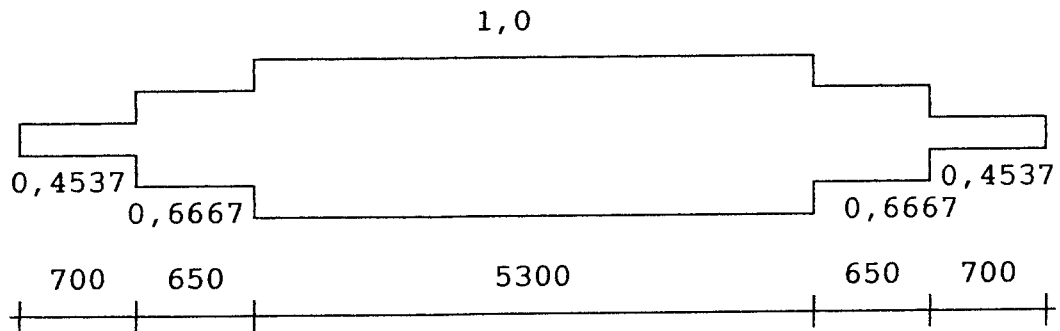
$$FEM = 0,0963 Wu \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok :

$$I = 1,0$$



Gambar 4.49. Momen inersia relatif



Gambar 4.50. Penampang kolom analogi

Variasi momen inersia satu bentang dari jalur pelat ditunjukkan pada gambar di atas. Tebal pelat 160 mm sebagai harga perbandingan, maka momen inersia pertebalan menjadi :

$$(160 + 80) / 160 = 1,5.$$

Momen inersia di antara garis tengah kolom dan sisi dari kepala kolom bujursangkar ekuivalen adalah :

$$1,5 (1 - 1400/8000)^2 = 2,2039.$$

Variasi diarah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.50)

Luas penampang kolom analogi :

$$\begin{aligned} A &= 5300 + 2 (0,6667) (650) + 2 (0,4537)(700) \\ &= 5300 + 866,71 + 635,18 \\ &= 6801,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

$$\begin{aligned} I_{sb} &= 1/12 (5300)^3 + 866,71 (2975)^2 + 635,18 (3650)^2 \\ &= 2,85395 \cdot 10^{10} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$K_{sb} = kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 6,797 \frac{E (2,85395 \cdot 10^{10})}{8000}$$

$$= 24247895,98 E$$

Portal B :

$$kNF = 7,7490$$

$$COF = 0,6895$$

$$FEM = 0,1015 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok, I_{sb} tengah dihitung dengan bantuan grafik pada lampiran 2.

$$I_{sb} \text{ tengah} = C_t (1/12 b_w h^3)$$

$$= 2,1 \{ 1/12 \cdot 350 \cdot (600)^3 \}$$

Dimana C_t ditentukan :

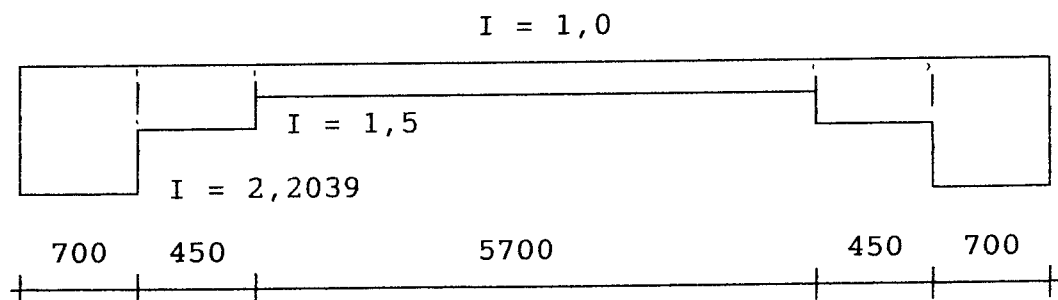
$$\left. \begin{array}{l} \text{rasio A} = b/b_w = 2500/350 = 7,143 \\ \text{rasio B} = t/h = 160/600 = 0,27 \end{array} \right\} \text{ dari grafik, } C_t = 2,19$$

Dengan mengambil momen inersia pada pelat-balok tengah dengan tebal 160 mm, momen inersia menjadi :

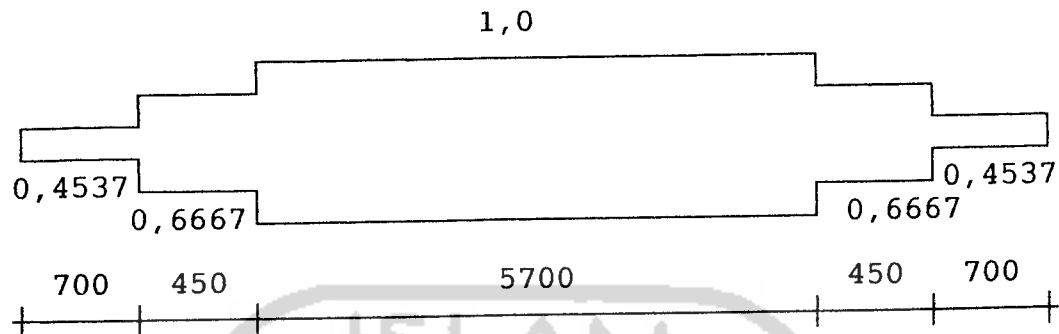
$$(160 + 80) / 160 = 1,5$$

Momen inersia diantara garis tengah kolom dan sisi kepala kolom :

$$1,5 / (1 - 140/8000)^2 = 2,2039$$



Gambar 4.51. Momen inersia relatif



Gambar 4.52. Penampang kolom analogi

Variasi di arah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.52)

Luas penampang kolom analogi ;

$$\begin{aligned} A &= 5700 + 2 (0,6667)(450) + 2(0,4537)(700) \\ &= 5700 + 600,03 + 635,18 \\ &= 6935,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

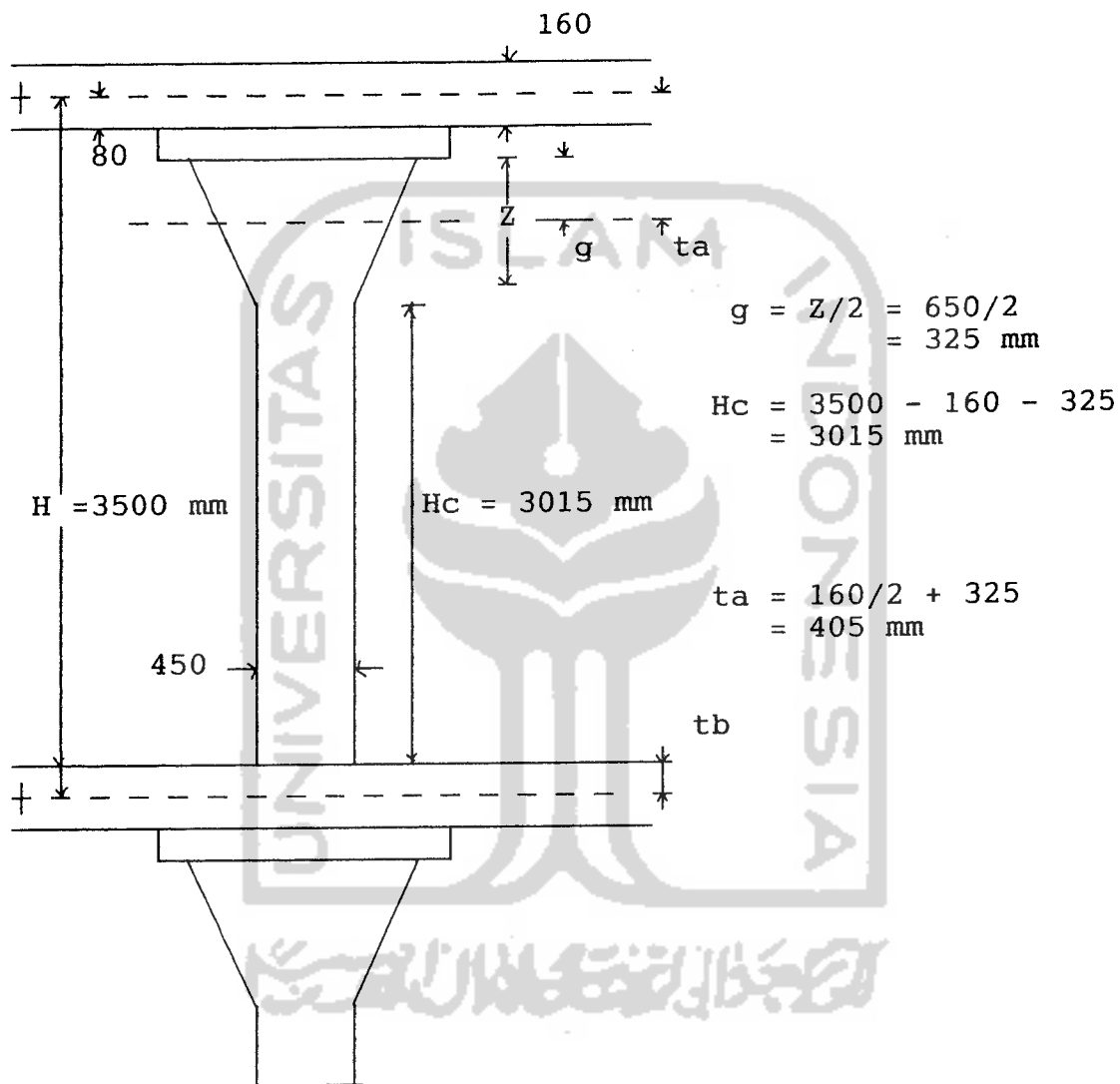
$$\begin{aligned} I_{sb} &= I_{sb} \text{ tengah} + 600,03 (3075)^2 + 635,18 (3650)^2 \\ &= 1,323 \cdot 10^{10} + 1845092,25 + 2318407 \\ &= 1,32341635 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sb} &= kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 7,7490 \frac{E (1,32341635 \cdot 10^{10})}{8000} \\ &= 12818941,62 E \end{aligned}$$

b. Kekakuan lentur kolom

Kekakuan lentur kolom ditentukan dengan bantuan tabel pada lampiran 3 dengan cara interpolasi linier.

Portal A dan B



Penentuan k_{ct} :

$$t_a/t_b = 405/80 = 5,063$$

$$H/H_c = 3500/3015 = 1,161$$

Penentuan k_{cb} :

$$t_b/t_a = 80/405 = 0,198$$

$$H/H_c = 3500/3015 = 1,161$$

Tabel 4.27. Menentukan kct, Cct, kcb dan Ccb

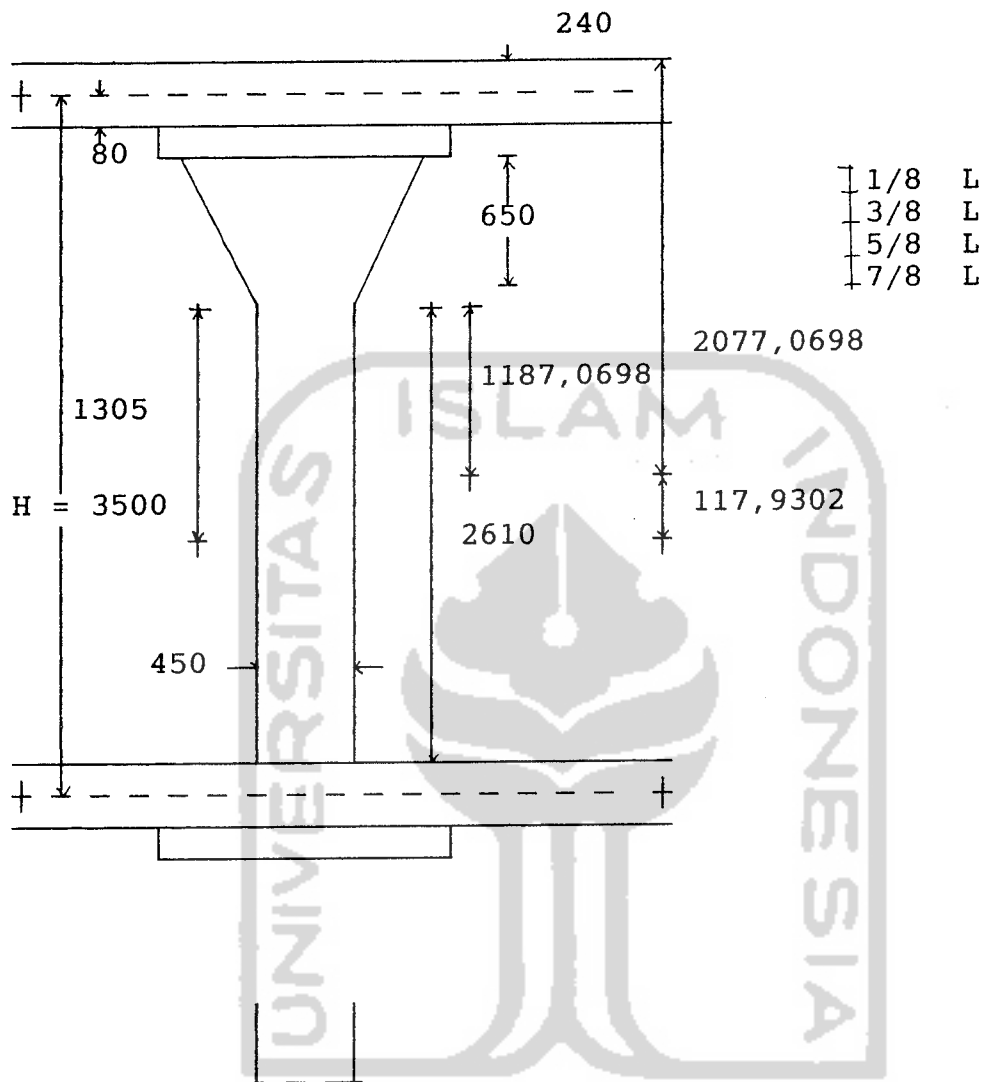
ta/tb		H/HC		
		1,150	1,161	1,200
0,000	kcb	4,600		4,800
	Ccb	0,730		0,800
0,198	kcb	4,9465	5,0232	5,2950
	Ccb	0,6805	0,6937	0,7406
0,200	kcb	4,950		5,300
	Ccb	0,680		0,740
5,000	kct	6,540		7,600
	Cct	0,520		0,520
5,063	kct	6,5438	6,7774	7,6957
	Cct	0,5194	0,5194	0,5194
6,000	kct	6,600		7,690
	Cct	0,510		0,510

Dari hitungan di atas maka portal A dan B didapat :

$$kct = 6,7774 \qquad kcb = 5,0232$$

$$Cct = 0,5194 \qquad Ccb = 0,6937$$

$$l_c = 3500 \text{ mm}$$



Gambar 4.53. Sifat-sifat lentur kolom (satuan dalam mm)

Bagian sebesar 650 mm dari kolom analogi yang mewakili kepala kolom dibagi menjadi empat segmen :

$$L = 650/4, \text{ dengan } 1/I \text{ dari } 1/8, 3/8, 5/8 \text{ dan } 7/8.$$

$$A = 2610 + \{ 1/8 + 3/8 + 5/8 + 7/8 \} (650/4)$$

$$= 2610 + 20,3125 + 60,9375 + 101,5625 + 142,1875$$

$$= 2935 \text{ mm}^2$$

ΣAy dari permukaan atas pelat :

$$\begin{aligned}\Sigma Ay &= 650/4 \{ (1/8 \cdot 650 + 240) + (3/8 \cdot 650 + 240) + \\ &\quad (5/8 \cdot 650 + 240) + (7/8 \cdot 650 + 240) \} + 2610 (2175) \\ &= 52203,125 + 78609,375 + 105015,625 + 131421,875 + \\ &\quad 5728950 \\ &= 6096200 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$Y = \frac{\Sigma Ay}{A} = \frac{6096200}{2935} = 2077,0698 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}I_C &= 1/12 (2610)^3 + (2610)(117,9302)^2 + 650/4 \{ (7/8 \cdot 650 + \\ &\quad 1187,0698) + (5/8 \cdot 650 + 1187,0698) + (3/8 \cdot 650 + \\ &\quad 1187,0698) + (1/8 \cdot 650 + 1187,0698) \} \\ &= 1481631750 + 36298658,71 + 285320,7175 + 258914,4675 + \\ &\quad 232508,2175 + 206101,9675 \\ &= 1518913254 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$K_{ct} = k_{ct} \frac{EI_C}{l_C} = 6,7774 \frac{1518913254 E}{3500} = 2941223,625E$$

$$K_{cb} = k_{cb} \frac{EI_C}{l_C} = 5,0232 \frac{1518913254 E}{3500} = 2179944,302E$$

c. Kekakuan torsi komponen transversal

Tetapan torsi dari balok transversal

$$C = 5886808567 \quad (\text{untuk balok tepi})$$

$$C = 2228161475 \quad (\text{untuk balok tengah})$$

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(2228161475)}{5000(1-1400/5000)^3} \\ &= 10745377,48 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(5886808567)}{5000(1-1400/5000)^3} = 28389316,01 \text{ E}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(2228161475)}{2500(1-1400/2500)^3} \\ &= 94165351,59 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(5886808567)}{2500(1-1400/2500)^3} = 248785110,4 \text{ E}$$

d. Kenaikan kekakuan torsi dari komponen puntir

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 10745377,48 \text{ E} \frac{2,85395 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(160)^3} \\ &= 179688105,8 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 28389316,01 \text{ E} \frac{2,85395 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(160)^3} \\ &= 474736455,6 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 94165351,59 \text{ E} \frac{1,32341635 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(160)^3} \\ &= 1460390225 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 248785110,4 \text{ E} \frac{1,32341635 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(160)^3} \\ &= 3858354876 \text{ E} \end{aligned}$$

e. Kekakuan kolom ekuivalen

Portal A :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(2941223,625\text{E}+2179944,302\text{E}) \times 2(179688105,8\text{E})}{(2941223,625\text{E}+2179944,302\text{E}) + 2(179688105,8\text{E})} \\ &= 5049215,802 \text{ E} \end{aligned}$$

Eksterior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(2941223,625\text{E}+2179944,302\text{E}) \times 2(474736455,6\text{E})}{(2941223,625\text{E}+2179944,302\text{E}) + 2(474736455,6\text{E})} \\ &= 5093694,091 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$K_{ec} = \frac{(2941223,625E+2179944,302E) \times 2(1460390225E)}{(2941223,625E+2179944,302E) + 2(1460390225E)}$$

$$= 5112204,413 E$$

Eksterior :

$$K_{ec} = \frac{(2941223,625E+2179944,302E) \times 2(3858354876E)}{(2941223,625E+2179944,302E) + 2(3858354876E)}$$

$$= 5117771,535 E$$

f. Distribusi Faktor (DF) pada tumpuan pelat-balok

Portal A :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{24247895,98 E}{2(24247895,98E) + 5049215,802E} = 0,4529$$

$$\text{Eksterior : DF} = \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}}$$

$$= \frac{24247895,98E}{24247895,98 E + 5093694,091E} = 0,264$$

Portal B :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{12818941,62 E}{2(12818941,62E) + 5112204,413E} = 0,2391$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior : DF} &= \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}} \\ &= \frac{12818941,62E E}{12818941,62E E + 5117771,535 E} = 0,7841 \end{aligned}$$

3. Analisa rangka parsial pada rangka ekivalen

Menentukan momen negatif dan positif maksimum pada pelat dengan distribusi momen.

Karena beban hidup (W_1) = 2,50 kN/m² < 3/4 W_d = 3/4.4,08 = 3,06 kN/m², maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup bekerja pada seluruh bentang pelat.

a. Beban terfaktor dan fixed end moments

$$\begin{aligned} \text{Beban mati : pelat} &= 0,160 \cdot 24 = 3,84 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penutup pelat} &= 0,24 \text{ kN/m}^2 \\ \hline W_d \text{ total} &= 4,08 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Beban hidup } (W_1) = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6 (W_1) \\ &= 1,2 (4,08) + 1,6 (2,50) \\ &= 8,896 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal A} &= 0,0963 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0963 (8,896) 5 (8)^2 \\ &= 274,139 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal B} &= 0,1015 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,1015 (8,896) 2,5 (8)^2 \\ &= 144,471 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Momen positif tengah bentang (M_{lap})

$$M_{lap} = M_S - \frac{1}{2} (M_L + M_R)$$

dimana, M_S = Momen tengah bentang

$$= 1/8 (W_u) l_2 l_1^2$$

M_R = momen negatif kanan bentang yang ditinjau

M_L = Momen negatif kiri bentang yang ditinjau

Portal A :

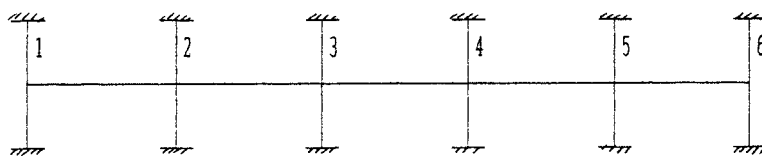
$$\begin{aligned} M_{lap} (1-2) &= 1/8(8,896)5(8)^2 - \frac{1}{2} (57,141+357,789) \\ &= 148,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (2-3) &= 1/8(8,896)5(8)^2 - \frac{1}{2}(339,592+254,021) \\ &= 59,034 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (3-4) &= 1/8(8,896)5(8)^2 - \frac{1}{2}(261,280+261,280) \\ &= 94,560 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (4-5) &= 1/8(8,896)5(8)^2 - \frac{1}{2}(254,021+339,592) \\ &= 59,034 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (5-6) &= 1/8(8,896)5(8)^2 - \frac{1}{2} (357,789+57,141) \\ &= 148,375 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Tabel 4.28. Distribusi Momen Portal A

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,8264	0,4529	0,4529	0,4529	0,4529	0,4529	0,4529	0,4529	0,4529	0,8264
COF	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295
FEM	+274,139	-274,139	+274,139	-274,139	+274,139	-274,139	+274,139	-274,139	+274,139	-274,139
COM	0	-142,612	0	0	0	0	0	0	+142,612	0
COM	+ 40,659	0	0	+ 40,659	0	0	- 40,659	0	0	- 40,659
COM	0	- 21,152	- 11,592	0	+ 11,592	- 11,592	0	+ 11,592	+ 21,152	0
COM	+ 9,335	0	- 3,305	+ 9,335	+ 3,305	- 3,305	- 9,335	+ 3,305	0	- 9,335
COM	+ 0,942	- 4,856	- 3,604	+ 0,942	+ 3,604	- 3,604	- 0,942	+ 3,604	+ 4,856	- 0,942
COM	+ 2,412	- 0,490	- 1,296	+ 2,412	+ 1,296	- 1,296	- 2,412	+ 1,296	+ 0,490	- 2,412
COM	+ 0,509	- 1,255	- 1,057	+ 0,509	+ 1,057	- 1,057	- 0,509	+ 1,057	+ 1,255	- 0,509
COM	+ 0,659	- 0,265	- 0,566	+ 0,659	+ 0,566	- 0,566	- 0,659	+ 0,566	+ 0,265	- 0,659
COM	+ 0,237	- 0,343	- 0,349	+ 0,237	+ 0,349	- 0,349	- 0,237	+ 0,349	+ 0,343	- 0,237
COM	+ 0,197	- 0,068	- 0,167	+ 0,197	+ 0,167	- 0,167	- 0,197	+ 0,167	+ 0,068	- 0,197
COM	+ 0,067	- 0,102	- 0,104	+ 0,067	+ 0,104	- 0,104	- 0,067	+ 0,104	+ 0,102	- 0,067
Σ	+329,156	-445,282	+252,099	-219,122	+219,122	-219,122	+219,122	-252,099	+445,282	-329,156
DM	-272,015	+ 87,493	+ 87,493	- 34,899	- 34,899	+ 34,899	+ 34,899	- 87,493	- 87,493	+272,015
Total	+ 57,141	-357,789	+339,592	-254,021	+261,280	-261,280	+254,021	-339,592	+357,789	- 57,141
M _{lap}	148,375		59,034		94,560		59,034		148,375	

Portal B :

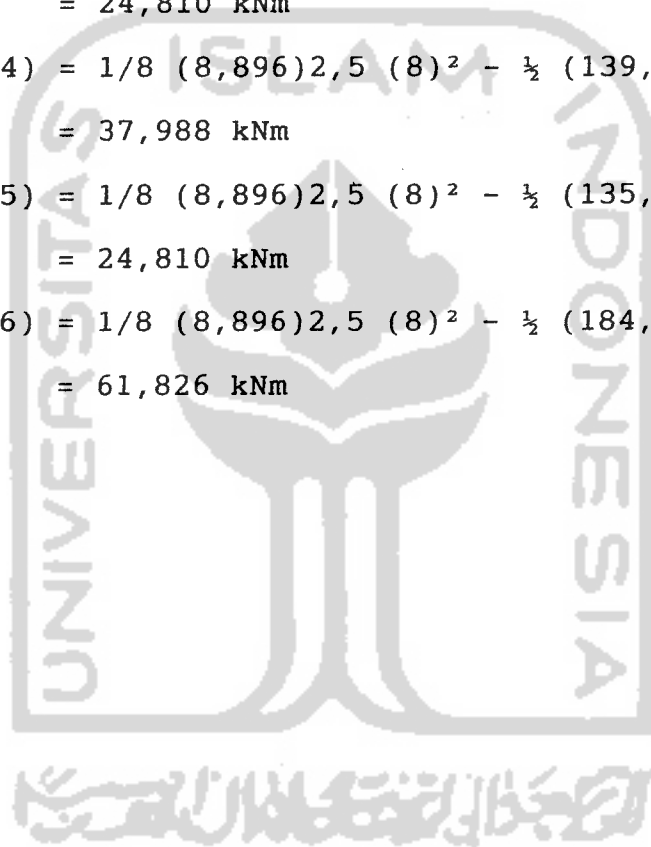
$$\begin{aligned} M_{1ap} (1-2) &= 1/8 (8,896)2,5 (8)^2 - \frac{1}{2} (47,370+184,818) \\ &= 61,826 \text{ kNm} \end{aligned}$$

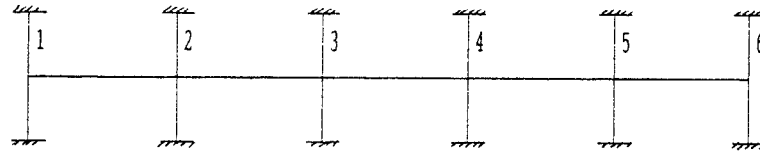
$$\begin{aligned} M_{1ap} (2-3) &= 1/8 (8,896)2,5 (8)^2 - \frac{1}{2} (171,142+135,078) \\ &= 24,810 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{1ap} (3-4) &= 1/8 (8,896)2,5 (8)^2 - \frac{1}{2} (139,932+139,932) \\ &= 37,988 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{1ap} (4-5) &= 1/8 (8,896)2,5 (8)^2 - \frac{1}{2} (135,078+171,142) \\ &= 24,810 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{1ap} (5-6) &= 1/8 (8,896)2,5 (8)^2 - \frac{1}{2} (184,818+ 47,370) \\ &= 61,826 \text{ kNm} \end{aligned}$$





Tabel 4.29. Distribusi Momen Portal B

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,7147	0,4169	0,4169	0,4169	0,4169	0,4169	0,4169	0,4169	0,4169	0,7147
COF	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295	0,6295
FEM	+144,471	-144,471	+144,471	-144,471	+144,471	-144,471	+144,471	-144,471	+144,471	-144,471
COM	0	- 64,998	0	0	0	0	0	0	+ 64,998	0
COM	+ 17,058	0	0	+ 17,058	0	0	- 17,058	0	0	- 17,058
COM	0	- 7,674	- 4,477	0	+ 4,477	- 4,477	0	+ 4,477	+ 7,674	0
COM	+ 3,189	0	- 1,175	+ 3,189	+ 1,175	- 1,175	- 3,189	+ 1,175	0	- 3,189
COM	+ 0,308	- 1,435	- 1,145	+ 0,308	+ 1,145	- 1,145	- 0,308	+ 1,145	+ 1,435	- 0,308
COM	+ 0,677	- 0,139	- 0,381	+ 0,677	+ 0,381	- 0,381	- 0,677	+ 0,381	+ 0,139	- 0,677
COM	+ 0,136	- 0,305	- 0,278	+ 0,136	+ 0,278	- 0,278	- 0,136	+ 0,278	+ 0,305	- 0,136
COM	+ 0,153	- 0,061	- 0,109	+ 0,153	+ 0,109	- 0,109	- 0,153	+ 0,109	+ 0,061	- 0,153
COM	+ 0,045	- 0,040	- 0,069	+ 0,045	+ 0,069	- 0,069	- 0,045	+ 0,069	+ 0,040	- 0,045
Σ	+166,037	-219,123	+136,837	-122,905	+152,105	-152,105	+122,905	-136,837	+219,123	-166,037
DM	-118,667	+ 34,305	+ 34,305	- 12,173	- 12,173	+ 12,173	+ 12,173	- 34,305	- 34,305	+118,667
Total	+ 47,370	-184,818	+171,142	-135,078	+139,932	-139,932	+135,078	-171,142	+184,818	- 47,370
M_{lap}	61,826	24,810		37,988		24,810		61,826		

c. Momen negatif rencana

Momen negatif rencana harus diambil pada muka rektilinear tumpuan, tetapi tidak boleh melebihi $0,175 l_1$ dari sumbu kolom ekuivalen.

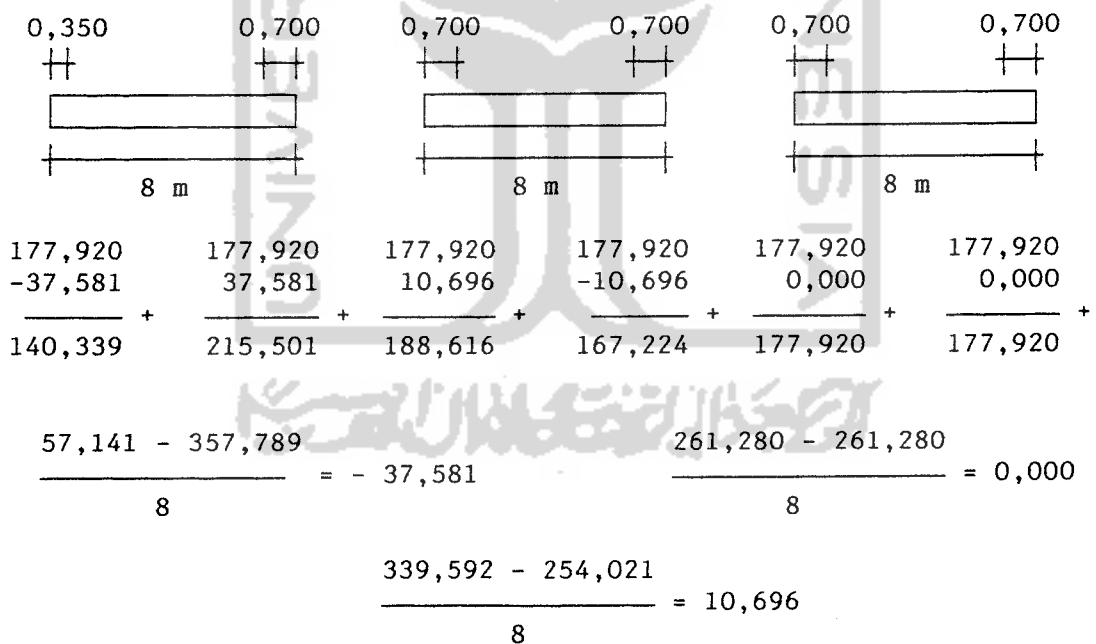
$$\frac{1}{2} (1400) = 700 \text{ mm} < 0,175 (8000) = 1400 \text{ mm} \quad - \text{Ok} -$$

Untuk hitungan momen negatif lihat gambar 4.54. (portal A) dan gambar 4.56. (portal B).

Portal A :

$$\text{Beban terbagi merata : } W = W_u \cdot l = 8,896 \cdot 5 = 44,48 \text{ kN/m}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 44,48 \cdot 8 = 177,92 \text{ kN}$$



Gambar 4.54. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned} ML_{(1-2)} &= 57,141 - 140,339(0,350) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,350) \frac{1}{2}(0,350) \\ &= 41,747 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(1-2)} &= 357,789 - 215,501(0,700) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ &= 217,836 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(2-3)} &= 339,592 - 188,616(0,700) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ &= 218,458 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(3-2)} &= 254,021 - 167,224(0,700) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ &= 147,862 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(3-4)} &= 261,280 - 177,920(0,700) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ &= 147,634 \text{ kNm} \end{aligned}$$

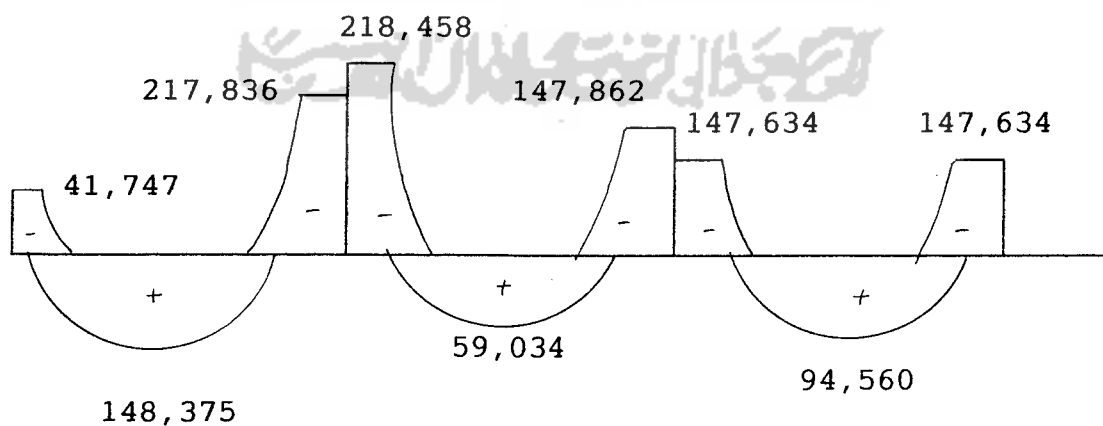
$$\begin{aligned} MR_{(4-3)} &= 261,280 - 177,920(0,700) + (8,896 \cdot 5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ &= 147,634 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_{(4-5)} = 147,862 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 218,458 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 217,836 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 41,747 \text{ kNm}$$

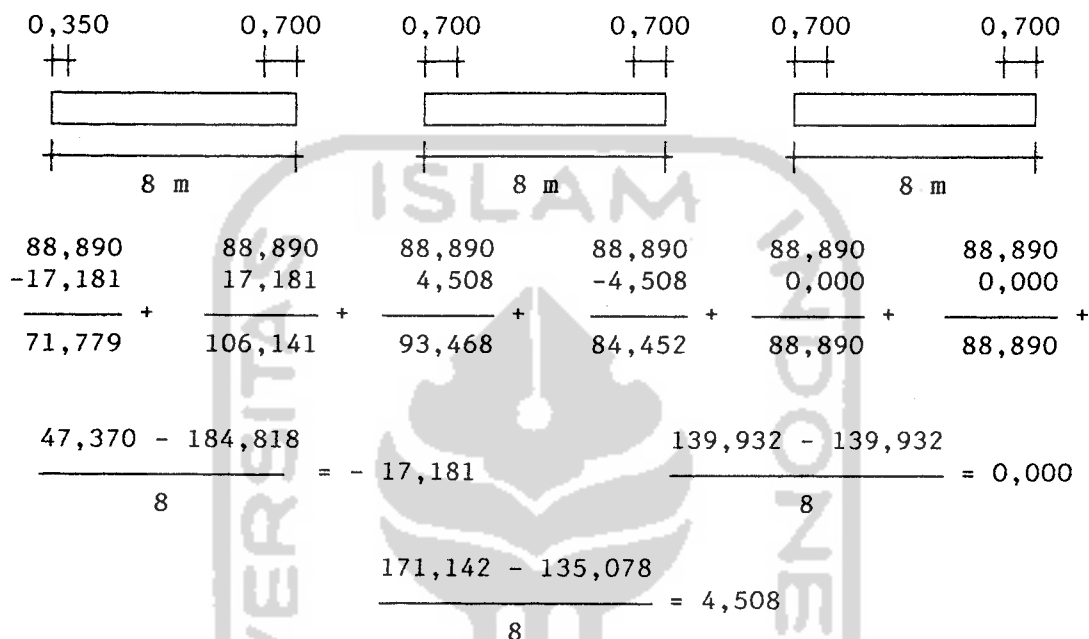


Gambar 4.55. Diagram momen rencana arah longitudinal (satuan : kNm)

Portal B :

Beban terbagi merata : $W = W_u \cdot l = 8,896 \cdot 2,5 = 22,24 \text{ kN/m}$

$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 22,24 \cdot 8 = 88,96 \text{ kN}$



Gambar 4.56. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$ML_{(1-2)} = 47,370 - 71,779(0,350) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,350) \frac{1}{2}(0,350) \\ = 23,610 \text{ kNm}$$

$$MR_{(1-2)} = 184,818 - 106,141(0,700) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ = 115,968 \text{ kNm}$$

$$ML_{(2-3)} = 171,142 - 93,468(0,700) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ = 111,163 \text{ kNm}$$

$$MR_{(3-2)} = 135,078 - 84,452(0,700) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700) \\ = 81,410 \text{ kNm}$$

$$ML_{(3-4)} = 139,932 - 88,960(0,700) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,700) \frac{1}{2}(0,700)$$

$$=83,109 \text{ kNm}$$

$$MR_{(4-3)} = 139,932 - 88,960 (0,700) + (8,896 \cdot 2,5 \cdot 0,700) \frac{1}{2} (0,700)$$

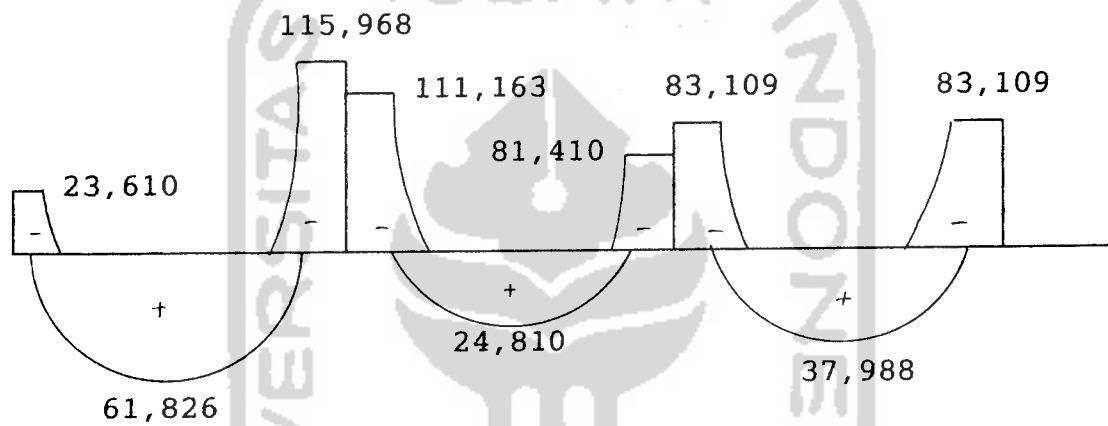
$$=83,109 \text{ kNm}$$

$$ML_{(4-5)} = 81,410 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 111,163 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 115,968 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 23,610 \text{ kNm}$$

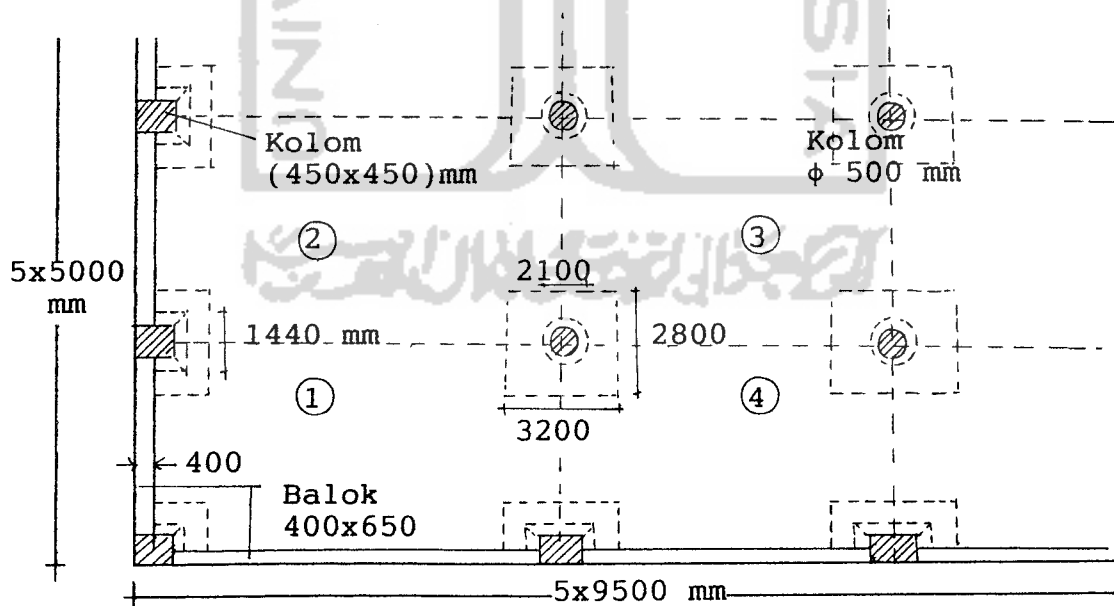


Gambar 4.57. Diagram momen rencana arah longitudinal
(satuan : kNm)

4.2.4. Bentang (9500 x 5000) mm

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{9500}{5000} = 1,9$$

Diketahui pelat cendawan sebuah ruang kuliah (gambar 4.58), beban hidup yang diterima $3,00 \text{ KN/m}^2$, beban mati yang bekerja diasumsikan berat sendiri pelat ditambah berat penutup beton $4,56 \text{ kN/m}^2$, dengan kekuatan beton $f'_c = 25 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 300 \text{ Mpa}$. Lantai dibagi 25 panel, ukuran bentang masing-masing (9500 x 5000) mm. Tinggi tingkat 3800 mm, kolom luar bujursangkar dengan sisi (450 x 450)mm, kolom dalam berbentuk lingkaran dengan diameter 500 mm dan balok tepi (400 x 650) mm. Tebal pelat diasumsikan 180 mm dan tebal drop panel diasumsikan 220 mm termasuk tebal pelat.



Gambar 4.58. Denah pelat cendawan

Penyelesaian :

Untuk penyelesaian dengan metoda ini hanya ditinjau dua portal yaitu portal A dan portal B (gambar 4.59).



Gambar 4.59. Portal kaku ekivalen

1. Memeriksa tebal pelat

Menurut persyaratan lendutan dan persyaratan geser, tebal pelat 180 mm sudah memenuhi syarat (lihat penyelesaian 4.1.4).

2. Komponen Rangka Ekivalen

Menentukan konstanta distribusi momen fixed end moment komponen rangka ekivalen. Metode distribusi momen digunakan untuk menganalisis rangka parsial untuk beban vertikal. Faktor kekakuan (K), carry over factor (COF) dan fixed end moment (FEM) untuk pelat-balok dan kolom ditentukan dengan bantuan tabel dalam lampiran 1 dengan cara

interpolasi linier.

Portal A :

$$CN_1/l_1 = 1440/9500 = 0,152$$

$$CN_2/l_2 = 1440/5000 = 0,288$$

Portal B :

$$CN_1/l_1 = 1440/9500 = 0,152$$

$$CN_2/l_2 = 1440/2500 = 0,576$$

tabel 4.30. Menentukan KNF, COF, dan FEM

CN_1/l_1	CN_2/l_2	kNF	COF	FEM
0,100	0,200	6,240	0,610	0,0940
	0,288	6,4072	0,610	0,0951
	0,300	6,430	0,610	0,0952
0,152	0,288	6,6963	0,6244	0,0960
	0,576	7,5430	0,6543	0,0998
0,200	0,200	6,620	0,620	0,0957
	0,288	6,9632	0,6376	0,0969
	0,300	7,010	0,640	0,0971

a. Pelat - balok

Portal A :

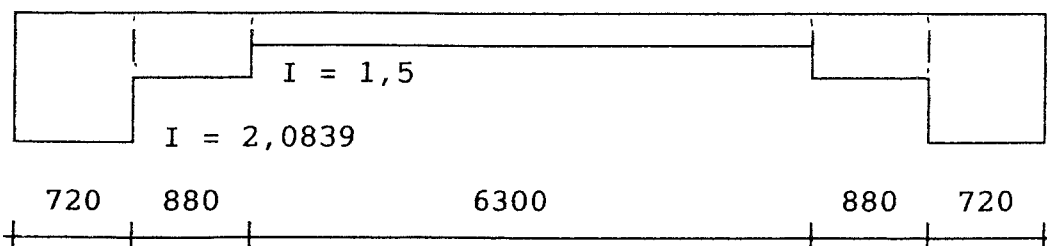
$$kNF = 6,6963$$

$$COF = 0,6244$$

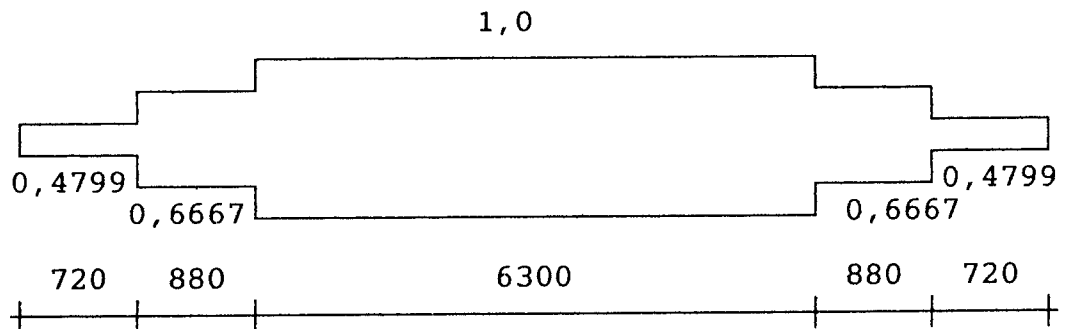
$$FEM = 0,0960 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok :

$$I = 1,0$$



Gambar 4.60. Momen inersia relatif



Gambar 4.61. Penampang kolom analogi

Variasi momen inersia satu bentang dari jalur pelat ditunjukkan pada gambar di atas. Tebal pelat 180 mm sebagai harga pembanding, maka momen inersia pertebalan menjadi :

$$(180 + 90) / 180 = 1,5.$$

Momen inersia di antara garis tengah kolom dan sisi dari kepala kolom bujursangkar ekuivalen adalah :

$$1,5 (1 - 1440/9500)^2 = 2,0839.$$

Variasi diarah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.61)

Luas penampang kolom analogi :

$$\begin{aligned} A &= 6300 + 2 (0,6667) (880) + 2 (0,4799)(720) \\ &= 6300 + 1173,392 + 691,056 \\ &= 8164,448 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

$$\begin{aligned} I_{sb} &= 1/12 (6300)^3 + 1173,392 (3590)^2 + 691,056 (4390)^2 \\ &= 4,927814377 \cdot 10^{10} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$K_{sb} = kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 6,6963 \frac{E (4,927814377 \cdot 10^{10})}{9500}$$

$$= 34734866,75 E$$

Portal B :

$$kNF = 7,5430$$

$$COF = 0,6543$$

$$FEM = 0,0998 Wu \cdot l_2 \cdot l_1^2$$

Menghitung momen inersia pelat balok, I_{sb} tengah dihitung dengan bantuan grafik pada lampiran 2.

$$I_{sb} \text{ tengah} = Ct (1/12 b_w h^3)$$

$$= 2,01 \{ 1/12 \cdot 400 \cdot (650)^3 \}$$

$$= 1,8399875 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

Dimana Ct ditentukan :

$$\text{rasio A} = b/b_w = 2500/400 = 6,25$$

$$\text{rasio B} = t/h = 180/650 = 0,28$$

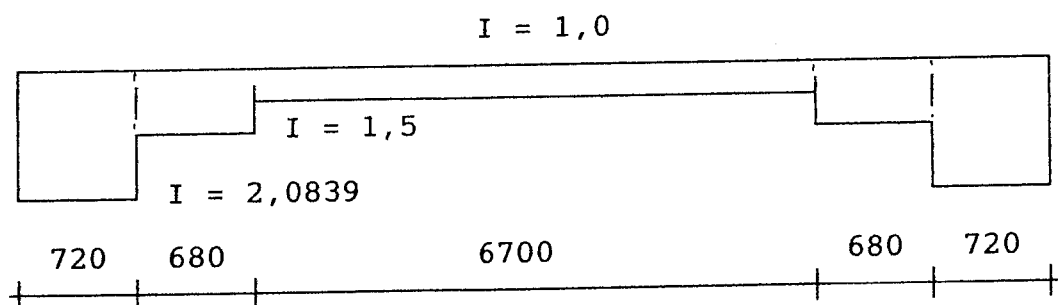
} dari grafik, Ct = 2,01

Dengan mengambil momen inersia pada pelat-balok tengah dengan tebal 180 mm, momen inersia menjadi :

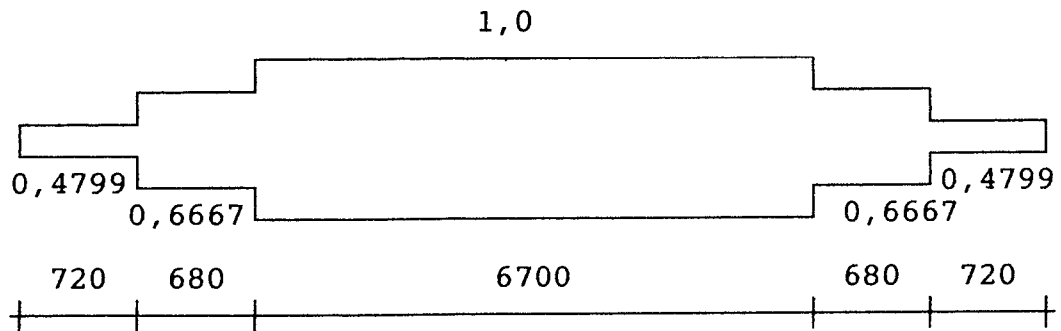
$$(180 + 90) / 180 = 1,5$$

Momen inersia diantara garis tengah kolom dan sisi kepala kolom :

$$1,5 / (1 - 1440/9500)^2 = 2,0839$$



Gambar 4.62. Momen inersia relatif



Gambar 4.63. Penampang kolom analogi

Variasi di arah lebar dari penampang kolom analogi adalah $1/I$ (lihat gambar 4.63)

Luas penampang kolom analogi ;

$$\begin{aligned} A &= 6700 + 2 (0,6667)(680) + 2(0,4799)(720) \\ &= 6700 + 906,712 + 691,056 \\ &= 8297,768 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen inersia jalur pelat (I_{sb}) :

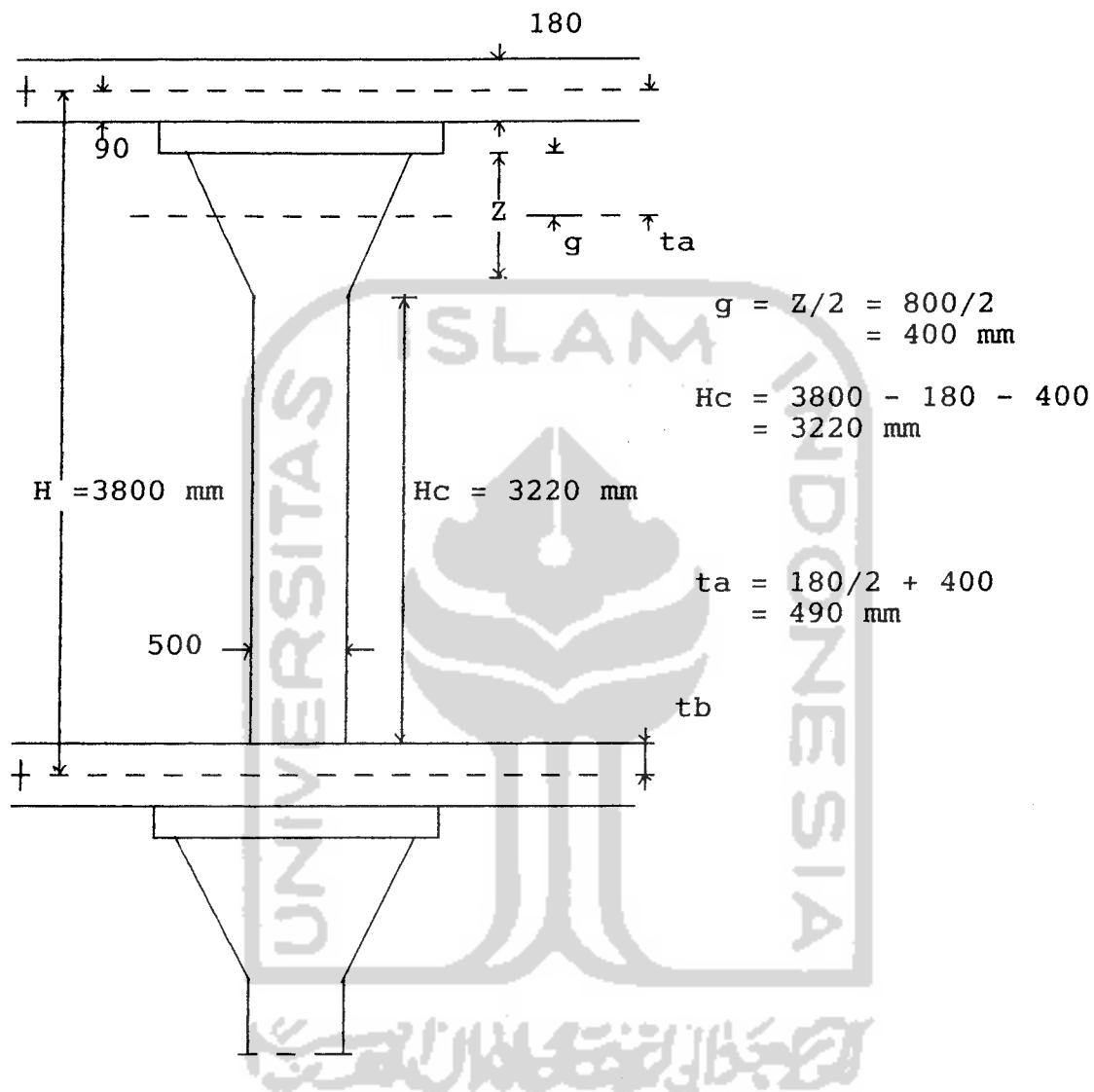
$$\begin{aligned} I_{sb} &= I_{sb} \text{ tengah} + 906,712 (3690)^2 + 691,056 (4390)^2 \\ &= 1,8399875 \cdot 10^{10} + 3345767,28 + 3033735,84 \\ &= 1,84062545 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sb} &= kNF \frac{E I_{sb}}{l_1} = 7,5430 \frac{E (1,84062545 \cdot 10^{10})}{9500} \\ &= 14614566,80 E \end{aligned}$$

b. Kekakuan lentur kolom

Kekakuan lentur kolom ditentukan dengan bantuan tabel pada lampiran 3 dengan cara interpolasi linier.

Portal A dan B



Penentuan kct :

$$t_a/t_b = 490/90 = 5,444$$

$$H/H_c = 3800/3230 = 1,180$$

Penentuan kcb :

$$t_b/t_a = 90/490 = 0,184$$

$$H/H_c = 3800/3230 = 1,180$$

Tabel 4.31. Menentukan kct, Cct, kcb dan Ccb

ta/tb		H/HC		
		1,150	1,180	1,200
0,000	kcb Ccb	4,600 0,730		4,800 0,800
0,184	kcb Ccb	4,9220 0,6840	5,1248 0,7205	5,2600 0,7448
0,200	kcb Ccb	4,950 0,680		5,300 0,740
5,000	kct Cct	6,540 0,520		7,600 0,520
5,444	kct Cct	6,5666 0,5144	7,2106 0,5144	7,6399 0,5144
6,000	kct Cct	6,600 0,510		7,690 0,510

Dari hitungan di atas maka portal A dan B didapat :

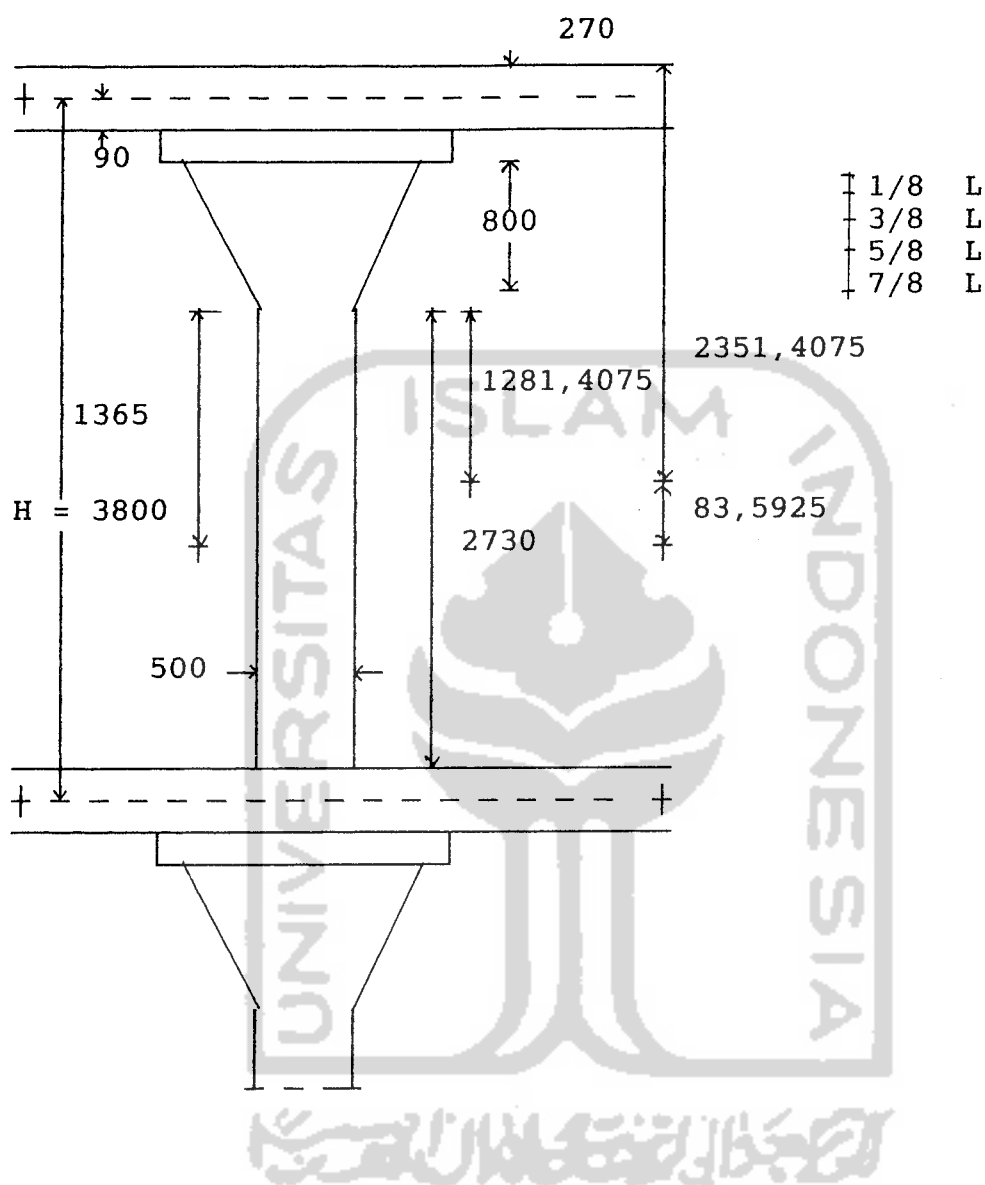
$$kct = 7,2106$$

$$kcb = 5,1248$$

$$Cct = 0,5144$$

$$Ccb = 0,7205$$

$$l_c = 3800 \text{ mm}$$



Gambar 4.64. Sifat-sifat lentur kolom (satuan dalam mm)

Bagian sebesar 800 mm dari kolom analogi yang mewakili kepala kolom dibagi menjadi empat segmen :

$$L = 800/4, \text{ dengan } l/I \text{ dari } 1/8, 3/8, 5/8 \text{ dan } 7/8.$$

$$A = 2730 + \left\{ \frac{1}{8} + \frac{3}{8} + \frac{5}{8} + \frac{7}{8} \right\} (800/4)$$

$$= 2730 + 25 + 75 + 125 + 175$$

$$= 3055 \text{ mm}^2$$

ΣAy dari permukaan atas pelat :

$$\begin{aligned} \Sigma Ay &= 800/4 \{ (1/8 \cdot 800 + 270) + (3/8 \cdot 800 + 270) + \\ &\quad (5/8 \cdot 800 + 270) + (7/8 \cdot 800 + 270) \} + 2730 (2435) \\ &= 74000 + 114000 + 154000 + 194000 + 6647550 \\ &= 7183550 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$y = \frac{\Sigma Ay}{A} = \frac{7183550}{3055} = 2351,4075 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_C &= 1/12 (2730)^3 + (2730)(83,5925)^2 + 800/4 \{ (7/8 \cdot 800 + \\ &\quad 1281,4075) + (5/8 \cdot 800 + 1281,4075) + (3/8 \cdot 800 + \\ &\quad 1281,4075) + (1/8 \cdot 800 + 1281,4075) \} \\ &= 1695534750 + 19076437,53 + 396281,5 + 356281,5 + \\ &\quad 316281,5 + 276281,5 \\ &= 1715956314 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$K_{ct} = k_{ct} \frac{EI_C}{l_C} = 7,2106 \frac{1715956314 E}{3800} = 3256072,262E$$

$$K_{cb} = k_{cb} \frac{EI_C}{l_C} = 5,1248 \frac{1715956314 E}{3800} = 2314192,873E$$

c. Kekakuan torsi komponen transversal

Tetapan torsi dari balok transversal

$$C = 9183897067 \quad (\text{untuk balok tepi})$$

$$C = 2706156005 \quad (\text{untuk balok tengah})$$

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(2706156005)}{5000(1-1440/5000)^3} \\ &= 13495387,32 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(9183897067)}{5000(1-1440/5000)^3} = 45799372,92 \text{ E}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_t &= \frac{9EC}{l_2(1-C_2/l_2)^3} = \frac{9E(2706156005)}{2500(1-1440/2500)^3} \\ &= 127807918 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\text{Eksterior } K_t = \frac{9E(9183897067)}{2500(1-1440/2500)^3} = 433742460,2 \text{ E}$$

d. Kenaikan kekakuan torsi dari komponen puntir

Portal A :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 13495387,32 \text{ E} \frac{4,927814377 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(180)^3} \\ &= 273673924,5 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 45799372,92 \text{ E} \frac{4,927814377 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 5000(180)^3} \\ &= 928768758,6 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$\begin{aligned} \text{Interior } K_{ta} &= K_t \frac{I_{sb}}{I_s} \\ &= 127807918 \text{ E} \frac{1,84062545 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(180)^3} \\ &= 1936185239 \text{ E} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior } K_{ta} &= 433742460,2 \text{ E} \frac{1,84062545 \cdot 10^{10}}{1/12 \cdot 2500(180)^3} \\ &= 6570842889 \text{ E} \end{aligned}$$

e. Kekakuan kolom ekuivalen

Portal A :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3256072,262\text{E}+2314192,873\text{E}) \times 2(273673924,5\text{E})}{(3256072,262\text{E}+2314192,873\text{E}) + 2(273673924,5\text{E})} \\ &= 5514148,591 \text{ E} \end{aligned}$$

Eksterior :

$$\begin{aligned} K_{ec} &= \frac{(3256072,262\text{E}+2314192,873\text{E}) \times 2(928768758,6\text{E})}{(3256072,262\text{E}+2314192,873\text{E}) + 2(928768758,6\text{E})} \\ &= 5553611,319 \text{ E} \end{aligned}$$

Portal B :

$$K_{ec} = \frac{\Sigma K_c \times \Sigma K_{ta}}{\Sigma K_c + \Sigma K_{ta}}$$

Interior :

$$K_{ec} = \frac{(3256072,262E+2314192,873E) \times 2(1936185239E)}{(3256072,262E+2314192,873E) + 2(1936185239E)}$$

$$= 5562264,019 E$$

Eksterior :

$$K_{ec} = \frac{(3256072,262E+2314192,873E) \times 2(657084889E)}{(3256072,262E+2314192,873E) + 2(657084889E)}$$

$$= 55467554,555 E$$

f. Distribusi Faktor (DF) pada tumpuan pelat-balok

Portal A :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{34734866,75 E}{2(34734866,75E) + 5514148,591E} = 0,4632$$

$$\text{Eksterior : DF} = \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}}$$

$$= \frac{34734866,75E}{34734866,75 E + 5553611,319E} = 0,8622$$

Portal B :

$$\text{Interior : DF} = \frac{K_{sb}}{2(K_{sb}) + K_{ec}}$$

$$= \frac{14614566,08 E}{2(14614566,08E) + 5562264,019E} = 0,4201$$

$$\begin{aligned} \text{Eksterior : DF} &= \frac{K_{sb}}{K_{sb} + K_{ec}} \\ &= \frac{14614566,08 \text{ E}}{14614566,08 \text{ E} + 5546754,555 \text{ E}} = 0,7249 \end{aligned}$$

3. Analisa rangka parsial pada rangka ekivalen

Menentukan momen negatif dan positif maksimum pada pelat dengan distribusi momen.

Karena beban hidup (W_1) = $3,00 \text{ kN/m}^2 < 3/4 W_d = 3/4 \cdot 4,56 = 3,42 \text{ kN/m}^2$, maka momen terfaktor maksimum boleh dianggap bekerja pada semua penampang dengan beban hidup bekerja pada seluruh bentang pelat.

a. Beban terfaktor dan fixed end moments

$$\begin{array}{rcl} \text{Beban mati : pelat} & = & 0,180 \cdot 24 = 4,32 \text{ kN/m}^2 \\ \text{penutup pelat} & & = 0,24 \text{ kN/m}^2 \\ \hline W_d \text{ total} & & = 4,56 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

$$\text{Beban hidup } (W_1) = 3,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 (W_d \text{ total}) + 1,6 (W_1) \\ &= 1,2 (4,56) + 1,6 (3,00) \\ &= 10,272 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal A} &= 0,0960 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0960 (10,272) 5 (9,5)^2 \\ &= 444,9830 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM Portal B} &= 0,0998 W_u l_2 l_1^2 \\ &= 0,0998 (10,272) 2,5 (9,5)^2 \\ &= 231,2985 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Momen positif tengah bentang (M_{lap})

$$M_{lap} = M_S - \frac{1}{2} (M_L + M_R)$$

dimana, M_S = Momen tengah bentang

$$= \frac{1}{8} (W_u) l_2 l_1^2$$

M_R = momen negatif kanan bentang yang ditinjau

M_L = Momen negatif kiri bentang yang ditinjau

Portal A :

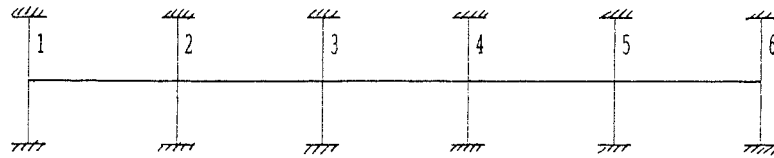
$$\begin{aligned} M_{lap} (1-2) &= \frac{1}{8}(10,272)5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(74,530+583,188) \\ &= 250,546 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (2-3) &= \frac{1}{8}(10,272)5(9,5)^2 - \frac{1}{2} (558,907+411,53) \\ &= 94,187 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (3-4) &= \frac{1}{8}(10,272)5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(421,448+421,448) \\ &= 157,957 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (4-5) &= \frac{1}{8}(10,272)5(9,5)^2 - \frac{1}{2} (411,53+558,907) \\ &= 94,187 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (5-6) &= \frac{1}{8}(10,272)5(9,5)^2 - \frac{1}{2} (583,188+74,530) \\ &= 250,546 \text{ kNm} \end{aligned}$$



Tabel 4.32. Distribusi Momen Portal A

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,8622	0,4632	0,4632	0,4632	0,4632	0,4632	0,4632	0,4632	0,4632	0,8622
COF	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244	0,6244
FEM	+444,983	-444,983	+444,983	-444,983	+444,983	-444,983	+444,983	-444,983	+444,983	-444,983
COM	0	-239,560	0	0	0	0	0	0	+239,560	0
COM	+ 69,860	0	0	+ 69,860	0	0	- 69,860	0	0	- 69,860
COM	0	- 37,610	- 20,205	0	+ 20,205	- 20,205	0	+ 20,205	+ 37,610	0
COM	+ 16,721	0	- 0,801	+ 16,721	+ 0,801	- 0,801	- 16,721	+ 0,801	0	- 16,721
COM	+ 1,690	- 9,002	- 6,526	+ 1,690	+ 6,526	- 6,526	- 1,690	+ 6,526	+ 9,002	- 1,690
COM	+ 4,491	- 0,910	- 0,267	+ 4,491	+ 0,267	- 0,267	- 4,491	+ 0,267	+ 0,910	- 4,491
COM	+ 0,950	- 2,418	- 1,986	+ 0,950	+ 1,986	- 1,986	- 0,950	+ 1,986	+ 2,418	- 0,950
COM	+ 1,274	- 0,511	- 0,849	+ 1,274	+ 0,849	- 0,849	- 1,274	+ 0,849	+ 0,511	- 1,274
COM	+ 0,393	- 0,686	- 0,614	+ 0,393	+ 0,614	- 0,614	- 0,393	+ 0,614	+ 0,686	- 0,393
COM	+ 0,376	- 0,114	- 0,291	+ 0,376	+ 0,291	- 0,291	- 0,376	+ 0,291	+ 0,114	- 0,376
COM	+ 0,117	- 0,202	- 0,193	+ 0,117	+ 0,193	- 0,193	- 0,117	+ 0,193	+ 0,202	- 0,117
Σ	+540,855	-735,996	+406,099	-349,111	+483,867	-483,867	+349,111	-406,099	+735,996	-540,855
DM	-466,325	+152,808	+152,808	- 62,419	- 62,419	+ 62,419	+ 62,419	-152,808	-152,808	+466,325
Total	+ 74,530	-583,188	+558,907	-411,53	+421,448	-421,448	+411,53	-558,907	+583,188	- 74,53
M _{lap}	250,546		94,187		157,957		94,187		250,546	

Portal B :

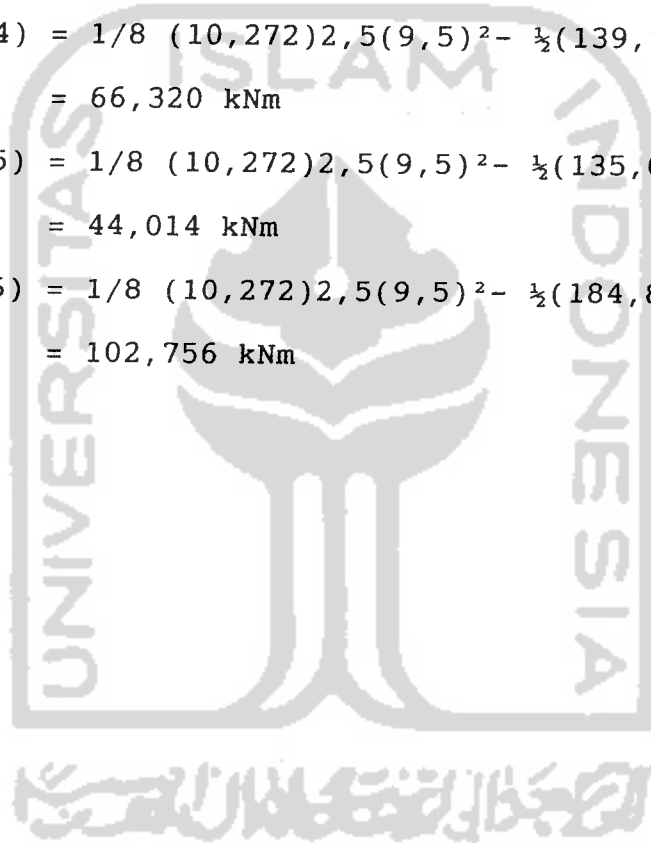
$$\begin{aligned} M_{lap} (1-2) &= 1/8 (10,272)2,5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(74,419+299,474) \\ &= 106,756 \text{ kNm} \end{aligned}$$

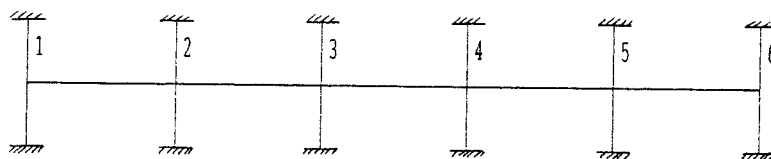
$$\begin{aligned} M_{lap} (2-3) &= 1/8 (10,272)2,5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(171,142+135,078) \\ &= 44,014 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (3-4) &= 1/8 (10,272)2,5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(139,932+139,932) \\ &= 66,320 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (4-5) &= 1/8 (10,272)2,5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(135,078+171,142) \\ &= 44,014 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lap} (5-6) &= 1/8 (10,272)2,5(9,5)^2 - \frac{1}{2}(184,818+ 47,370) \\ &= 102,756 \text{ kNm} \end{aligned}$$





Tabel 4.33. Distribusi Momen Portal B

Joint	1	2		3		4		5		6
Btg	1 - 2	2 - 1	2 - 3	3 - 2	3 - 4	4 - 3	4 - 5	5 - 4	5 - 6	6 - 5
DF	0,7249	0,4201	0,4201	0,4201	0,4201	0,4201	0,4201	0,4201	0,4201	0,7249
COF	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543	0,6543
FEM	+231,299	-231,299	+231,299	-231,299	+231,299	-231,299	+231,299	-231,299	+231,299	-231,299
COM	0	-109,706	0	0	0	0	0	0	+109,706	0
COM	+ 30,155	0	0	+ 30,155	0	0	- 30,155	0	0	- 30,155
COM	0	- 14,303	- 8,289	0	+ 8,289	- 8,289	0	+ 8,289	+ 14,303	0
COM	+ 6,210	0	- 2,278	+ 6,210	+ 2,278	- 2,278	- 6,210	+ 2,278	0	- 6,210
COM	+ 0,626	- 2,945	- 2,333	+ 0,626	+ 2,333	- 2,333	- 0,626	+ 2,333	+ 2,945	- 0,626
COM	+ 1,451	- 0,297	- 0,813	+ 1,451	+ 0,813	- 0,813	- 1,451	+ 0,813	+ 0,297	- 1,451
COM	+ 0,305	- 0,688	- 0,622	+ 0,305	+ 0,622	- 0,622	- 0,305	+ 0,622	+ 0,688	- 0,305
COM	+ 0,360	- 0,145	- 0,255	+ 0,360	+ 0,255	- 0,255	- 0,360	+ 0,255	+ 0,145	- 0,360
COM	+ 0,110	- 0,171	- 0,169	+ 0,110	+ 0,169	- 0,169	- 0,110	+ 0,169	+ 0,171	- 0,110
Σ	+270,516	-359,554	+216,540	-192,082	+246,058	-246,058	+192,082	-216,540	+359,554	-270,516
DM	-196,097	+ 60,080	+ 60,080	- 22,675	- 22,675	+ 22,675	+ 22,675	- 60,080	- 60,080	+196,097
Total	+ 74,419	-299,474	+276,620	-214,757	+223,383	-223,383	+214,757	-276,620	+299,474	- 74,419
M_{lap}	102,756		44,014		66,320		44,014		102,756	

c. Momen negatif rencana

Momen negatif rencana harus diambil pada muka rektilinear tumpuan, tetapi tidak boleh melebihi $0,175 l_1$ dari sumbu kolom ekuivalen.

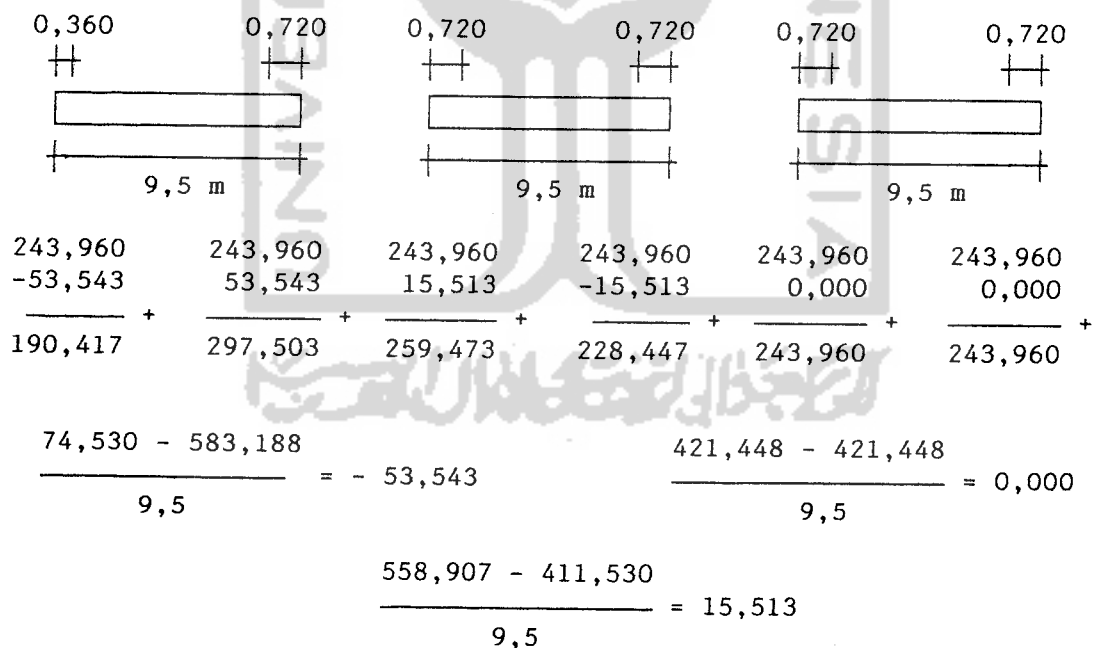
$$\frac{1}{2} (1440) = 720 \text{ mm} < 0,175 (9500) = 1662,5 \text{ mm} \quad - \text{Ok} -$$

Untuk hitungan momen negatif lihat gambar 4.65. (portal A) dan gambar 4.67. (portal B).

Portal A :

$$\text{Beban terbagi merata : } W = W_u \cdot l = 10,272 \cdot 5 = 51,36 \text{ kN/m}$$

$$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 51,36 \cdot 9,5 = 243,960 \text{ kN}$$



Gambar 4.65. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$\begin{aligned} ML_{(1-2)} &= 74,530 - 190,417(0,360) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,360) \frac{1}{2}(0,360) \\ &= 67,854 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(1-2)} &= 583,188 - 297,503(0,720) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ &= 382,298 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(2-3)} &= 558,907 - 259,473(0,720) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ &= 385,399 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MR_{(3-2)} &= 411,530 - 228,447(0,720) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ &= 260,361 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ML_{(3-4)} &= 421,448 - 243,960(0,720) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ &= 259,109 \text{ kNm} \end{aligned}$$

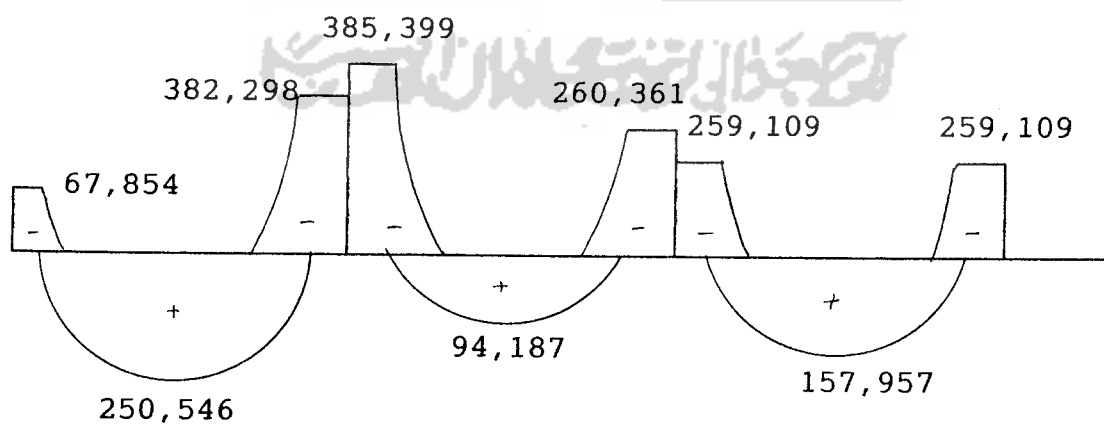
$$\begin{aligned} MR_{(4-3)} &= 421,448 - 243,960(0,720) + (10,272 \cdot 5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ &= 259,109 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$ML_{(4-5)} = 260,361 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 385,399 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 382,298 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 67,854 \text{ kNm}$$

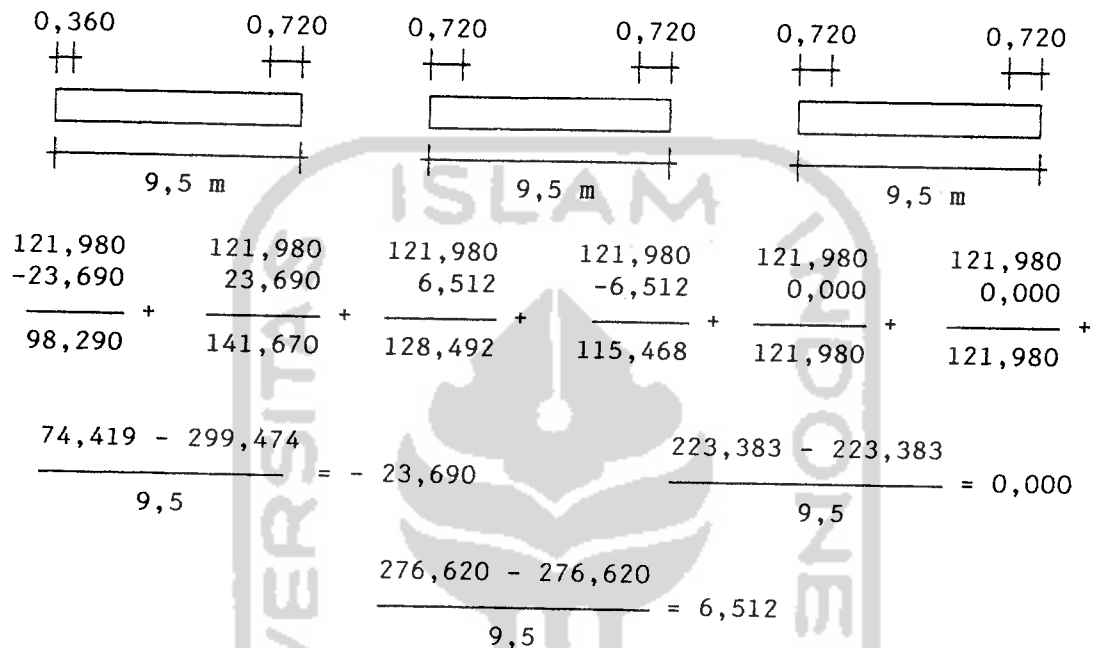


Gambar 4.66. Diagram momen rencana arah longitudinal (satuan : kNm)

Portal B :

Beban terbagi merata : $W = W_u \cdot l = 10,272 \cdot 2,5 = 25,680 \text{ kN/m}$

$R = \frac{1}{2} \cdot W \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 25,680 \cdot 9,5 = 121,980 \text{ kN}$



Gambar 4.67. Free Body Diagram

Momen rencana negatif portal A :

$$ML_{(1-2)} = 74,419 - 98,290(0,360) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,360) \frac{1}{2}(0,360) = 40,699 \text{ kNm}$$

$$MR_{(2-1)} = 299,474 - 145,670(0,720) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) = 201,248 \text{ kNm}$$

$$ML_{(2-3)} = 103,620 - 128,492(0,720) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) = 190,762 \text{ kNm}$$

$$MR_{(3-2)} = 214,757 - 115,468(0,720) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) = 138,276 \text{ kNm}$$

$$ML_{(3-4)} = 223,383 - 121,980(0,720) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) = 142,214 \text{ kNm}$$

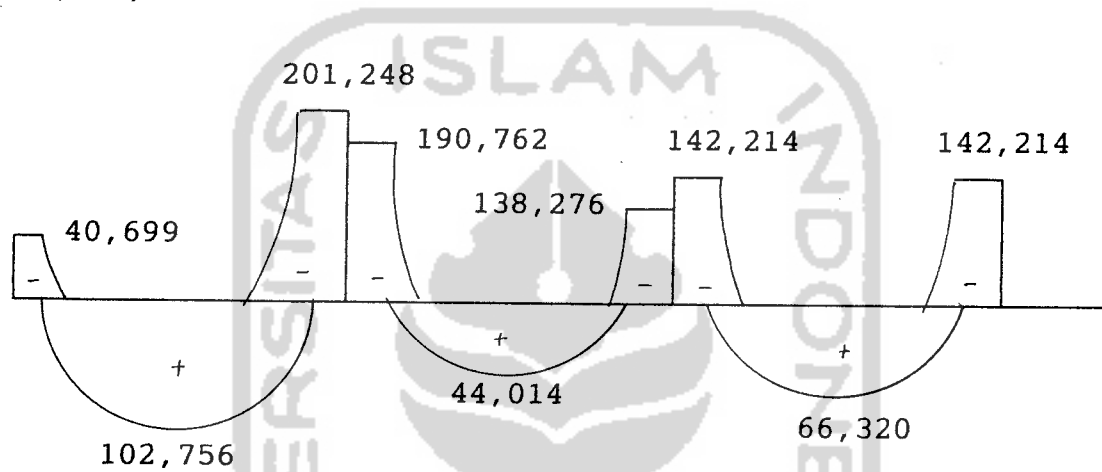
$$MR_{(4-3)} = 223,383 - 121,980(0,720) + (10,272 \cdot 2,5 \cdot 0,720) \frac{1}{2}(0,720) \\ = 142,214 \text{ kNm}$$

$$ML_{(4-5)} = 138,276 \text{ kNm}$$

$$MR_{(5-4)} = 190,762 \text{ kNm}$$

$$ML_{(5-6)} = 201,248 \text{ kNm}$$

$$MR_{(6-5)} = 40,699 \text{ kNm}$$



Gambar 4.68. Diagram momen rencana arah longitudinal
(satuan : kNm)

BAB V

PEMBAHASAN

5.1. Tebal Pelat

Metode Perencanaan Langsung dan Portal ekuivalen kesamaannya terletak pada persyaratan tebal pelat.

Persyaratan tebal pelat terdiri dari persyaratan lendutan dan persyaratan geser. Untuk persyaratan lendutan, lebar balok tepi berpengaruh pada penentuan tebal pelat, makin besar lebar balok makin kecil bentang bersih pelat sehingga tebal pelat semakin kecil. Semakin kecil tebal pelat, kuat geser yang diberikan semakin kecil akibatnya persyaratan geser mungkin tidak dipenuhi bila hal ini terjadi bisa dilakukan dengan mempertebal pelat, atau dengan memperbesar lebar balok tepi.

Pada perancangan pelat cendawan persyaratan tebal pelat dapat dipenuhi dengan adanya "drop panel" dan kepala kolom. Dengan adanya "Drop panel" akan memperkecil bentang bersih pelat. "Drop panel" dan kepala kolom berguna memperbesar kuat geser dari pelat.

5.2. Momen Longitudinal

Metode perencanaan langsung dan portal ekuivalen mempunyai perbedaan pada penentuan momen longitudinal - nya. Pada Metode portal ekuivalen momen-momen yang terjadi dipengaruhi oleh kekakuan kolom ekuivalen. Semakin besar kekakuan kolom maka momen yang timbul akan semakin kecil. Kekakuan kolom ekuivalen sangat dipengaruhi oleh

komponen puntir, pemindahan kekakuan lentur dari pelat ke ujung komponen yang bertemu dengan kolom sehingga efektifitas kolom untuk menahan ujung-ujung pelat akan berkurang, sehingga kekakuan kolom ekuivalen sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya momen yang terjadi.

5.3. Perbandingan Hasil Hitungan

Tabel 5.1. Perbandingan momen longitudinal hasil hitungan Metoda Perencanaan Langsung dengan metoda Portal Ekuivalen pada bentang (5000 x 5000) mm

	Metoda Perencanaan Langsung		Metoda Portal Ekuivalen (MPE)		Persen penyimpangan terhadap MPE	
	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B
ML(1-2)	21,494	10,747	19,255	6,950	11,634	54,633
Mlap	35,823	17,912	38,064	19,406	- 5,887	- 7,699
MR(2-1)	50,152	25,076	60,143	32,069	-16,612	-21,806
ML(2-3)	46,570	23,285	56,309	27,189	-17,296	-14,359
Mlap	25,076	12,538	21,654	9,369	15,803	33,824
MR(3-2)	46,570	23,285	43,675	25,718	6,629	- 9,460
ML(3-4)	46,570	23,285	44,858	22,938	3,816	1,513
Mlap	27,076	12,538	26,788	12,885	- 6,391	- 2,693
MR(4-3)	46,570	23,285	44,858	22,938	3,816	1,513
ML(4-5)	46,570	23,285	43,675	25,718	6,629	9,460
Mlap	25,076	12,538	21,654	9,369	15,803	33,824
MR(5-4)	46,570	23,285	56,309	27,189	-17,296	-14,359
ML(5-6)	50,152	25,076	60,143	32,069	-16,612	-21,806
Mlap	35,823	17,912	38,062	19,407	- 5,887	- 7,699
MR(6-5)	21,494	10,747	19,255	6,950	11,634	54,633

Tabel 5.2. Perbandingan momen longitudinal hasil hitungan Metoda Perencanaan Langsung dengan metoda Portal Ekvivalen pada bentang (6500 x 5000) mm

	Metoda Perencanaan Langsung		Metoda Portal Ekvivalen (MPE)		Persen penyimpangan terhadap MPE	
	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B
ML(1-2)	42,304	21,152	25,311	13,716	67,137	54,214
Mlap	70,506	35,253	93,922	39,619	-24,931	-11,020
MR(2-1)	98,708	49,354	123,148	67,123	-19,846	-26,472
ML(2-3)	91,658	45,829	125,827	65,622	-27,156	-30,162
Mlap	49,354	24,677	43,193	15,492	14,264	59,289
MR(3-2)	91,658	45,829	105,955	44,406	26,914	3,204
ML(3-4)	91,658	45,829	108,960	45,003	25,599	1,835
Mlap	49,354	24,677	52,373	25,503	5,764	- 3,237
MR(4-3)	91,658	45,829	108,960	45,003	25,599	1,835
ML(4-5)	91,658	45,829	105,955	44,406	26,914	3,204
Mlap	49,354	24,677	43,193	15,492	14,265	59,289
MR(5-4)	91,658	45,829	125,827	65,622	-0,472	-30,162
ML(5-6)	98,708	49,354	123,148	67,123	10,395	-26,472
Mlap	70,506	35,253	93,922	39,619	-24,931	-11,020
MR(6-5)	42,304	21,152	25,311	13,716	67,137	54,214

Tabel 5.3. Perbandingan momen longitudinal hasil hitungan Metoda Perencanaan Langsung dengan metoda Portal Ekvivalen pada bentang (8000 x 5000) mm.

	Metoda Perencanaan Langsung		Metoda Portal Ekvivalen (MPE)		Persen penyimpangan terhadap MPE	
	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B
ML(1-2)	72,658	36,329	41,265	23,610	76,077	53,871
Mlap	121,097	60,549	148,375	61,826	-18,384	- 2,065
MR(2-1)	169,536	84,768	217,836	115,968	-22,173	-26,904
ML(2-3)	157,426	78,713	218,458	111,163	27,938	-29,191
Mlap	84,768	42,384	59,034	24,810	43,592	70,834
MR(3-2)	157,426	78,713	147,862	81,410	6,468	-3,313
ML(3-4)	157,426	78,713	147,634	83,109	6,633	-5,289
Mlap	84,768	42,384	94,560	37,988	-10,355	11,572
MR(4-3)	157,426	78,713	147,634	83,109	6,633	-5,289
ML(4-5)	157,426	78,713	147,862	81,410	6,468	-3,313
Mlap	84,768	42,383	59,034	24,810	43,592	70,834
MR(5-4)	157,426	78,713	218,456	111,163	-27,938	-29,191
ML(5-6)	169,536	84,768	217,836	115,968	-22,173	-26,904
Mlap	121,097	60,549	148,375	61,826	-18,484	- 2,065
MR(6-5)	72,658	36,329	41,265	23,610	76,077	53,871

Tabel 5.4. Perbandingan momen longitudinal hasil hitungan Metoda Perencanaan Langsung dengan metoda Portal Ekuivalen pada bentang (9000 x 5000) mm.

	Metoda Perencanaan Langsung		Metoda Portal Ekuivalen (MPE)		Persen penyimpangan terhadap MPE	
	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B	Portal A	Portal B
ML(1-2)	125,120	62,560	67,854	40,699	84,396	53,714
Mlap	208,533	104,267	250,546	102,756	-16,769	1,470
MR(2-1)	291,946	145,973	382,298	201,248	-23,339	-27,466
ML(2-3)	271,093	135,546	385,399	190,762	-29,659	-28,945
Mlap	145,973	72,987	94,187	44,014	54,982	65,827
MR(3-2)	271,093	135,546	260,361	138,276	4,122	-1,974
ML(3-4)	271,093	135,546	259,109	142,214	4,625	-4,689
Mlap	145,973	72,987	157,957	66,320	-7,587	10,053
MR(4-3)	271,093	135,546	259,109	142,214	4,625	-4,689
ML(4-5)	271,093	135,546	260,361	138,276	4,122	-1,974
Mlap	145,973	72,987	94,187	44,014	54,982	65,827
MR(5-4)	271,093	135,546	385,399	190,762	-29,659	-28,945
ML(5-6)	291,946	145,973	382,298	201,248	-23,339	-27,945
Mlap	208,533	104,267	250,546	102,756	-16,769	1,470
MR(6-5)	125,120	62,560	67,854	40,699	84,396	53,714

Dari hasil perbandingan hitungan dengan metode perencanaan langsung dan metode portal ekuivalen dapat diketahui, semakin besar ukuran bentang suatu pelat, maka persentase penyimpangan semakin besar, hal ini disebabkan karena pengambilan muka rektilinear tumpuan semakin besar.

Pada momen lapangan penyimpangan yang terjadi bervariasi, hal ini disebabkan pengambilan muka rektilinear tumpuan atau setengah dari lebar kolom yang bervariasi, karena semakin besar ukuran bentang maka semakin besar dimensi kolom yang digunakan. Semakin besar ukuran suatu bentang maka semakin besar pula momen yang terjadi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Pada perencanaan pelat cendawan dengan metode Perencanaan Langsung dan Portal ekuivalen yang sesuai dengan persyaratan SK SNI-T-15-1991 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kedua metode tersebut mempunyai kesamaan dalam menentukan tebal pelat dan penyebaran momen diarah transversal dengan pembagian jalur kolom dan jalur tengah. Perencanaan pelat cendawan dengan menggunakan metode perencanaan langsung dibandingkan dengan metode portal ekuivalen lebih sederhana dan cepat, tetapi metode portal ekuivalen memberikan hasil yang lebih teliti, dibandingkan dengan metode perencanaan langsung. Hal ini disebabkan pada perencanaan metode portal ekuivalen, pendistribusian momen diperlukan beberapa kali sedangkan dengan metode perencanaan langsung hanya berupa pendekatan dengan satu kali distribusi momen.
2. Perbandingan hasil hitungan momen longitudinal dengan metode perencanaan langsung dan metode portal ekuivalen cukup bervariasi, semakin besar ukuran suatu pelat maka semakin besar persentase penyimpangan yang dihasilkan, hal ini disebabkan karena pengambilan muka rektilinear tumpuan yang semakin besar.

6.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan dari hasil pembahasan dan kesimpulan adalah sebagai berikut :

1. Untuk perencanaan pelat cendawan sebaiknya menggunakan metode portal ekuivalen karena memberikan hasil yang teliti.
2. Ditinjau dari segi kepraktisan dan kesederhanaannya perhitungan pelat cendawan sebaiknya dilakukan dengan memakai metode perencanaan langsung.
3. Perencanaan pelat cendawan yang mempunyai ukuran bentang yang bervariasi sebaiknya dilakukan dengan pemrograman komputer.
4. Hendaknya di dalam silabus mata kuliah perlu diberikan materi tambahan untuk struktur lantai menerus yang didukung langsung oleh kolom-kolom.

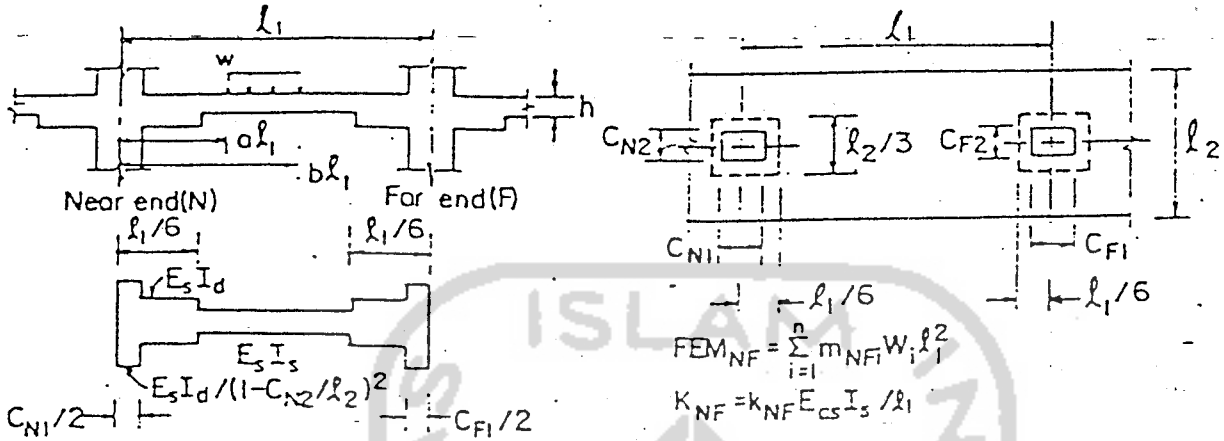
DAFTAR PUSTAKA

1. Yayasan LPMB, Standart SK SNI T-15-1991-03 : Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Bandung : LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI, 1991.
2. Rudolf Szilard, Teori dan Analisis Pelat, Metode Klasik dan Numerik, Erlangga, Jakarta, 1989.
3. Nawy, Edward G, Reinforced Concrete A Fundamental Approach, New Jersey : Prentice - Hall, 1985.
4. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, Desain Beton Bertulang, Binsar Hariangga, Erlangga, Jakarta, 1989.
5. Istimawan Dipohusodo, Struktur Beton Bertulang, Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 DPU RI, Gramedia Jakarta, 1994.
6. ACI, Building Code Requirements for Reinforced Concrete ACI 318 M-83, Detroit : American Concrete Institute, 1983.

LAMPIRAN

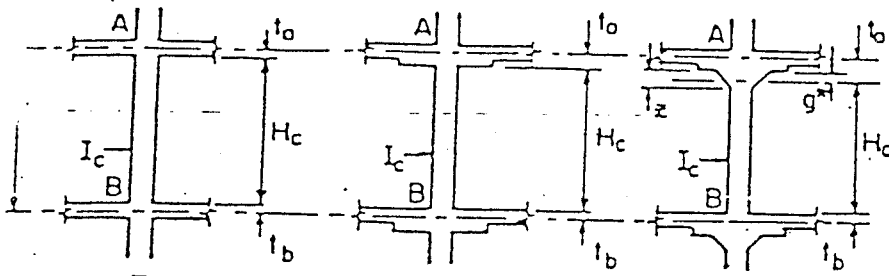


Table A3—Moment Distribution Constants for Slab-Beam Members (Drop thickness = 0.50h)



C_{N1}/l_1	C_{N2}/l_2	Stiffness Factors K_{NF}	Carry Over Factors C_{NF}	Unit. Load Fixed end M. Coeff. (m_{NF})	Fixed end moment Coeff. (m_{NF}) for $(b-a)=0.2$				
					$a=0.0$	$a=0.2$	$a=0.4$	$a=0.6$	$a=0.8$
$C_{F1} = C_{N1}; C_{F2} = C_{N2}$									
0.00	—	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
0.10	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
	0.10	6.04	0.60	0.0936	0.0167	0.0341	0.0282	0.0126	0.0018
	0.20	6.24	0.61	0.0940	0.0170	0.0347	0.0285	0.0125	0.0017
0.20	0.30	6.43	0.61	0.0952	0.0173	0.0353	0.0287	0.0123	0.0016
	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
	0.10	6.22	0.61	0.0942	0.0168	0.0346	0.0285	0.0126	0.0018
0.30	0.20	6.62	0.62	0.0957	0.0172	0.0356	0.0290	0.0123	0.0016
	0.30	7.01	0.64	0.0971	0.0177	0.0366	0.0294	0.0120	0.0014
	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
0.30	0.10	5.37	0.61	0.0947	0.0168	0.0348	0.0287	0.0126	0.0018
	0.20	6.95	0.63	0.0967	0.0172	0.0362	0.0294	0.0123	0.0016
	0.30	7.57	0.65	0.0986	0.0177	0.0375	0.0300	0.0119	0.0014
$C_{F1} = 0.5C_{N1}; C_{F2} = 0.5C_{N2}$									
0.00	—	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
0.10	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
	0.10	6.00	0.60	0.0945	0.0167	0.0343	0.0285	0.0130	0.0020
0.20	0.20	6.16	0.60	0.0962	0.0170	0.0350	0.0291	0.0132	0.0020
	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
0.20	0.10	6.15	0.60	0.0957	0.0169	0.0348	0.0290	0.0131	0.0020
	0.20	6.47	0.62	0.0987	0.0173	0.0360	0.0300	0.0134	0.0020
$C_{F1} = 2C_{N1}; C_{F2} = 2C_{N2}$									
0.00	—	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
0.10	0.00	5.84	0.59	0.0926	0.0164	0.0335	0.0279	0.0128	0.0020
	0.10	6.17	0.60	0.0907	0.0166	0.0337	0.0273	0.0116	0.0015

Table A7—Stiffness and Carry-Over Factors for Columns



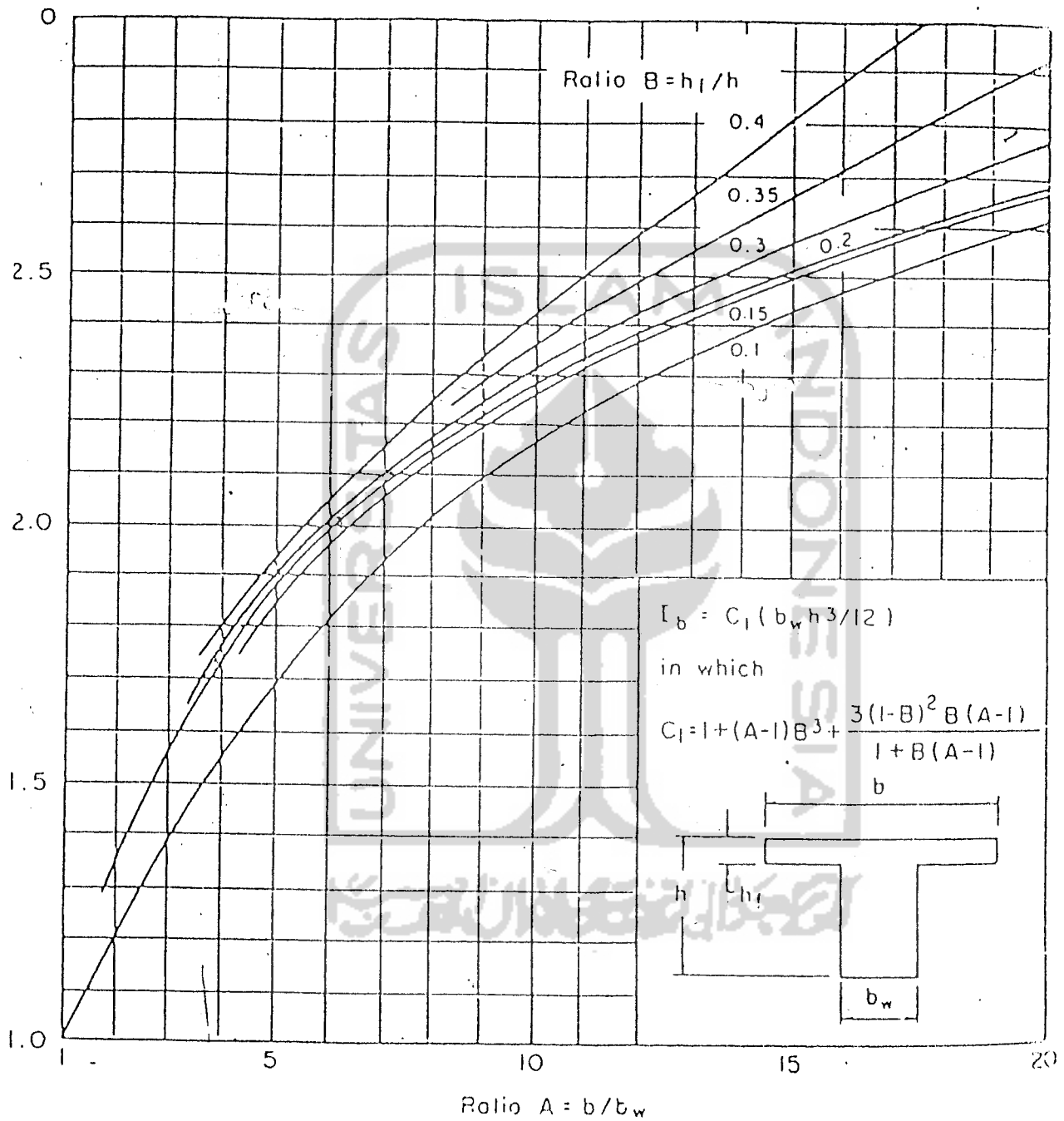
$$K_c = k \frac{EI_c}{H}$$

For values of k_{BA} and c_{BA} read (t_a/t_b) as (t_b/t_a)

*g can be approximated as $z/2$.

t_a/t_b	H/H_c	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
0.00	AAB	4.29	4.48	4.68	4.88	5.08	5.28	5.48	5.68	5.88	6.08
	CAB	0.17	0.61	0.77	0.90	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45
0.2	AAB	4.31	4.62	4.95	5.30	5.65	6.02	6.40	6.79	7.20	7.62
	CAB	0.56	0.62	0.68	0.74	0.80	0.85	0.91	0.96	1.01	1.07
0.4	AAB	4.38	4.79	5.22	5.67	6.15	6.65	7.18	7.74	8.32	8.94
	CAB	0.55	0.60	0.65	0.70	0.74	0.79	0.83	0.87	0.91	0.94
0.6	AAB	4.44	4.91	5.42	5.96	6.54	7.15	7.81	8.50	9.23	10.01
	CAB	0.55	0.59	0.63	0.67	0.70	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85
0.8	AAB	4.49	5.01	5.56	6.19	6.85	7.56	8.31	9.12	9.96	10.89
	CAB	0.54	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.72	0.75	0.77	0.79
1.0	AAB	4.52	5.09	5.71	6.38	7.11	7.89	8.73	9.63	10.60	11.62
	CAB	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.69	0.71	0.73	0.74
1.2	AAB	4.55	5.16	5.82	6.54	7.32	8.17	9.08	10.07	11.12	12.25
	CAB	0.53	0.56	0.59	0.61	0.63	0.65	0.66	0.68	0.69	0.70
1.4	AAB	4.58	5.21	5.91	6.68	7.51	8.41	9.38	10.43	11.57	12.78
	CAB	0.53	0.55	0.58	0.60	0.61	0.63	0.64	0.65	0.66	0.67
1.6	AAB	4.60	5.26	5.99	6.79	7.66	8.61	9.64	10.75	11.95	13.24
	CAB	0.53	0.55	0.57	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.65
1.8	AAB	4.62	5.30	6.06	6.89	7.80	8.79	9.87	11.03	12.29	13.65
	CAB	0.52	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.61	0.61	0.62	0.63
2.0	AAB	4.63	5.34	6.12	6.96	7.92	8.94	10.06	11.27	12.59	14.00
	CAB	0.52	0.54	0.56	0.57	0.58	0.59	0.59	0.60	0.60	0.61
2.2	AAB	4.65	5.37	6.17	7.05	8.02	9.08	10.24	11.49	12.85	14.31
	CAB	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59
2.4	AAB	4.66	5.40	6.22	7.12	8.11	9.20	10.39	11.65	13.08	14.60
	CAB	0.52	0.53	0.55	0.56	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.58
2.6	AAB	4.67	5.42	6.26	7.18	8.20	9.31	10.53	11.86	13.29	14.85
	CAB	0.52	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57
2.8	AAB	4.68	5.44	6.29	7.23	8.27	9.41	10.66	12.01	13.48	15.07
	CAB	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56
3.0	AAB	4.69	5.46	6.33	7.28	8.34	9.50	10.77	12.15	13.65	15.26
	CAB	0.52	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
3.2	AAB	4.70	5.48	6.36	7.33	8.40	9.58	10.87	12.28	13.81	15.47
	CAB	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
3.4	AAB	4.71	5.50	6.38	7.37	8.46	9.65	10.97	12.40	13.95	15.64
	CAB	0.51	0.52	0.53	0.53	0.54	0.54	0.54	0.53	0.53	0.53
3.6	AAB	4.71	5.51	6.41	7.41	8.51	9.72	11.05	12.51	14.09	15.80
	CAB	0.51	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52
3.8	AAB	4.72	5.53	6.43	7.44	8.56	9.78	11.13	12.60	14.21	15.95
	CAB	0.51	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52
4.0	AAB	4.72	5.54	6.45	7.47	8.60	9.84	11.21	12.70	14.32	16.08
	CAB	0.51	0.52	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51
4.2	AAB	4.73	5.55	6.47	7.50	8.64	9.90	11.27	12.78	14.42	16.20
	CAB	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51
4.4	AAB	4.73	5.56	6.49	7.53	8.68	9.95	11.34	12.86	14.52	16.32
	CAB	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50
4.6	AAB	4.74	5.57	6.51	7.55	8.71	9.99	11.40	12.93	14.61	16.43
	CAB	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50
4.8	AAB	4.74	5.58	6.53	7.58	8.75	10.03	11.45	13.00	14.69	16.53
	CAB	0.51	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49
5.0	AAB	4.75	5.59	6.54	7.60	8.78	10.07	11.50	13.07	14.77	16.62
	CAB	0.51	0.51	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49
6.0	AAB	4.76	5.63	6.60	7.69	8.90	10.24	11.72	13.27	15.10	17.02
	CAB	0.51	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.47
7.0	AAB	4.78	5.66	6.65	7.76	9.00	10.37	11.88	13.54	15.35	17.32
	CAB	0.51	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46
8.0	AAB	4.78	5.68	6.69	7.82	9.07	10.47	12.01	13.70	15.54	17.56
	CAB	0.51	0.51	0.50	0.50	0.49	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45
9.0	AAB	4.79	5.69	6.71	7.86	9.13	10.55	12.11	13.83	15.70	17.74
	CAB	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.45
10.0	AAB	4.80	5.71	6.74	7.89	9.18	10.61	12.19	13.93	15.83	17.90
	CAB	0.50	0.50	0.50	0.49	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44

efisien C_t untuk menghitung momen inersia pelat-balok



Gideon, 1993