

TUGAS AKHIR

KOMPARASI DESAIN PENULANGAN FLAT SLAB DAN WAFFLE SLAB PADA STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT

Nama : Kusnita
No. Mhs. : 92 310 179
Nirm. : 920051013114120179

Nama : Azria Murini
No. Mhs. : 92 310 315
Nirm. : 920051013114120314

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Mochammad Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I

Ir. Ilman Noor, MSCE

Dosen Pembimbing II

Tanggal :

Tanggal :

20-12-197

MOTTO

Kepunyaan Allah-lah segala apa yang ada di langit dan di bumi.

Dan jika kamu melahirkan apa yang ada di dalam hatimu atau kamu menyembunyikannya, niscaya Allah akan membuat perhitungan dengan kamu tentang perbuatanmu itu. Maka Allah mengampuni siapa yang dikehendaki-Nya dan menyiksa siapa yang dikehendaki-Nya dan Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu.

(Al – Baqoroh : 284)

Ya Rob kami, janganlah Engkau jadikan hati kami condong kepada kesesatan sesudah Engkau memberi petunjuk kepada kami, dan karuniakanlah kami rahmat dari sisi Engkau , karena sesungguhnya Engkau-lah Al-Wahab

(Ali ‘imron : 8)

Ada dua nikmat yang sering kebanyakan mausia tertipu tentangnya (melupakannya), yaitu waktu sehat dan waktu luang

(Shohih Bukhori)

Apabila engkau melihat seorang berilmu mencintai dunia, maka curigailah dia mengenai agamanya ! karena setiap orang yang mencintai sesuatu akan menyibukkan diri dengan apa yang dicintainya itu

(Umar Bin Khothob ra)

Untuk Orang – orang yang terdekat di hati

Kedua Orang Tua
Kakak-kakak dan Adik-adik

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohiim,

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Alhamdulillahirobil'alamiin, segala puji bagi Allah yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Salam dan rahmat juga semoga dilimpahkan Allah kepada Rasulullah Sholallahu'alaihi wa Salam, keluarga beliau, para sahabat dan kaum muslimin yang tetap berpegang teguh di jalannya sampai yaumul qiyamah.

Tugas akhir ini yang berjudul "**Komparasi Desain Penulangan *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Struktur Bangunan Bertingkat**", disusun untuk melengkapi syarat memperoleh jenjang kesarjanaan Strata Satu (S₁) pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak mendapat bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Susastrawan, MS., sebagai Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE., Sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Bapak Ir. Mochammad Teguh, MSCE., sebagai Dosen Pembimbing I.

4. Bapak Ir. Ilman Noor, MSCE., sebagai Dosen Pembimbing II.
5. Kedua Orang Tua yang sangat kami cintai, yang telah mengasihi dan menyayangi kami, semoga Allah memberikan rahmat dan hidayah kepada mereka berdua.
6. Kakak-kakak dan Adik-adik yang kami sayangi, terima kasih atas dorongan morilnya
7. Akhwat Ash-Shofiyah, terima kasih atas doanya.
8. Ifah, Nana, Lia, Kak Erni, Isti dan Wulan serta de'Tanti, terima kasih atas bantuan dan semangatnya.
9. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata, semoga Allah menbalas kebaikan mereka dan semoga penulisan tugas akhir ini bermanfaat bagi kami pada khususnya dan bagi siapa saja yang memerlukan.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh.

Yogyakarta, Desember 1997

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Dengan semakin banyak pembangunan gedung-gedung bertingkat, menuntut para perencana untuk memiliki keahlian dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan suatu gedung, sehingga dapat dihasilkan suatu bangunan gedung bertingkat yang sesuai dengan fungsi bangunan dan memenuhi syarat keamanan, kenyamanan serta mudah dalam pelaksanaannya. Perencanaan pembangunan suatu gedung dapat menggunakan struktur baja komposit, beton prategang dan beton bertulang. Di antara jenis-jenis struktur tersebut, yang banyak dipilih oleh perencana adalah struktur beton bertulang, karena banyak keuntungan yang dapat diberikan, yaitu bentuk yang dapat menyesuaikan dengan keperluan, daya tahan yang tinggi, tahan terhadap api, kecepatan pelaksanaan konstruksi, keuntungan dalam segi biaya, dan kemudahan persediaan tenaga kerja serta material.

Struktur bangunan gedung terdiri dari pondasi, kolom, balok dan pelat. Salah satu yang termasuk komponen utama struktur bangunan adalah pelat. Pelat adalah suatu bagian struktur beton yang merupakan sebuah bidang datar yang lebar, biasanya mempunyai arah horisontal, dengan permukaan bawah dan atasnya sejajar atau mendekati sejajar. Pelat biasanya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang, oleh

dinding pasangan batu atau dinding beton bertulang, oleh batang-batang struktur baja, secara langsung dengan kolom-kolom atau tertumpu secara menerus oleh tanah. Pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah dan pelat dua arah. Pelat direncanakan satu arah jika perbandingan sisi panjang dan sisi pendek ≥ 2 . Jika pelat ini dibebani, hampir semua beban lantai menuju sisi panjang pelat dan hanya sebagian kecil yang menuju ke sisi pendek pelat, sehingga hanya diberi tulangan utama yang sejajar dengan sisi pendek pelat. Pelat direncanakan dua arah jika perbandingan sisi panjang dan sisi pendek < 2 , jika pelat ini dibebani akan terjadi momen pada kedua arah utamanya sehingga untuk memikul momen-momen tersebut harus diberi tulangan pada kedua arahnya. Jenis-jenis yang termasuk sistem lantai dua arah adalah pelat dua arah *two way slab*, pelat cendawan *flat slab*, pelat datar *flat plate* dan Pelat berusuk dengan struktur lantai cendawan *waffle slab*.

Dalam perencanaan suatu gedung pemilihan dan pemakaian struktur pelat harus diperhatikan, agar dihasilkan suatu gedung yang sesuai dengan fungsinya. Untuk gedung yang memerlukan ruangan yang luas, misalnya hotel, rumah sakit, apartemen, perkantoran, dan sebagainya, pemakaian struktur pelat dengan balok yang dicor secara monolit *two way slab* akan memberikan kesan ruangan yang sempit. Pemilihan dan pemakaian struktur yang paling tepat untuk jenis-jenis gedung tersebut adalah struktur pelat tanpa balok. Dengan tidak adanya balok-balok, maka ketinggian gedung-gedung bertingkat akan berkurang, jendela-jendela dapat dibuat sampai sisi bawah pelat dan tidak menghalangi masuknya cahaya dan sirkulasi udara.

Struktur pelat tanpa balok mempunyai tegangan geser yang besar di sekitar kolom, sehingga dibutuhkan tulangan tambahan pada daerah ini. Untuk mengurangi tegangan geser dan penambahan jumlah tulangan, maka diberikan penambahan tebal pada bagian lantai dan penambahan besar penampang pada bagian atas kolom. Penambahan tersebut masing-masing disebut *drop panel* dan *column capital*. Struktur dengan *drop panel* dan *column capital* ini disebut struktur lantai cendawan. Jenis-jenis yang termasuk struktur lantai cendawan adalah *flat slab* dan *waffle slab*. *Flat slab* adalah struktur lantai cendawan dengan pelat yang datar. *Waffle slab* adalah struktur lantai cendawan dengan membuat rongga-rongga *joist* pada bagian tertentu pelat untuk mengurangi sebagian besar beban mati. Sebagian besar beban mati yang dihilangkan berada di daerah tarik yang tidak efektif, sehingga lantai yang lebih ringan ini mempunyai karakteristik yang sama bila dibandingkan dengan lantai yang masif. *joist* pada *waffle slab* ini merupakan pengembangan dari balok beton konvensional. Pembuatan balok dapat direncanakan tanpa menggunakan tulangan geser, sehingga dimensi balok pada bagian tertentu yang mengalami geser diperbesar, tetapi dimensi *joist* harus memenuhi persyaratan SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.1.11.

Rongga-rongga pada *waffle slab* akan berbentuk persegi-persegi jika dilihat dari bagian bawah lantai atau atap, sehingga dapat digunakan untuk pencahayaan dan ventilasi serta dapat menjadi plafon yang indah dan artistik. Untuk menahan momen lentur, penulangan *waffle slab* diberikan pada pelat dan *joist*, sedangkan pada *flat slab* penulangan diberikan pada daerah lapangan dan tumpuan pelat. Dalam hal acuan

terbentuknya rongga-rongga pada *waffle slab* tidak ekonomis jika dibandingkan dengan *flat slab*, tetapi akan lebih menguntungkan jika dilihat dari segi arsitektural.

1. 2. Keaslian Judul

Berdasarkan pengamatan, topik pembahasan dan judul tugas akhir ini belum pernah dibahas oleh mahasiswa lain .

1. 3. Tujuan

Tujuan topik pembahasan tugas akhir ini adalah mengadakan perbandingan penulangan antara *flat slab* dan *waffle slab* yang kedua-duanya merupakan struktur lantai cendawan dengan memakai metode koefisien momen, Tujuan lain adalah untuk membandingkan kapasitas lentur *flat slab* dan *waffle slab* pada struktur lantai cendawan.

1. 4. Batasan Masalah

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

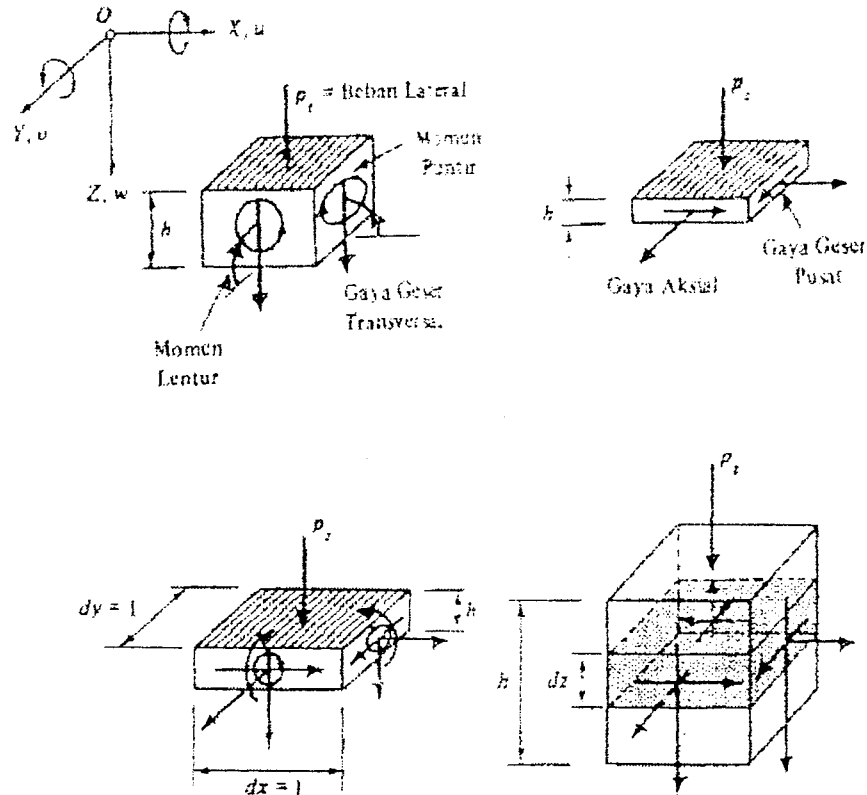
1. Jenis struktur yang digunakan berupa sistem pelat lantai berbentuk persegi empat dengan perbandingan sisi panjang dan sisi pendek kurang dari dua.
2. Jenis kolom yang digunakan berbentuk lingkaran pada bagian luar dan persegi pada bagian dalam.

3. Beban yang diterima hanya beban mati dan beban hidup.
4. Struktur kolom bangunan menggunakan *drop panel* (penambahan tebal pada bagian lantai).
5. Struktur kolom bangunan menggunakan *column capital* (penambahan besar penampang pada bagian atas kolom).

1. 5. Metode Studi

Metode yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah studi pustaka, yaitu merangkum teori dari berbagai pustaka yang membahas mengenai permasalahan di atas. Metode yang dipakai untuk membandingkan penulangan *Flat slab* dan *waffle slab* adalah metode pendekatan koefisien momen dengan mengacu pada SK SNI-T-15-1991-03.

4. Pelat tebal : merupakan pelat yang kondisi tegangan dalamnya menyerupai kondisi kontinu tiga dimensi.

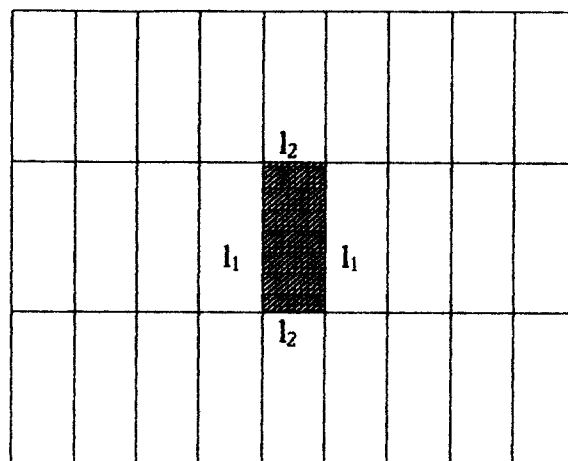


Gambar 2. 1. Aksi Struktural Pelat

2. 1. 1. Pelat Satu Arah

Struktur pelat satu arah adalah sistem pelat yang mempunyai perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek ≥ 2 . Jika struktur ini dibebani maka hampir semua beban menuju sisi panjang pelat (l_1) dan hanya sebagian kecil yang

sisi pendek pelat (l_2), sehingga penulangan diberikan sejajar dengan sisi pendek (l_2) pelat. Penulangan yang sejajar dengan sisi panjang (l_1) pelat diberikan untuk menahan tegangan-tegangan yang terjadi akibat penyusutan dan perubahan temperatur (Winter dan Nilson, 1993).



Gambar 2. 2. Pelat Satu Arah

Jenis-jenis pelat satu arah yang biasa dipakai dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Winter dan Nilson, 1993) :

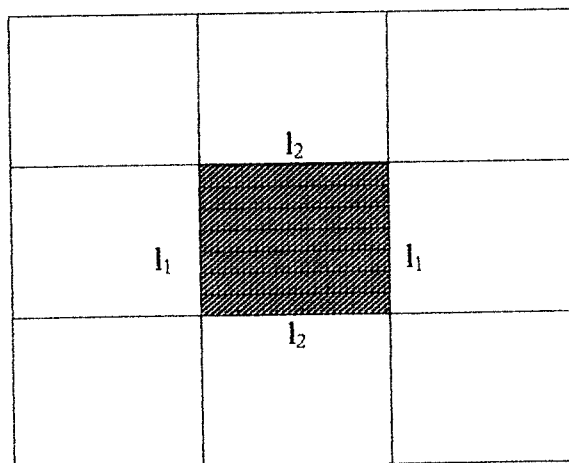
1. Pelat monolit satu arah

- a. Pelat yang disokong oleh girder-girder dan gelagar-gelagar beton yang monolit.
- b. Pelat yang disokong oleh gelagar-gelagar baja (untuk mendapatkan aksi komposit yang baik, perlu dipakai pasak geser).

- c. Pelat dengan lantai baja ringan yang berfungsi sebagai cetakan dan tulangan bagi beton.
2. Pelat dengan rusuk satu arah (lantai beton joist).
3. Sistem pracetak, termasuk gelagar-gelagar atau pelat pracetak atau kedua-duanya

2. 1. 2. Pelat Dua Arah

Struktur pelat dua arah adalah struktur pelat yang perbandingan antara bentang panjang (l_1) dan bentang pendek (l_2) < 2 . Jika pelat ini dibebani maka akan melengkung menyerupai permukaan pinggan dalam kedua arah utamanya, dan karena besar momen lentur sebanding dengan besar kelengkungannya, berarti pada kedua arah tersebut juga terdapat momen lentur. Untuk memikul momen-momen ini pelat tersebut harus diberikan tulangan pada kedua arahnya (l_1 dan l_2) (Winter dan Nilson, 1993).



Gambar 2. 3. Pelat Dua Arah

Jenis-jenis sistem lantai dua arah dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Struktur pelat dengan balok-balok

Merupakan pelat lantai dua arah dengan adanya balok-balok sepanjang garis kolom dalam maupun luar.

2. Struktur tidak dengan balok-balok

a. *Flat Slab*

Merupakan pelat lantai yang mempunyai kekuatan geser yang cukup dengan adanya dua hal berikut :

- *Drop panel* (pertambahan tebal pelat di daerah kolom)
- *Column capital* (pelebaran yang mengecil dari ujung kolom atas)

b. *Flat Plate*

Merupakan pelat lantai yang langsung ditumpu oleh kolom-kolom

c. *Waffle Slab*

Merupakan pelat yang dibuat dengan membuat rongga-rongga sehingga pada bagian bawah dari lantai atau atap terlihat bentuk persegi-persegi.

2. 2. *Flat Slab*

Menurut Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1985 *Flat slab* dicirikan oleh tidak adanya balok-balok sepanjang garis kolom dalam, namun balok-balok tepi-tepi luar lantai boleh jadi ada atau tidak ada. Pelat Cendawan mempunyai kekuatan geser yang cukup dengan adanya *drop panel* penambahan tebal pelat didalam daerah kolom dan *column capital* pelebaran yang mengecil dari ujung kolom atas. Menurut Phil M.

Ferguson, 1984 *flat slab* adalah suatu pelat beton yang diperkuat dalam dua arah sedemikian sehingga meneruskan bebannya secara langsung ke kolom-kolom yang mendukungnya.

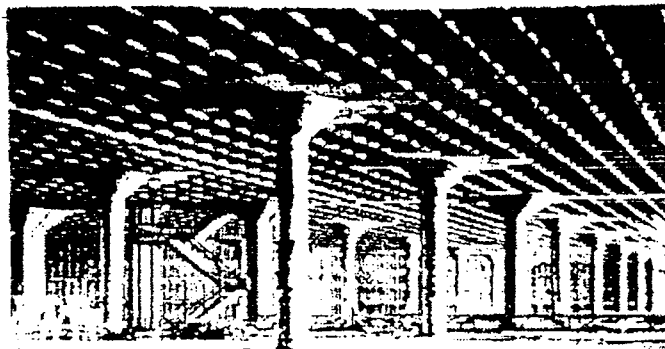


Gambar 2.4. Flat Slab

2. 3. *Waffle Slab*

Menurut Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon *waffle slab* adalah konstruksi lantai dua arah yang terdiri dari rusuk-rusuk *joist* yang ditempatkan dengan jarak yang beraturan dan dicor monolit dengan pelat lantai atas dan dipasang dua arah atau struktur pelat dua arah tanpa balok dengan pelat yang berlubang untuk mengurangi sebagian beban mati dengan penipisan yang dilakukan dengan jalan menggunakan pengisi

Ferguson *waffle slab* pada hakekatnya suatu sistem pelat seperti balok lantai yang saling tegak lurus. Menurut George Winter dan Arthur H. Nilson *Waffle slab* pelat berususuk dua arah adalah struktur pelat dengan permukaan yang berbentuk persegi-persegi jika dilihat dari bawah lantai atau atap. Persegi-persegi ini dibentuk dengan membuat rongga-rongga pada bagian tertentu pelat untuk menghilangkan sebagian besar beban mati yang tidak efektif. Di dekat daerah kolom bentuk-bentuk kubah dihilangkan, sehingga di daerah tersebut terbentuk suatu pelat masif dengan daya pikul yang lebih baik dalam mengatasi lentur negatif dan gaya geser yang besar. Rongga-rongga ini dibentuk dengan memakai cetakan-cetakan baja yang berbentuk kubah, yang kemudian diambil apabila pelat beton telah mengeras. Rongga-rongga yang terbentuk dapat dipadukan dengan pelat-pelat dua arah yang ditunjang dengan gelagar-gelagar maupun dengan lantai atau pelat cendawan.



Gambar 2. 5. *Waffle Slab*

Berdasarkan definisi di atas, maka perencanaan *Waffle slab* terdiri dari :

1. perencanaan struktur pelat dengan metode pendekatan koefisien momen
2. perencanaan balok rusuk *joist* yang terdiri dari :
 - a. perencanaan balok T pada daerah momen positif
 - b. perencanaan balok persegi pada daerah momen negatif

2. 4. Persyaratan Teknis Pelat

Di dalam menentukan distribusi momen di arah longitudinal, harus dipenuhi beberapa persyaratan tertentu untuk tebal pelat dan ukuran balok tepi, kepala kolom, dan penebalan pelat pada kepala kolom.

2. 4. 1. Persyaratan Tebal Pelat

Peraturan SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.2.5 butir 3 memberikan persyaratan tebal minimum yang dapat digunakan dalam perencanaan sistem lantai dua arah dalam pengendalian lendutan sebagai berikut :

1. Tebal minimum pelat tanpa balok *interior* yang menghubungkan tumpuan tumpuannya harus memenuhi ketentuan-ketentuan dari tabel 2.1 dan tidak boleh kurang dari :
 - a. pelat tanpa penebalan *drop panel* \longrightarrow $t = 120$ mm
 - b. pelat dengan penebalan *drop panel* \longrightarrow $t = 100$ mm
2. Tebal pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan butir 3 dan 4 dan tidak boleh kurang dari nilai yang didapat dari

$$h = \frac{\ln \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left[1 + \frac{1}{\beta} \right] \right]} \dots\dots\dots (2. 1.)$$

tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2. 2.)$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h = \frac{\ln \left[0,8 + \frac{f_y}{1500} \right]}{36} \dots\dots\dots (2. 3.)$$

dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari harga berikut :

$$\text{untuk } \alpha_m < 2,0 \quad \longrightarrow \quad t = 120 \text{ mm}$$

$$\text{untuk } \alpha_m \geq 2,0 \quad \longrightarrow \quad t = 90 \text{ mm}$$

3. Untuk pelat tanpa balok, tetapi dengan penebalan menjorok dalam setiap arah dari garis pusat tumpuan sejarak tidak kurang dari seperenam dari panjang bentang dalam arah tersebut diukur sumbu ke sumbu dari tumpuan, dan suatu proyeksi di bawah pelat, paling sedikit seperempat tebal pelat sesudah jatuhnya panel (gambar 2. 6.), ketentuan tebal pelat yang ditetapkan di atas boleh dikurangi sebesar 10 persen.

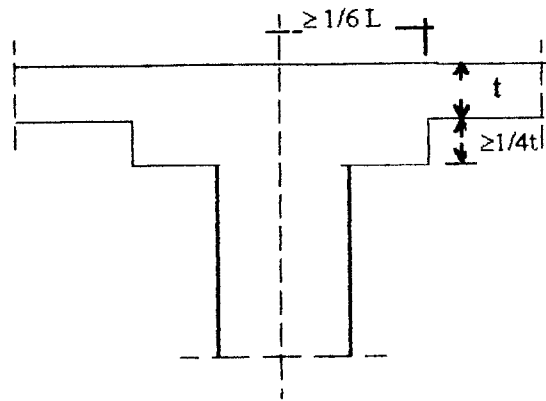
Tabel 2.1. Tebal Minimum dari Pelat Tanpa Balok Interior (SK SNI-T-15-1991-03).

Tegangan leleh Fy' (MPa)	Tanpa penebalan*			Dengan penebalan*		
	Panel exterior		Panel interior	Panel exterior		Panel interior
	Balok pinggir			Balok pinggir		
	ya	tidak**		ya	tidak**	
300	ln/33	ln/36	ln/36	ln/36	ln/40	ln/40
400	ln/30	ln/33	ln/33	ln/33	ln/36	ln/36

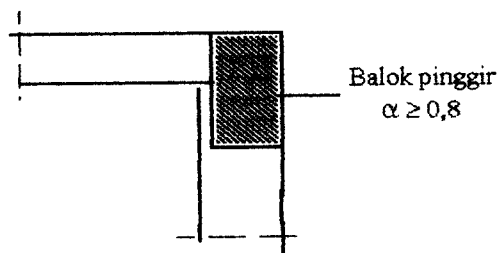
* Untuk tulangan dengan tegangan leleh diantara 300 Mpa dan 400 Mpa digunakan interpolasi linier.

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

4. Pada pinggiran yang tidak menerus harus disediakan suatu balok pinggir dengan suatu rasio kekakuan α tidak kurang dari 0,8, atau pada bagian panel dengan suatu bagian pinggir yang tidak menerus (Gambar 2.7). Tebal minimum yang ditetapkan diatas harus ditambah paling sedikit 10 persen.
5. Pelat dengan tebal kurang dari tebal minimum yang ditetapkan dalam butir 1 dan 2 boleh digunakan bila ditunjukkan dengan perhitungan bahwa lendutan yang terjadi tidak melebihi batas lendutan yang ditetapkan dalam tabel 2.2. Lendutan tersebut harus dihitung dengan memperhitungkan pengaruh dari ukuran dan bentuk panel, kondisi dari tumpuan, dan keadaan tahanan pada pinggir panel.



Gambar 2. 6. Persyaratan Penebalan Pelat pada Pelat Tanpa Balok



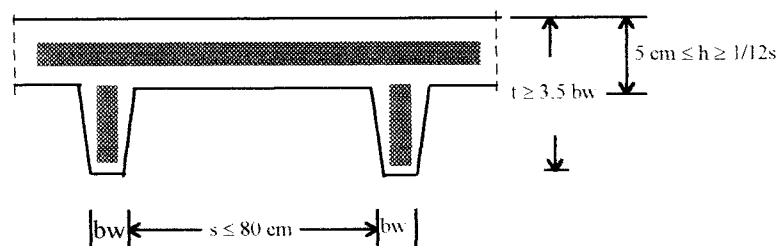
Gambar 2. 7. Persyaratan Rasio Kekakuan pada Balok Pinggir

Tabel 2.2. Lendutan Izin Maksimum (SK SNI-T-15-1991-03) ¹⁾

Tipe komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	batas lendutan
Atap datar tidak menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar	lendutan akibat beban hidup (L)	l/180
Lantai tidak menahan atau berhubungan dengan komponen non struktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar	lendutan akibat beban hidup (L)	l/360
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin rusak akibat lendutan yang besar		l/480
Konstruksi atap atau lantai yang menahan atau berhubungan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak rusak akibat lendutan yang besar		lS/240

Peraturan SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.1.11 mengenai persyaratan tebal pelat, lebar rusuk, tebal rusuk serta jarak antar rusuk pada konstruksi pelat berusuk dua arah atau *waffle slab* lihat gambar 2.8. harus sesuai dengan butir-butir berikut ini.

1. Rusuk harus mempunyai lebar minimum 100 mm dan harus mempunyai tebal tidak kurang dari 3,5 kali lebar minimumnya,
2. Jarak bersih antar rusuk tidak boleh melebihi 800 mm.
3. Apabila *waffle slab* menggunakan acuan yang dapat dilepaskan, maka :
 - a. Tebal pelat tidak boleh kurang dari seperduabelas jarak bersih antar rusuk,
 - b. Tebal pelat tidak boleh kurang dari 50 mm.



Gambar 2. 8. Tampang pelat berusuk dua arah *waffle slab*

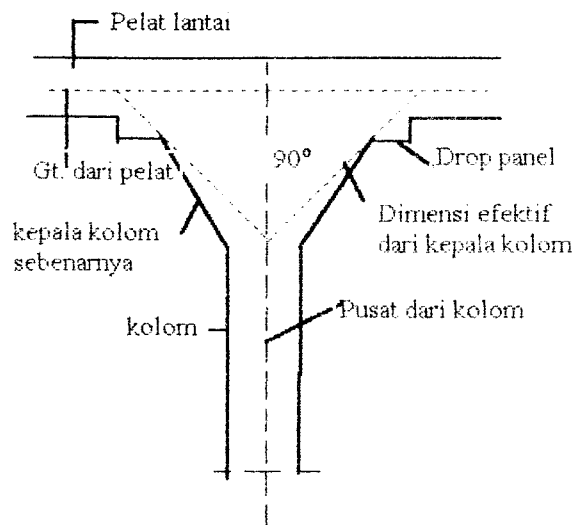
2. 4. 2. Persyaratan Kepala Kolom dan Pertebalan Pelat

Kepala kolom yang digunakan dalam konstruksi *flat slab* dan *waffle slab* merupakan perbesaran kolom bagian atas pada pertemuan dengan pelat lantai. Oleh karena tidak menggunakan balok-balok, maka tujuan dari kepala kolom adalah untuk

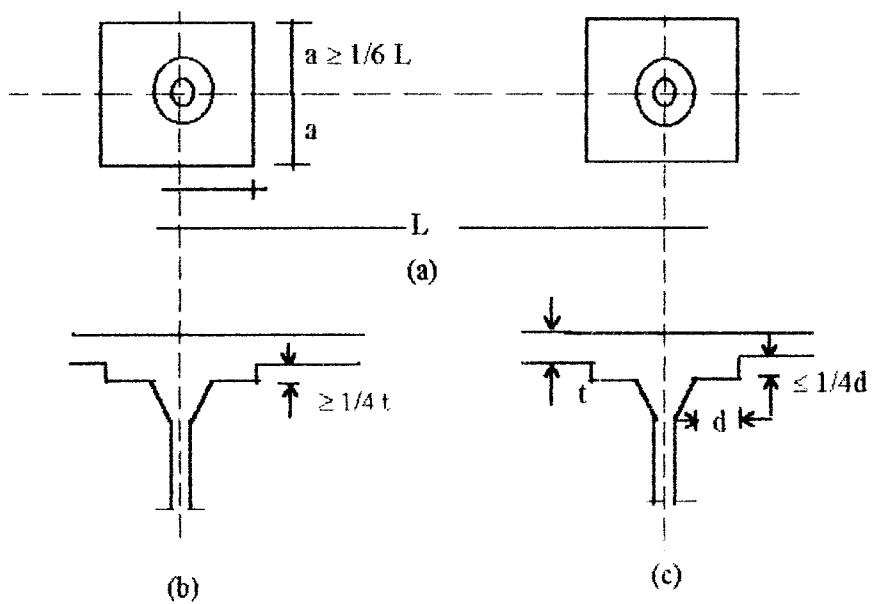
mendapatkan penambahan keliling sekitar kolom untuk memindahkan geser dari beban lantai dan untuk menambah tebal dengan berkurangnya perimeter didekat kolom. Dengan memisalkan garis maksimum 45° untuk distribusi geser ke kolom, ACI-13.1.2. mensyaratkan bahwa kepala kolom efektif untuk pertimbangan kekuatan agar berada di dalam kerucut bulat terbesar, piramida, atau baji yang mengecil (*topered wedge*) dengan puncak 90° yang dapat diikutkan dalam cakupan dari elemen pendukung yang sebenarnya. Garis tengah dari kepala kolom biasanya sekitar 20% sampai 25% dari bentang rata-rata di antara kolom-kolom, lihat gambar 2. 9. (Wang,1985).

Pertebalan pelat *drop panel* bermanfaat untuk mengurangi jumlah tulangan momen negatif yang melewati kolom dari suatu pelat datar. Ukuran dari pertebalan pelat menurut SK SNI-T-15-1991-03, pasal 3.6.4 butir 7. adalah sebagai berikut :

1. Pada setiap arah, pertebalan pelat harus menjorok dari garis sumbu perletakan sejarak tidak kurang dari seperenam panjang bentang yang diukur dari sumbu ke sumbu perletakan dalam arah tersebut, lihat gambar 2. 10. (a).
2. Proyeksi pertebalan panel di bawah pelat paling tidak harus berukuran seperempat dari tebal pelat yang berada diluar penurunan panel tersebut, lihat gambar 2. 10.(b).
3. Dalam menghitung tulangan pelat yang diperlukan, tebal pertebalan panel dibawah pelat tidak boleh diasumsikan lebih besar dari seperempat dari jarak antara tepi pertebalan panel sampai tepi kolom atau kepala kolom, lihat gambar 2. 10. (c).



Gambar 2.9. Dimensi efektif dari kepala kolom, (Wang, 1985)



Gambar 2.10. Persyaratan pertebalan pelat (*drop panel*)

BAB III

PERENCANAAN PELAT BETON

3. 1. Tinjauan Umum Perencanaan

Perencanaan sistem pelat dua arah menurut SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.6.3 boleh direncanakan dengan sembarang prosedur yang memenuhi ketentuan keseimbangan dan kompatibilitas geometris asal dapat diperlihatkan dengan memperhatikan persyaratan kuat perlu dan kuat rencana, bahwa kuat rencana dari setiap penampang paling sedikit sama dengan kuat perlu dan ketentuan laik pakai termasuk ketentuan batas untuk lendutan dipenuhi.

Metode dasar di dalam perencanaan sistem pelat dua arah mencakup khayalan atas pemotongan bidang vertikal dari seluruh bangunan sepanjang garis tengah antara kolom-kolom. Pemotongan menghasilkan beberapa portal yang melebar diantara garis-garis tengah dari dua panel yang berdekatan seperti pada gambar 3.1. Bidang vertikal memotong seluruh segiempat dalam denah bangunan di sepanjang garis AB dan CD di tengah-tengah jarak kolom yang menghasilkan rangka (*frame*) dalam arah x. Dengan cara yang sama, bidang vertikal EF dan HG menghasilkan rangka dalam arah y. Suatu portal kaku cirian terdiri atas :

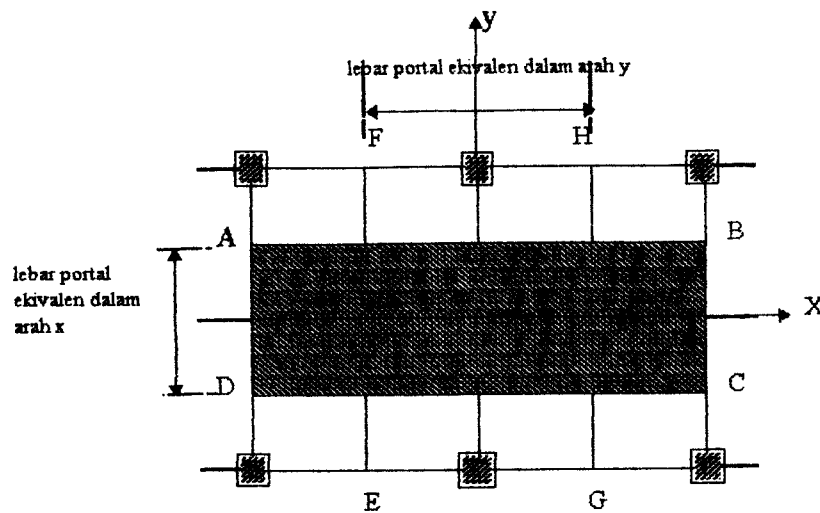
1. kolom-kolom di atas dan bawah lantai, dan
2. sistem lantai dengan atau tanpa balok-balok yang secara lateral dibatasi diantara garis-garis tengah dari dua panel (satu panel untuk barisan kolom-kolom luar) yang berdekatan dengan garis kolom-kolom.

Perencanaan dari portal kaku sebenarnya dapat menggunakan :

1. pendekatan yang menerapkan koefisien-koefisien momen dan geser menurut SK SNI-T-15-1991-03,
2. cara yang lebih teliti dengan menggunakan analisa struktur setelah memisalkan kekakuan relatif dari unsur-unsurnya.

Untuk beban gravitasi saja dan untuk sistem lantai dengan batasan-batasan yang diberikan, momen-momen dan geser pada portal ekuivalen ini dapat ditentukan :

1. secara pendekatan menggunakan koefisien-koefisien momen dan geser yang diberikan oleh Metoda Perencanaan Langsung *Direct Design Method*,
2. dengan analisa struktur dengan cara yang sama dengan analisa dari portal yang sebenarnya namun menggunakan provisi-provisi khusus dari Metoda Portal Ekuivalen *Equivalent Frame Method*.



Gambar 3.1. Denah portal ekuivalen (daerah x yang diarsir)(Nawy, 1990).

3. 2. Perencanaan Pelat

3. 2. 1. Perhitungan Momen *Flat Slab* dengan Metode Perencanaan Langsung

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 perbandingan antara bentang panjang dan bentang pendek < 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 terpanjang.

4. Posisi kolom boleh menyimpang maksimum 10 % dari bentang dan dari sumbu antara garis pusat kolom yang berturutan.
5. Beban yang diperhitungkan hanya beban gravitasi dan tersebar merata di seluruh panel. Beban hidup tidak boleh melebihi 3 kali 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 :

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

1. Momen Statis Total Terfaktor

Momen statis total terfaktor pada pelat cendawan dapat dilihat pada gambar 3. 2. Ditinjau panel dalam cirian dari suatu pelat cendawan yang memikul beban merata berfaktor W_u persatuan luas. Beban total pada permukaan panel (empat persegi dikurang 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, maka

$$\text{persamaan ABCDEF} = W_u \left[\frac{l_1 l_2}{2} - \frac{\pi C^2}{8} \right]$$

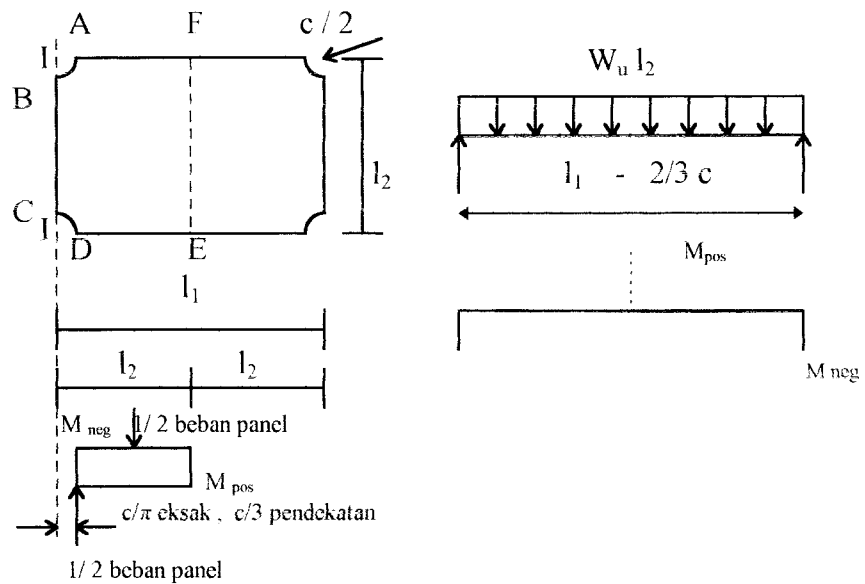
Dengan meninjau setengah panel ABCDEF (periksa gambar 3. 2.) sebagai benda bebas, mengingat tidak adanya geser pada tepi BC, DE, EF dan FA maka momen terhadap sumbu I - I:

$$M_{\text{neg}} + M_{\text{pos}} = W_u \left[\frac{l_1 l_2}{2} - \frac{\pi C}{8} \right] \left[\frac{C^2}{\pi} \right] - \frac{W_u l_1 l_2}{2} \left[\frac{l_1}{4} \right] + \frac{W_u \pi C}{8} \left[\frac{2C^2}{3\pi} \right]$$

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

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

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



Gambar 3. 2. Statika dari Panel Cirian pada Sistem Pelat Cendawan

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

$$M_o = \frac{W_u \cdot L_2 \cdot L_n^2}{8} \dots\dots\dots (3. 2.)$$

harus dibandingkan dengan yang besarnya $L_1 - 2c/3$.

2. Perbandingan Kekakuan Relatif dari Balok Memanjang Terhadap Pelat

Bila balok-balok digunakan sepanjang garis-garis kolom dalam suatu lantai dua arah, suatu parameter yang penting yang mempengaruhi perencanaan adalah ukuran relatif dari balok terhadap pelat. Parameter ini diukur dengan perbandingan dari kekakuan relatif $E_{cb} I_b$ dari balok terhadap kekakuan relatif lentur $E_{cs} I_s$ dari pelat didalam penampang transversal dari portal. Dengan demikian maka:

$$\alpha = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_s} \dots\dots\dots (3. 3.)$$

dengan,

E_{cb} = modulus elastis balok

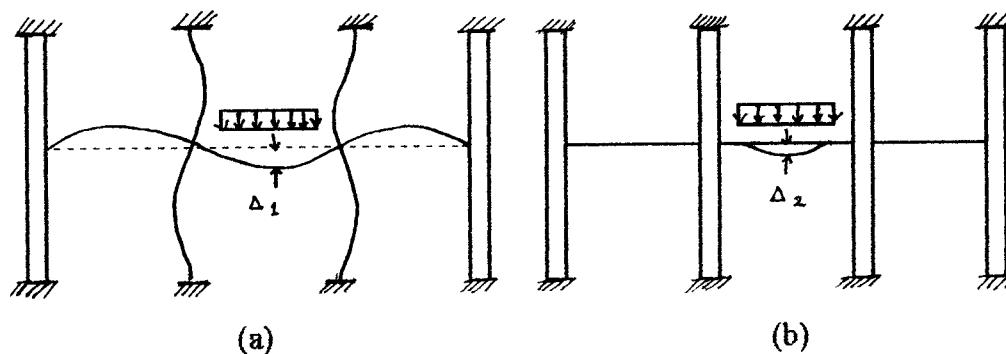
E_{cs} = modulus elastis pelat

I_b = momen inersia balok

I_s = momen inersia pelat

3. Pengaruh Pola Pembebanan pada Momen Positif

Untuk rangka portal berbentang banyak apabila tidak semua bentang dibebani secara serempak, akan terasa bahwa metode perencanaan langsung sangat peka terhadap perubahan momen lapangan positif. Apabila beban bekerja secara berselang-seling pada bentang-bentang, perubahan nilai momen negatif di tumpuan umumnya hanya kecil saja, sedangkan perubahan nilai momen positif lapangan cukup besar, maka perubahan-perubahan momen positif tersebut mencapai 50 % dari yang diperoleh dengan cara distribusi beban secara merata. Pertambahan momen tersebut dapat mengakibatkan lendutan berlebihan dan selanjutnya timbul retak-retak pada panel plat interior. Hal ini dapat dikurangi dengan cara memperkaku kolom (Nawy, 1990), lihat gambar 3. 3.



Gambar 3. 3. Efek Pola Pembebanan terhadap Defleksi dan Retak

(a) Defleksi Besar dengan Δ_1 Kolom yang Lebih Fleksibel

(b) Defleksi Kecil Δ_2 dengan Kolom yang Lebih Kaku

SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3. 6. 6. 10. mengatur pola pembebanan bila rasio antara beban mati terhadap beban hidup kurang dari 2, salah satu ketentuan berikut harus dipenuhi, yaitu :

1. Jumlah kekakuan lentur kolom di atas dan dibawah pelat tidak kurang dari yang ditentukan dalam Tabel 3.1.
2. Bila $\alpha_c < \alpha_{min}$ maka momen positif terfaktor pada panel yang didukung kolom harus dikalikan dengan koefisien δ_s yang ditentukan dari persamaan

$$\delta = 1 + \frac{2 - \beta_a}{4 + \beta_a} \left[1 - \frac{\alpha_c}{\alpha_{min}} \right] \dots\dots\dots (3. 4.)$$

dengan,

α_c = nilai banding kekakuan lentur antara kolom di atas dan di bawah pelat (K_c) terhadap gabungan kekakuan pelat (K_s) dan balok (K_b) pada suatu titik buhul, dalam arah bentang dimana momen dihitung

α_{min} = nilai banding kekakuan lentur (tabel 3. 1.)

β_a = nilai bading beban mati terhadap beban hidup perunit luas (pada setiap kasus tanpa faktor beban)

Untuk bentangan luar dan dalam, menghitung perbandingan dari kekakuan lentur dari kolom - kolom atas dan bawah terhadap kekakuan lentur kombinasi dari pelat dan balok digunakan rumus sebagai berikut :

$$\alpha_c = \frac{\sum K_c}{\sum (K_s + K_b)} \dots\dots\dots (3. 5.)$$

dengan,

$$\Sigma K_c = K_{c1} + K_{c2} = \frac{4.E.I_{c1}}{L_{c1}} + \frac{4.E.I_{c2}}{L_{c2}} \dots\dots\dots (3.6.)$$

$$\Sigma K_s = K_s = \frac{4.E.I_s}{L_1} \dots\dots\dots (3.7.)$$

$$\Sigma K_b = K_b = \frac{4.E.I_b}{L_2} \dots\dots\dots (3.8.)$$

Tabel 3. 1. Nilai α_{min} (SK SNI-T-15-1991-03)

β_a	Rasio dari I_2/I_1	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	1,3	2,6	1,2	0,5	0,3

4. Distribusi Momen Statis Total Terfaktor

Pada SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3. 6. 6. 3. suatu bentang interior, momen statis terfaktor M_o harus didistribusikan sebagai berikut :

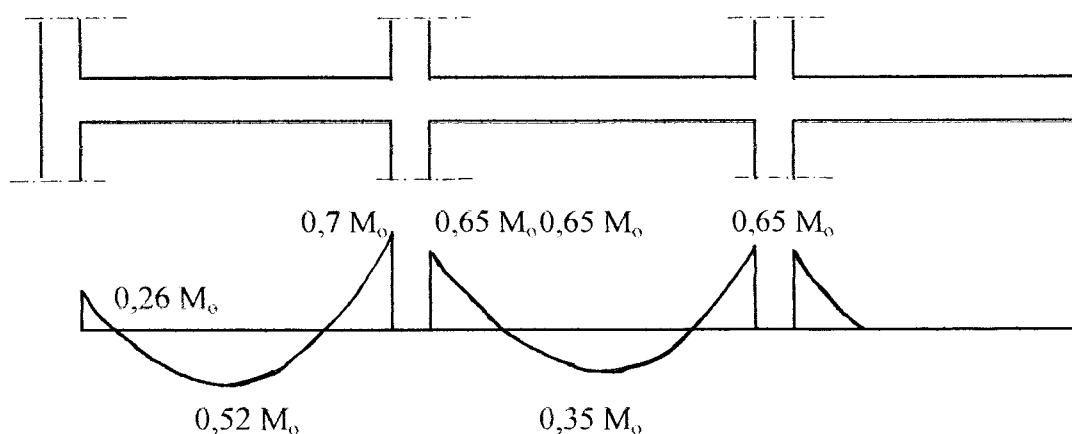
momen negatif terfaktor 0,65

momen positif terfaktor 0,35

Untuk bentang eksterior distribusi momen statis terfaktor M_o harus didistribusikan sebagai berikut :

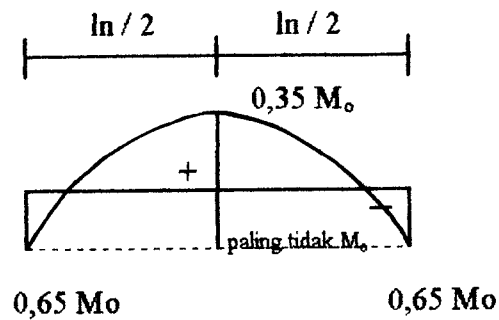
Tabel 3.2. Faktor-faktor Momen untuk Mendistribusikan M_o pada Bentang Eksterior

	1	2	3	4	5
	Tepi exterior tidak ditahan	Pelat dengan balok diantara semua tumpuan	Pelat tanpa blok diantara tumpuan interior tanpa balok tepi	Pelat tanpa blok diantara tumpuan dengan balok tepi	Tepi eksterior ditahan sepenuhnya
Momen negatif terfaktor interior	0,75	0,7	0,7	0,7	0,65
Momen positif terfaktor	0,65	0,57	0,52	0,5	0,35
Momen negatif terfaktor exterior	0,	0,16	0,26	0,3	0,65

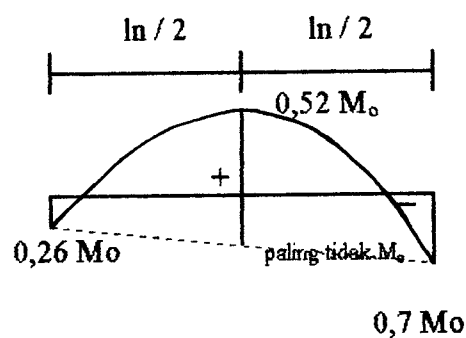


Gambar 3. 4. Distribusi M_o pada Momen Positif dan Negatif

Distribusi momen pada bentang interior dan exterior dapat juga dinyatakan dalam bentuk diagram momen seperti gambar 3. 5. dan gambar 3. 6.



Gambar 3. 5. Diagram Momen di Arah Memanjang untuk Bentang Dalam *Interior*



Gambar 3. 6. Diagram Momen di Arah Memanjang untuk Bentang Luar *Exterior*

5. Tetapan Torsi dari Balok Transversal

Jika balok tidak digunakan, maka dianggap adanya suatu balok yang lebarnya sama dengan ukuran kolom, konsol pendek atau kepala kolom didalam arah memanjang

dengan menganggap balok dengan tinggi setebal pelat lantai . Tetapan torsi C dari balok transversal adalah sebagai berikut :

$$C = \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} \dots\dots\dots (3. 9)$$

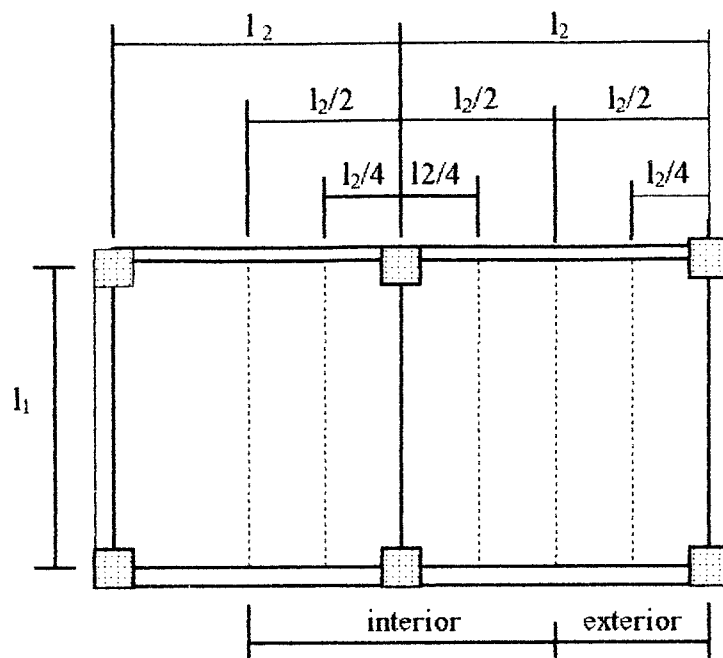
dengan,

X = dimensi terpendek dari suatu komponen persegi

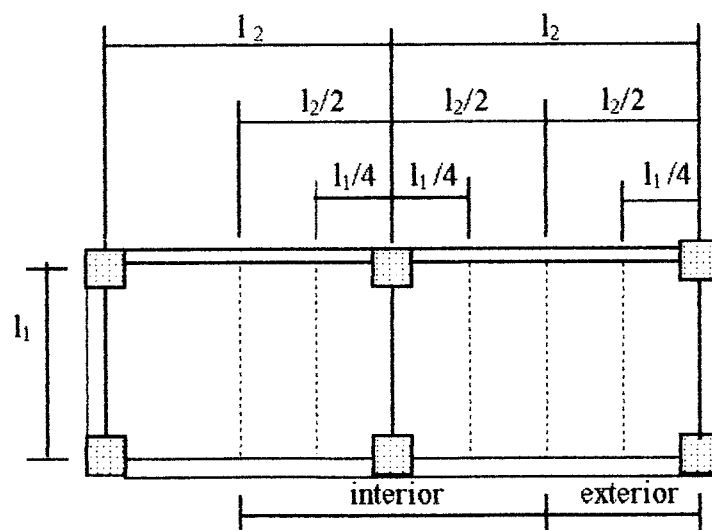
Y = dimensi terpanjang dari suatu komponen persegi

6. Distribusi Transversal dari Momen Longitudinal

Nilai-nilai momen longitudinal yang diperoleh dengan metode perencanaan langsung atau dengan metode portal ekuivalen adalah untuk keseluruhan lebar (jumlah dari dua parohan panel didalam arah transversal, untuk garis-garis kolom dalam) dari portal kaku ekuivalen. Masing-masing momen ini harus dibagikan diantara jalur kolom dan kedua parohan jalur tengah seperti yang didefinisikan dalam gambar 3. 7. dan 3.8.



Gambar 3. 7. Jalur Kolom untuk $l_2 \leq l_1$



Gambar 3. 8. Jalur Kolom untuk $l_2 > l_1$

Jika dua bentang transversal yang berdekatan adalah masing-masing L_2 , maka lebar dari jalur kolom menjadi sama dengan setengah L_2 , atau setengah bentang longitudinal L_1 , tergantung mana yang lebih kecil. Untuk garis kolom luar (tepi) lebar jalur kolom seperempat dari L_1 atau seperempat L_2 tergantung mana yang lebih kecil.

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 $\beta_1 = E_{cb} C / (2 E_{cs} I_s)$ 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 persentase seperti terlihat pada tabel 3.3. arah memanjang dalam jalur kolom

Tabel 3. 3. Persentase dari Momen Arah Memanjang dalam Jalur Kolom

Perbandingan ukuran l_2 / l_1		0,5	1,0	2,0
Momen negatif pada tumpuan luar	$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	100	100	100
	$\beta_1 \geq 2,5$	75	75	75
	$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 1,0$	100	100	100
	$\beta_1 \geq 2,5$	90	75	45
Momen positif	$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	60	60	60
	$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 1,0$	90	75	95
Momen negatif pada tumpuan dalam	$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$	75	75	75
	$\alpha_1 l_2 / l_1 \geq 1,0$	90	75	45

Persentase jalur kolom yang harus memikul momen longitudinal terdapat pada SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.6.6.4. Pada tabel tersebut, hanya dua parameter pertama yang mempengaruhi distribusi transversal dari momen negatif pada tumpuan pertama dan tumpuan dalam cirian sebagaimana juga momen-momen positif di dalam bentang - bentang luar dan dalam, namun ketiga parameter tersebut dicakup di dalam distribusi transversal dari momen negatif pada tumpuan luar.

Bila tumpuan terdiri dari kolom atau dinding menerus sejarak sama atau lebih dari tiga perempat bentang L_2 yang digunakan untuk menghitung M_o momen negatif harus dianggap terbagi merata (SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.6.6.4.(3)).

Prosedur untuk menyebarkan momen longitudinal di arah lebar transversal adalah sebagai berikut :

1. Membagi lebar transversal total yang berlaku untuk momen longitudinal menjadi suatu jalur kolom dan dua parohan lebar jalur tengah yang masing-masing

berdekatan dengan jalur kolom. Untuk garis kolom luar, lebar jalur kolom adalah yang terkecil dari $1/4 l_1$ dan $1/4 l_2$ untuk garis kolom dalam, lebar jalur kolom adalah yang terkecil dari penjumlahan $1/4 l_1$ atau $1/4 l_2$ dari panel-panel di kedua pihak.

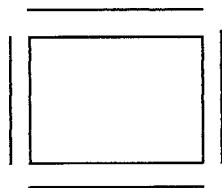
2. Menentukan perbandingan $= E_{cb} C / E_{cs} I_s$ dari kekakuan torsi balok tepi terhadap kekakuan lentur pelat
3. Menentukan perbandingan $= E_{cb} I_b / E_{cs} I_s$ dari kekakuan lentur balok longitudinal terhadap kekakuan lentur pelat
4. Membagi momen longitudinal pada setiap penampang kritis atas dua bagian menurut persentase yang diberikan oleh tabel sebagian kepada lebar jalur kolom dan sisanya kepada parohan jalur tengah untuk garis kolom luar atau kepada parohan-parohan pada setiap pihak dari garis kolom dalam
5. Jika terdapat dinding luar pada garis kolom luar, maka jalur yang biasanya disebut jalur kolom luar tidak akan melendut, dengan demikian tidak ada lateral kepada parohan jalur tengah yang berdekatan dengan dinding. Parohan jalur momen-momen, sehingga tidak akan ada momen yang harus disebarkan secara lateral kepada parohan jalur tengah yang berdekatan dengan dinding. Parohan jalur tengah ini harus disatukan dengan parohan jalur tengah yang bersebelahan berikutnya yang juga menerima distribusi lateral dalam portal pada garis kolom dalam yang pertama. Jalur tengah total dalam keadaan ini direncanakan untuk dua kali momen

di dalam parohan jalur tengah dari garis kolom dalam pertama (SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3. 6. 6. 6.)

6. Jika di dalam jalur terdapat balok longitudinal sepanjang garis pusat kolom, maka momen jalur kolom harus dibagikan pada pelat dan balok. SK SNI-T-15-1991 pasal 3. 6. 6. 5. menetapkan bahwa 85 % dari momen jalur kolom harus dipikul oleh balok jika $\alpha l_2 / l_1$ sama atau lebih besar dari 1,0 dan sebagai interpolasi linier antara 85 % dan 0 % untuk harga $\alpha l_2 / l_1$ yang berada antara 1,0 dan 0. Sisa persentase untuk balok dibagikan pada pelat.

3. 2. 2. Perhitungan Momen *Waffle Slab* dengan Metode Koefisien Momen

Perencanaan Momen pelat *waffle slab* ditinjau satu panel pelat dengan menggunakan metode koefisien momen pada kondisi terjepit elastis pada SK SNI-T-15-1991-03



$$m_{lx} = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$m_{ly} = 0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$m_{tx} = -0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

$$m_{ty} = -0,001 W_u \cdot l_x^2 \cdot X$$

3. 2. 3. Geser Pada Pelat

Pelat termasuk komponen struktur lentur tinggi. Menurut SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.4.11. kuat geser (V_n) pelat terhadap beban terpusat atau reaksi ditentukan oleh kondisi terberat aksi balok lebar dan aksi dua arah yang terjadi pada pelat datar dan pelat cendawan.

1. Aksi balok lebar, penampang kritis adalah sejajar dengan garis pusat panel dalam arah transversal dan menerus pada seluruh jarak antara dua garis pusat panel longitudinal yang berdekatan.

Jika tulangan geser tidak digunakan $V_u \leq \phi V_n$, maka kekuatan geser nominal,

$$V_n = V_c = \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) . b_w . d \dots\dots\dots (3. 10)$$

V_u = gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

2. Aksi dua arah, penampang kritis adalah sedemikian sehingga keliling b_o berada pada jarak setengah tinggi efektif melalui pertebalan dari keliling kepala kolom, dan juga berada pada jarak setengah tinggi efektif di luar keliling pertebalan. Bila pertebalan tidak digunakan hanya ada satu penampang kritis untuk aksi dua arah. Jika tulangan geser tidak digunakan, kekuatan geser nominal adalah,

$$V_n = V_c = \left[1 + \frac{2}{\beta_c} \right] \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) . b_o . d < \left(\sqrt{f'_c} / 3 \right) . b_o . d \dots\dots\dots (3. 11.)$$

dengan,

V_c = kuat geser nominal beton,

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

b_o = adalah keliling dari penampang kritis pelat.

Bila tulangan geser digunakan, kekuatan geser nominal dibatasi kepada harga maksimum sebesar,

$$V_n = V_c + V_s \leq \left(\sqrt{f'_c} / 2 \right) \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (3. 12.)$$

dengan,

$$V_c \leq \left(\sqrt{f'_c} / 6 \right) \cdot b_o \cdot d \dots\dots\dots (3. 13.)$$

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot d / s \cdot \left(2\sqrt{f'_c} / 3 \right) b_w \cdot d \dots\dots\dots (3. 14.)$$

A_v = adalah luas tulangan geser dalam jarak s.

Berdasarkan peraturan SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.1.11 butir 8 menyatakan bahwa kuat geser beton V_c untuk balok rusuk boleh diambil 10 persen lebih besar dari persamaan-persamaan di atas.

3. 2. 4. Penulangan Lentur Pelat

Penulangan lentur pelat dapat dilakukan apabila sudah ditetapkan tebal pelat (h_t), mutu beton (f_c), mutu baja (f_y), dan momen ultimate (M_u). Prosedur perhitungan dapat disusun seperti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan tinggi efektif (d) dari tebal pelat yang sudah ditentukan,
2. Menentukan lebar tinjauan pelat (b), biasanya ditinjau tiap satu meter lebar sama dengan 1000 mm,
3. Menghitung nilai momen nominal $M_n = M_u / \phi$,
4. Menghitung luas tulangan $A_s = M_n / f_y \cdot j_d$ dengan $j_d = (d - a/2) = 0,9 d$,
5. Pemilihan luas tulangan : $A_s > A_{s \min} = (1,4 / f_y) \cdot b \cdot d$ Luas yang dipakai = A_s

$$A_s < A_{s \min}$$

$$1,33 A_s < A_{s \min}$$

$$A_s < A_{a \min}$$

$$1,33 A_s > A_{s \min}$$

Luas yang dipakai = $1,33 A_s$

Luas yang dipakai = $A_{s \min}$

6. Pemilihan tulangan dengan A_s ada $> A_s$
7. Menentukan jarak antar tulangan $S = A_s \cdot \phi \cdot 1000 / A_s$

3. 2. 5. Analisa Kapasitas Lentur

Perhitungan analisis kapasitas lentur tampang pelat dapat dilakukan jika diketahui tinggi efektif pelat (d), mutu beton (f'_c), mutu beton (f_y), luas dan diameter tulangan. Prosedur hitungan kapasitas lentur dapat disusun seperti langkah-langkah berikut :

1. Menentukan lebar tinjauan pelat (b), biasanya ditinjau tiap satu meter lebar pelat sama dengan 1000 mm,
2. Menentukan luas total tulangan yang ada (A_s ada) per meter lebar yang ditinjau,
3. Menentukan nilai a

$$a = \frac{(A_s \text{ ada}) f_y}{0,85 f'_c b} \dots\dots\dots(3. 15.)$$

4. Menghitung nilai momen nominal M_n

$$M_n = (A_s \text{ ada}) f_y (d - a/2) \text{ dan } \phi M_n \geq M_u \dots\dots\dots(3. 16.)$$

3. 3. Perencanaan Balok Rusuk *Joist*

Struktur balok rusuk *joist* merupakan balok beton bertulang yang dicor monolit dengan pelat di atasnya, sehingga perencanaan dapat dianggap sebagai balok T pada daerah momen positif dan balok persegi pada daerah momen negatif.

3. 3. 1. Perencanaan Penulangan

1. Daerah Tumpuan (direncanakan sebagai balok persegi)

$$M_n = M_u / \phi \dots\dots\dots(3. 17.)$$

$$R_n = M_n / (b \cdot d^2) \dots\dots\dots(3. 18.)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right] \dots\dots\dots(3. 19.)$$

$$\text{dengan } m = \frac{f_y}{0,85f'_c} \dots\dots\dots(3. 20.)$$

$$\rho_{\min} < \rho < 0,75 \rho_b$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \text{dan} \quad \rho_b = \frac{0,85f'_c}{f_y} \beta_1 \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

untuk $f'_c \leq 30$ Mpa maka $\beta_1 = 0,85$

untuk $f'_c > 30$ Mpa maka $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \geq 0,65$

$$\text{Luas Tulangan } A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(3. 21.)$$

2. Daerah Lapangan (direncanakan sebagai balok T)

Pemeriksaan balok T terhadap lentur tergantung dari letak garis netral, yang menentukan apakah balok T dianalisa sebagai balok tampang T atau sebagai balok persegi.

a. Bila $a \leq t$ dan $M_{n1} > M_n$

Beton tekan seluruhnya pada bagian flens, maka balok dianalisa sebagai tampang persegi

b. Bila $a > t$ dan $M_{n1} < M_n$

Pada keadaan ini maka daerah beton tekan berbentuk T, maka balok dianalisa sebagai balok tampang T

Berdasarkan SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3. 1. 10 batasan lebar efektif balok T adalah sebagai berikut :

diambil nilai terkecil dari :

$$b_e = 1/4 L$$

$$b_e = b_w + 16 h_f$$

$b_e =$ jarak dari pusat ke pusat antar balok

Dicoba dengan mengambil $a = t$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \dots\dots\dots(3. 22.)$$

$$M_{n1} = C (d - a/2) \dots\dots\dots(3. 23.)$$

dengan,

$$C = 0,85 f_c \cdot b \cdot t \dots\dots\dots(3. 24.)$$

jika $M_{n1} < M_n$ dianalisis sebagai balok T

jika $M_{n1} > M_n$ dianalisis sebagai balok persegi

Perencanaan balok tampang T

$$\text{Cari nilai } a \text{ dengan : } M_n = C_1 \cdot Z_1 + C_2 \cdot Z_2 \dots\dots\dots(3. 25.)$$

dengan,

$$Z_1 = d - a/2$$

$$Z_2 = d - t/2$$

$$\begin{array}{l}
 T = A_s \cdot f_y \\
 C_1 = 0,85 f'_c \cdot b_w \cdot a \\
 C_2 = 0,85 f'_c (b_e - b_w) t :
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} T \\ C_1 \\ C_2 \end{array}} \right\} a = \frac{T - C_2}{0,85 f'_c b_w}$$

Keseimbangan gaya dalam :

$$T = C_1 + C_2 \dots\dots\dots (3.26.)$$

$$\text{Luas tulangan : } A_s = \frac{T}{f_y} \dots\dots\dots (3.27.)$$

Periksa rasio tulangan (ρ)

$$\rho_{\min} < \rho \leq 0,75 \rho_b$$

3. 3. 2. Perencanaan Geser

Perencanaan *joist* diusahakan agar tidak menggunakan tulangan geser, karena *joist* mempunyai dimensi yang kecil. Apabila beton tidak dapat menahan geser yang terjadi, maka dimensi *joist* harus diperbesar tetapi harus memenuhi persyaratan SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3. 1. 11.



jika tulangan geser tidak digunakan $V_c > V_n$

$$\text{Kekuatan geser nominal } V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (3.28.)$$

$$\text{Kekuatan geser beton } V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \right) \dots\dots\dots (3.29.)$$

3. 4. Penggambaran dan Penulangan Pelat

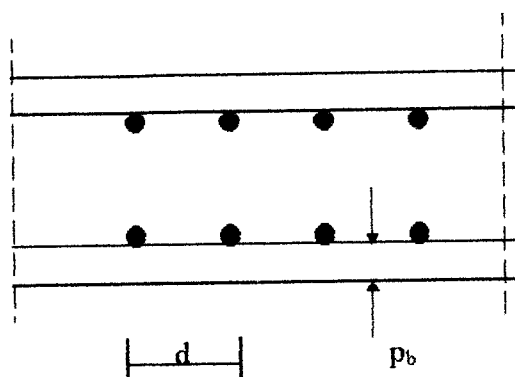
Gambar tulangan harus jelas dan tidak meragukan. Pada denah umumnya batang-batang tulangan digambar dari atas ke bawah. Bila gambar “dibaca” dari atas ke bawah maka yang pertama ditemukan adalah tulangan atas dan di bawahnya adalah tulangan bawah. Apabila dipakai batang yang dibengkokkan, urutannya dari atas ke bawah sebagai batang lurus dari jaringan bagian atas, kemudian batang yang dibengkokkan selanjutnya batang lurus dari jaringan bagian bawah.

Bila ada beberapa batang tulangan yang sama serta jarak pusat ke pusatnya juga sama besar, maka hanya satu batang yang akan digambar. Di atas batang tulangan ditulis keterangan diameter batang tulangan dan jarak antar pusat tulangan.

Tiap bentang lantai diberi tanda tiga lingkaran atau satu lingkaran dibagi tiga. Bagian kiri atas menunjukkan jenis pelat lantai biasanya memakai simbol huruf kapital, bagian kanan atas menunjukkan tebal pelat, dan bagian bawah menunjukkan elevasi.

Menurut SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.16.6., jarak bersih antar tulangan yang sejajar yang selapis $\geq d_b$ ataupun 25 mm. Tulangan lentur utama pelat cendawan harus

berjarak $\leq 3h$ atau 500 mm dan pada penampang kritisnya $\leq 2h$ atau 250 mm, sedangkan pelat berusuk $\leq 5h$ ataupun 500 mm.



Gambar 3. 10. Syarat-syarat untuk tulangan dan pelat (Kusuma, 1993)

1. Jarak maksimum tulangan utama (d)

- | | | |
|--------|---|---------------------|
| 2 h | } | pada momen maksimum |
| 250 mm | | |
| 3h | } | pada momen minimum |
| 500 mm | | |

2. Penutup beton (p_b)

a. tidak langsung berhubungan dengan tanah /cuaca :

- 1). untuk $\varnothing 44$ dan $\varnothing 56$: 40 mm
- 2). untuk $< \varnothing 36$: 20 mm

b. yang langsung berhubungan dengan tanah / cuaca:

1). untuk \varnothing 19 hingga \varnothing 56 : 50 mm

2). untuk $\leq \varnothing$ 16 : 40 mm

Tabel 3. 4. Syarat-syarat Tulangan

Diameter minimum yang dipakai	BJTP 240	BJTD 400
Tulangan utama + tulangan pembagi jaringan atas	\varnothing_p 8	\varnothing_p 6
Tulangan pembagi jaringan bawah	\varnothing_p 6	\varnothing_p 6

Tulangan sistem pelat dua arah menurut SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.6.4, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

1. Tulangan momen positif yang tegak lurus terhadap suatu tepi yang tidak menerus harus dilanjutkan sampai tepi pelat dan harus tertanam, lurus atau berkait, paling sedikit 150 mm ke dalam balok sprandel, kolom atau dinding,
2. Tulangan momen negatif yang tegak lurus terhadap suatu tepi yang tidak menerus harus dibengkokkan, diberi kait atau jangkar, kedalam balok sprandel, kolom atau dinding,

3. Bila pelat tidak didukung balok sprandel atau dinding pada tepiannya yang menerus, atau bila suatu pelat menjorok membentuk kantilever yang melewati pemikulnya, penjangkaran tulangnya dapat diadakan didalam pelat itu sendiri.
4. Untuk pelat yang mempunyai beberapa balok diantara tumpuannya dengan harga $\alpha \geq 1,0$ pada ujung luar harus disediakan tulangan atas dan bawah. Kedua tulangan atas dan bawah harus mampu memikul suatu momen yang sama dengan momen positif maksimum (per meter lebar) di dalam pelat, dan harus dipasang pada setiap arah untuk jarak sebesar $1/5$ bentang yang lebih besar dari sudut.

Detail tulangan untuk pelat tanpa balok menurut SK SNI-T-15-1991-03 pasal 3.6.4. butir 8 harus mempunyai letak titik pembengkokan dan perpanjangan tulangan minimum menurut lampiran 1. Bila bentang yang bersebelahan tidak sama panjangnya, maka perpanjangan tulangan negatif yang melampaui bidang perletakan seperti ditetapkan dalam lampiran 1, harus didasarkan pada kebutuhan bentang yang lebih panjang. Batang yang dibengkokkan hanya boleh digunakan bila rasio tebal pelat terhadap panjang bentang mengizinkan menggunakan sudut bengkok 45° atau kurang. Untuk pelat dalam rangka struktur yang dapat bergoyang dan untuk pelat yang menahan beban lateral, panjang tulangan harus ditentukan dengan analisis tetapi tidak boleh kurang dari panjang yang ditetapkan dalam lampiran 1.

Untuk pertimbangan ekonomis ada beberapa peraturan praktis yang dapat diikuti untuk penulangan pelat (Kusuma, 1993) :

1. Batasi ukuran batang yang berdiameter berbeda-beda.
2. Sedapat mungkin gunakan diameter berikut 6, 8, 10, 12, 14, 16, 19, dan 20 mm.
3. Gunakan batang sedikit mungkin, yaitu gunakan jarak tulangan semaksimal mungkin sesuai yang diijinkan.
4. Perhitungan panjang batang yang umum digunakan. Gunakan mutu baja yang umum, panjang batang dipasaran adalah 6, 9, dan 12 m. Dengan demikian potongan sebesar 3, 4, atau 4,5 m mudah didapat dari batang awal, tanpa menghasilkan sisa potongan baja yang terbuang percuma.
5. Pertahankan bentuk batang yang sesederhana mungkin, agar dapat menghindari pembengkokkan baja yang sukar.

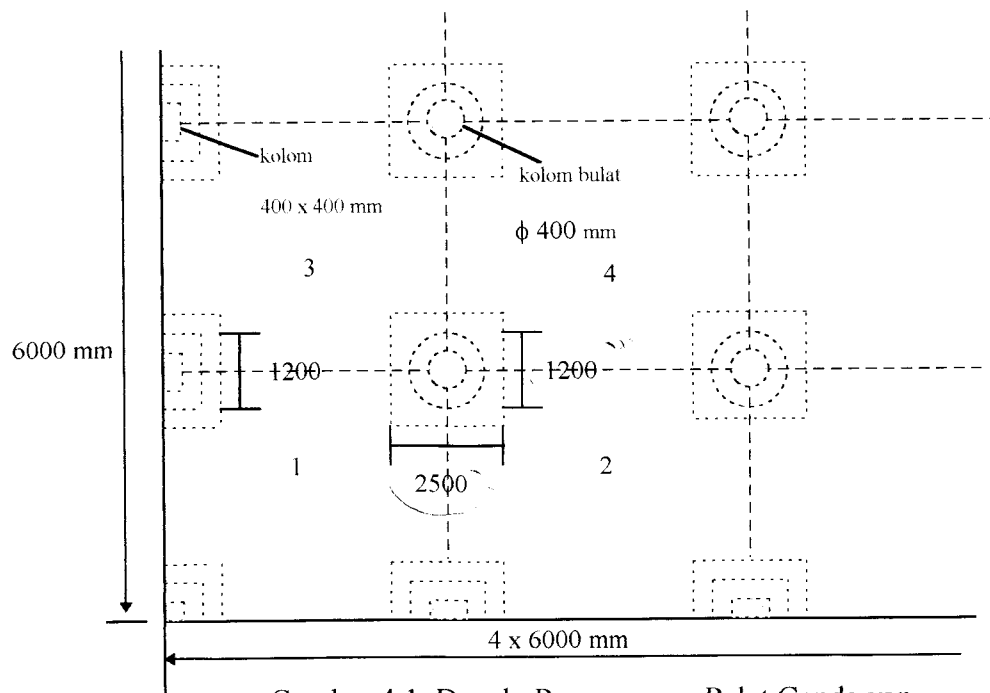
BAB IV

APLIKASI PERENCANAAN PENULANGAN PELAT

4. 1. Perencanaan Pelat Cendawan (*Flat Slab*)

4. 1. 1. Perencanaan Pelat Lantai Cendawan

Di dalam aplikasi numerik direncanakan pelat lantai cendawan pada bangunan gedung bertingkat 4 dengan ukuran seperti gambar 4.1. Lantai dibagi 16 panel dengan ukuran 6000 x 6000 mm. Kekuatan beton $f'c = 30$ Mpa dan kekuatan baja $f_y = 400$ Mpa. Beban hidup layan yang harus dipikul 2,50 kN/m². Tinggi tingkat 3500 mm. Kolom luar bujur sangkar dengan ukuran 400 x 400 mm dan kolom dalam adalah bulat dengan diameter 400 mm. Tebal pelat diasumsikan 140 mm dan tebal drop panel 190 mm.



Gambar 4.1. Denah Perencanaan Pelat Cendawan

Tahap-tahap perencanaan pelat cendawan adalah sebagai berikut :

1. Memeriksa tebal pelat persyaratan nominal balok tepi dan pertebalan pelat di kepala kolom.

a. Berdasarkan persyaratan lendutan.

Dengan tidak adanya balok sepanjang sisi dari semua panel $\alpha_m = 0$, maka :

Bentang bersih panel luar dan panel dalam :

$$L_n = 6000 - 1200 = 4800 \text{ mm.}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel

2.1. adalah :

$$h_{\min} = \frac{L_n}{36} = \frac{4800}{36} = 133,33 \text{ mm} < 140 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_{\min} = \frac{L_n (0,8 + (f_y/1500))}{36} = \frac{4800 (0,8 + (400/1500))}{36} = 142,222 \text{ mm} > 140 \text{ mm}$$

Oleh Karena ukuran pertebalan pelat pada setiap arah lebih besar dari 1/6 panjang bentang (1000 mm) dan proyeksi 50 mm pertebalan dibawah pelat adalah lebih dari 1/4 tebal pelat (35 mm). Maka tebal minimum pelat dapat direduksi 10 %.

Tebal pelat 140 cukup atau $(140 - 10\%(140)) = 126 \text{ mm} \sim 130 \text{ mm}$ (dipakai)

b. Berdasarkan persyaratan geser.

1). Aksi balok lebar (satu arah)

Pemeriksaan aksi ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 lihat gambar 4. 2. (a).

$$W_d \text{ pelat lantai} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

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

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

$$W_i = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 1,2 (3,36) + 1,6 (2,5) = 8,032 \text{ kN/m}^2$$

Untuk pot 1-1 :

$$V_u = W_u \cdot 6 \cdot (2,235)$$

$$= 8,032 \cdot 6 \cdot 2,235 = 107,70912 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi (\sqrt{f_c} / 6) b_w d$$

$$= 0,6 (\sqrt{30} / 6) 6000 \cdot 105$$

$$= 345065,2112 \text{ N} = 345,0652 \text{ kN} > V_u$$

Jika $b_w = 2500 \text{ mm}$ dan $d = 165 \text{ mm}$ dengan kenyataan bahwa peningkatan tinggi d hanya ada selebar 2500 mm .

$$\phi V_c = 0,6 (\sqrt{30} / 6) 2500 \cdot 165 = 225935,555 \text{ N} = 225,9356 \text{ kN} > V_u$$

pot 2-2 :

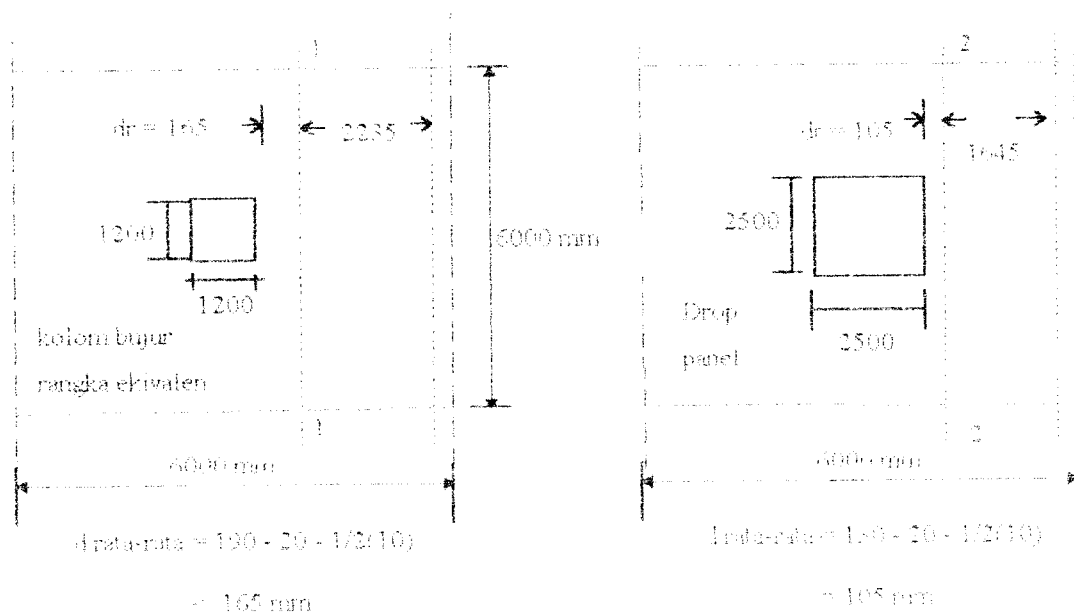
$$V_1 = W_0 \cdot 6 \cdot 1,645$$

$$= 8,032 \cdot 6 \cdot 1,645 = 79,2758 \text{ kN}$$

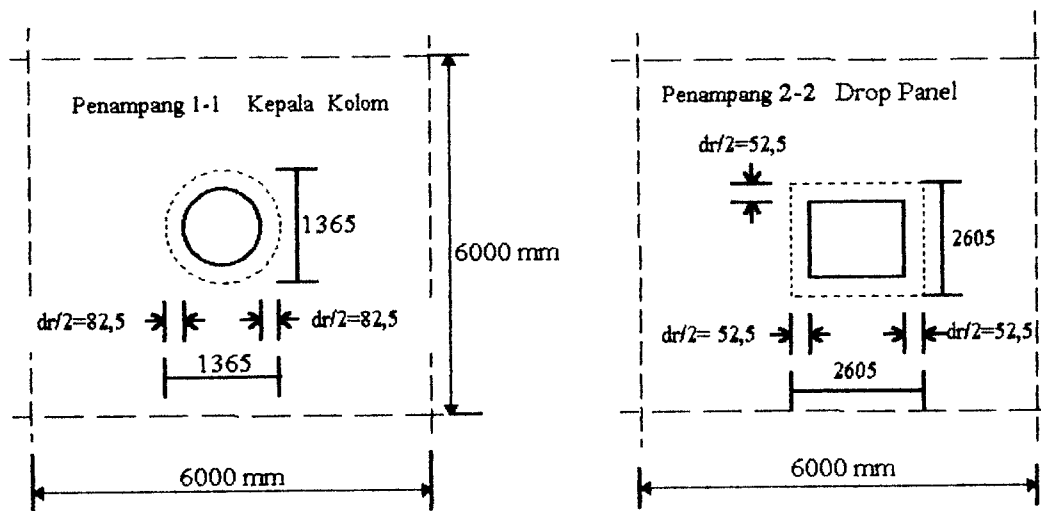
$$\phi V_c = \phi (\sqrt{f_c'} / 6) b_w d$$

$$= 0,6 (\sqrt{30} / 6) 6000 \cdot 105 = 345065,2112 \text{ N} = 345,0652 \text{ kN} > V_0$$

Aksi balok lebar (satu arah) jarang menentukan.



a. Aksi balok lebar



b. Aksi dua arah

Gambar 4.2. Penampang Kritis untuk Geser Pelat Cendawan

2). Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2 lihat gambar 4. 2. (b).

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \left\{ (6 \times 6) - 1/4 \pi d^2 \right\} + 1,6 W_{dd} \left\{ (2,5 \times 2,5) - 1/4 \pi d^2 \right\} \\
 &= 8,032 \left\{ (6 \times 6) - 1/4 \pi \cdot 1,365^2 \right\} + 1,6 \cdot 1,2 \left\{ (2,5 \times 2,5) - 1/4 \pi \cdot 1,365^2 \right\} \\
 &= 286,5885 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dengan W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 50 mm.

$$= 0,05 \times 24 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b \cdot d \\ &= 0,6 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 2\pi \left(\frac{1365}{2} \right) \cdot 165 = 1162,6483 \text{ kN} \\ \phi V_c &= \phi \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right) \cdot b_o \cdot d = 0,6 \left(\frac{\sqrt{30}}{3} \right) \cdot 2\pi \left(\frac{1365}{2} \right) \cdot 165 = 775,0988 \text{ kN}\end{aligned}$$

dipakai $\phi V_c = 775,0988 > V_u$ OK !

Penampang 2-2 :

$$V_u = W_u (6 \times 6 - (2,605 \times 2,605)) = 8,032(36 - 5,21) = 247,3053 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 2(2605 + 2605) \cdot 105 = 1797,7898 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \left(\frac{\sqrt{30}}{3} \right) \cdot 2(2605 + 2605) \cdot 105 = 1198,5265 \text{ kN}$$

dipakai $\phi V_c = 1198,5265 \text{ kN} > V_u$ OK!

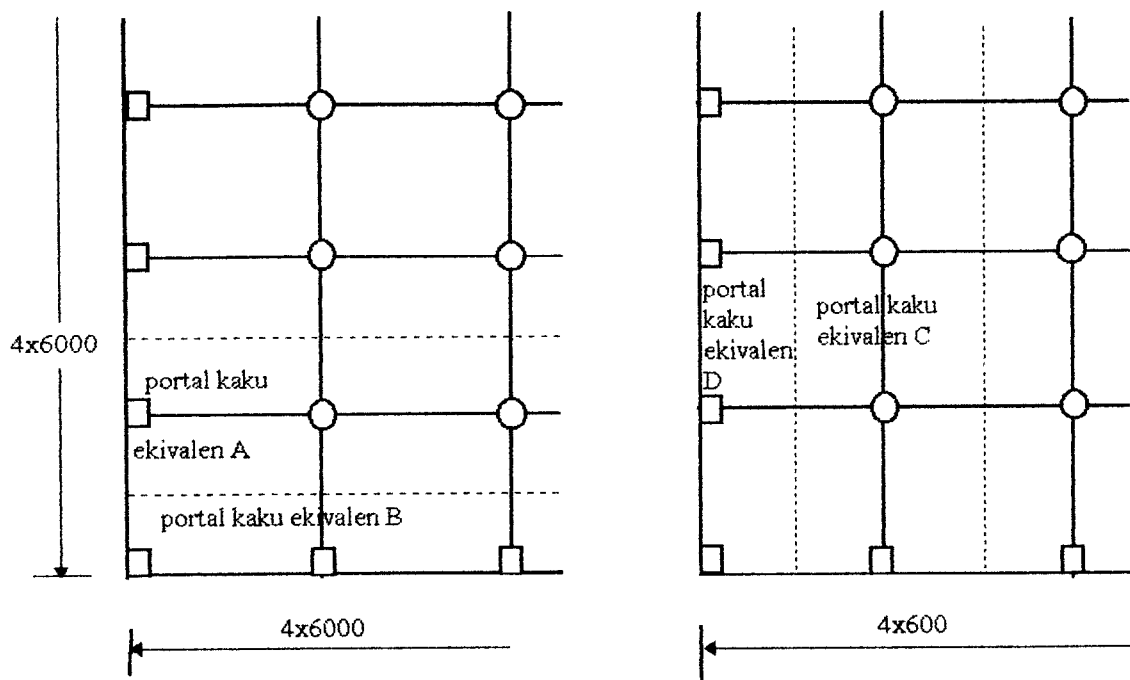
Karena untuk aksi dua arah dan satu arah untuk semua nilai $V_u < \phi V_n$ maka tebal pelat 130 mm memenuhi syarat sehingga tidak memerlukan tulangan geser.

2. Pengontrolan persyaratan Metode Perencanaan Langsung.

Menurut batasan dalam metode perencanaan langsung, kelima batasan pertama secara pemeriksaan dipenuhi. Untuk batasan keenam tidak berlaku karena tidak memakai balok.

3. Menghitung momen statis total terfaktor (M_o) :

Momen statis total terfaktor (M_o) pelat dihitung dengan membagi pelat menjadi portal kaku ekuivalen, lihat gambar 4. 3.



Gambar 4.3. Portal Kaku Ekuivalen Pelat Cendawan

$$\begin{aligned}
 \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\
 &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 6 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 162,8889 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 81,4445 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal C} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 6 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 162,8889 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal D} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 81,4445 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Permukaan bujur sangkar ekuivalen untuk kepala kolom mempunyai sisi sebesar 1,2 m dan L_n yang diukur ke sisi kepala kolom (ekivalen),

$$\begin{aligned} \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 6 \cdot (6-1,2)^2 = 138,7929 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot (6-1,2)^2 = 69,3965 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal C} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 6 \cdot (6-1,2)^2 = 138,7929 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal D} \quad M_o &= 1/8 W_u l_2 l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot (6-1,2)^2 = 69,3965 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sejauh pelat cendawan dan kepala kolom dipentingkan, terlihat bahwa harga yang terbesar adalah 162,8889 kNm dan 81,4445 kNm maka dipakai $M_o = 162,8889 \text{ Knm}$ dan $81,4445 \text{ kNm}$

4. Menghitung kekakuan pelat balok dan kolom

Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 E I_s}{l} = \frac{4 E (1/12) 6000 \cdot 130^3}{6000} = 732.333,3333E$$

$$K_s \text{ portal B} = \frac{4 E I_s}{l} = \frac{4 E (1/12) 3000 \cdot 130^3}{6000} = 366.166,6667E$$

$$K_s \text{ portal C} = \frac{4 E I_s}{l} = \frac{4 E (1/12) 6000 \cdot 130^3}{6000} = 732.333,3333E$$

$$K_s \text{ portal D} = \frac{4 E I_s}{l} = \frac{4 E (1/12) 3000 \cdot 130^3}{6000} = 366.166,6667E$$

Kekakuan kolom (K_c)

ΣK_c (kolom-kolom dalam atas dan bawah bulat)

$$\Sigma K_c = \frac{2(4 E I_c)}{L_c} = \frac{2(4 E \pi 400^4 (1/64))}{3500} = 2.872.313,283E$$

ΣK_c (kolom-kolom luar atas dan bawah persegi)

$$\Sigma K_c = \frac{2(4 E I_c)}{L_c} = \frac{2(4 E 1/12 \cdot 400 \cdot 400^3)}{3500} = 4.876.190,476E$$

Kekakuan balok (K_b) = 0

$$\sum K_c = \frac{2(4 E I_c)}{L_c} = \frac{2(4 E 1/12 \cdot 400 \cdot 400^3)}{3500} = 4.876.190,476E$$

Kekakuan balok (K_b) = 0

5. Menghitung faktor pengali δ_s untuk momen positif.

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

$$\beta_a = \frac{0,13 \cdot 24 + 0,24}{2,5} = 1,344$$

Tabel 4.1. Nilai-nilai α_{min} yang disyaratkan untuk $\delta_s = 1,0$ adalah :

Portal	A	B	C	D
$\alpha = \frac{E_c b I_b}{E_c s I_s}$	0	0	0	0
L_2 / L_1	1	0,5	1	0,5
α_{min} (tabel 2.1)	0	0	0	0

Portal A

$$\alpha_c \text{ luar} = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} = \frac{4.876.190,476E}{732333,3333E + 0} = 6,6584 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_c \text{ dalam} = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} = \frac{2.872.313,283E}{2(732333,3333E) + 0} = 1,9611 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

Portal B

$$\alpha_c \text{ luar} = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} = \frac{4.876.190,476E}{366166,6667E + 0} = 13,3169 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_c \text{ dalam} = \frac{K_{c1} + K_{c2}}{\sum K_s + \sum K_b} = \frac{4.876.190,476E}{2(366166,6667E) + 0} = 6,6584 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

Portal C

$$\alpha_c \text{ luar} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{4.876.190,476E}{732333.3333E + 0} = 6,6584 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_c \text{ dalam} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.872.313,283E}{2(732333,3333E) + 0} = 1,9611 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

Portal D

$$\alpha_c \text{ luar} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{4.876.190,476E}{366166,6667E + 0} = 13,3169 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_c \text{ dalam} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{4.876.190,476E}{2(366166,6667E) + 0} = 6,6584 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

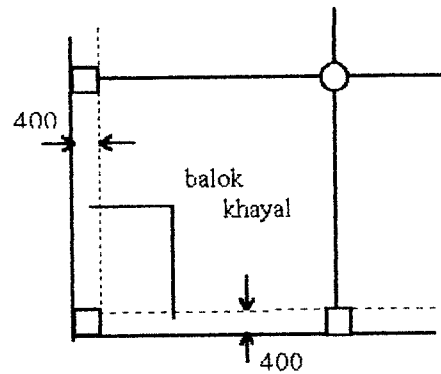
Karena semua harga $\alpha_c > \alpha_{\min}$, maka faktor pembesaran momen $\delta_s = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

6. Menentukan distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.2 atau gambar 3. 4. maka dapat ditentukan distribusinya lihat tabel 4.2.

Tabel 4.2. Distribusi momen arah memanjang untuk perencanaan pelat cendawan

Portal	A	B	C	D
Mo	162,8889	81,4445	162,8889	81,4445
M neg tump eks (0,26 Mo)	42,3511	21,1756	42,3511	21,1756
M pos bentang eks (0,52Mo)	84,7022	42,3511	84,7022	42,3511
M neg tump int pertama (0,7 Mo)	114,0222	57,0111	114,0222	57,0111
M neg tump int (0,65 Mo)	105,8778	52,9389	105,8778	52,9389
M pos bentang int (0,35 Mo)	57,0111	28,5056	57,0111	28,5056

7. Menentukan tetapan torsi dari balok transversal,



Gambar 4.4. Penampang balok melintang terhadap torsi.

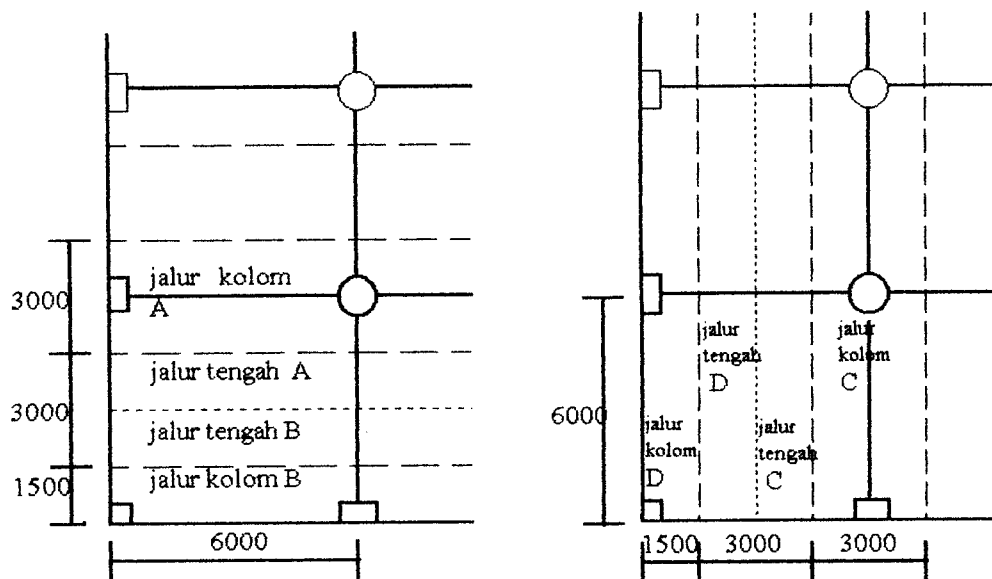
oleh karena sebenarnya tidak digunakan balok-balok tepi, unsur torsi menurut gambar 4.4 adalah merupakan tebal pelat dan lebar kolom.

C untuk balok-balok pendek = C untuk balok-balok panjang

$$C = \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0,63 \frac{130}{400}\right) \frac{130^3 \cdot 400}{3} = 232.955.233,3$$

8. Mendistribusi momen longitudinal ke arah transversal.

Untuk pembagian lebar transversal menjadi jalur kolom dan jalur tengah dapat dilihat pada gambar 4.5



Gambar 4.5. Pembagian Jalur Tengah dan Jalur Kolom pada Pelat Cendawan

9. Perhitungan distribusi arah transversal

a. Momen negatif pada tumpuan eksterior

Portal A

$$l_2 / l_1 = 6000 / 6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 6000 \cdot 130^3 = 1.098.500.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb} C}{2 E_{cs} I_s} = 0,1060 < 2,5 \text{ (dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

Prosentase momen dalam jalur kolom ditetapkan dalam tabel 3.3 yang kemudian diinterpolasi sesuai hasil hitungan diatas.

Momen total sebesar 42,3511 dibagikan 98,9397% untuk jalur kolom dan sisanya 1,0603% untuk jalur tengah.

Portal B

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 3000 \cdot 130^3 = 549.250.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb} C}{2 E_{cs} I_s} = 0,2121 < 2,5 \text{ (dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

Momen total sebesar 21,1756 dibagikan 97,879% untuk jalur kolom dan sisanya 2,121% untuk jalur tengah.

Portal C

$$l_2 / l_1 = 6000/6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 6000 \cdot 130^3 = 1.098.500.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} = 0,106 < 2,5 \text{ (dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

Momen total sebesar 42,3511 dibagikan 98,94% untuk jalur kolom dan sisanya 1,06% untuk jalur tengah.

Portal D

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 3000 \cdot 130^3 = 549.250.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} = 0,2121 < 2,5 \text{ (dengan } E_{cb} = E_{cs})$$

Momen total sebesar 21,1756 dibagikan 97,879% untuk jalur kolom dan sisanya 2,121% untuk jalur tengah.

b. Momen-momen negatif pada tumpuan interior pertama dan tumpuan interior.

Portal A

$$l_2 / l_1 = 6000/6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal B

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal C

$$l_2 / l_1 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal D

$$l_2 / l_1 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

c. Momen-momen positif dalam bentang luar dan bentang dalam.

Oleh karena batas-batas yang ditetapkan untuk $\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$ adalah sama untuk momen positif sehingga identik dengan yang untuk momen-momen negatif seperti yang ditentukan dalam bagian (b). Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom pada semua portal adalah 60% dan sisanya untuk jalur tengah.

Hasil-hasil distribusi transversal dari momen-momen longitudinal dapat dilihat pada tabel 4. 3.

Tabel 4.3. Hasil distribusi transversal dari momen longitudinal perencanaan pelat cendawan

Portal A dan portal C

Lebar total = 6000 mm, lebar jalur kolom = 3000 mm, lebar jalur tengah = 3000 mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	42,3511	84,7022	114,0222	105,8778	57,0111
M pelat jalur kolom	41,9022	50,8213	85,5167	79,4084	34,2067
M pelat jalur tengah	0,4489	33,8809	28,5056	26,4695	22,8044

Portal B dan portal

Lebar total = 3000 mm, lebar jalur kolom = 1500 mm, lebar 1/2 jalur tengah = 1500 mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	21,1756	42,3511	57,0111	52,9389	28,5056
M pelat jalur kolom	20,7265	25,4107	42,7583	39,7042	17,1034
M pelat jalur tengah	0,4491	16,9404	14,2528	13,2347	11,4022

10. Menghitung tulangan pelat berdasarkan momen-momen yang paling menentukan.

Untuk keseragaman diameter tulangan dalam satu jalur maka hitungan penulangan disusun dalam bentuk tabel untuk tiap jalurnya juga langsung diadakan kontrol terhadap kapasitas lenturnya dapat dilihat pada tabel 4. 4. sampai 4. 11.

Tabel 4.4. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal A

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	41,9022	50,8213	85,5167	79,4084	34,2067
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	52,3778	63,5266	106,8958	99,2605	42,7584
5.	Jd = 0,9 d (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	1385,654	1680,598	2827,933	2625,939	1131,173
7.	Asmin=(1,4/fy)bd	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5
9.	As terpakai	1385,654	1680,598	2827,933	2625,939	1131,173
10.	tulangan terpakai	Ø10-140	Ø10-140	Ø10 - 70	Ø10-70	Ø10-140
11.	As ada (mm ²)	1727,875	1727,875	3377,2121	3377,2121	1727,875
12.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	9,0347	9,0347	17,6586	17,6586	9,0347
13.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	69,4486	69,4486	129,9155	129,9155	69,4486
14.	ϕ Mn > Mu	55,5589	55,5589	103,9324	103,9324	55,5589

Tabel 4.5. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal A

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	0,4489	33,8809	28,5056	26,4695	22,8044
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	0,5611	42,3511	35,632	33,0869	28,5055
5.	Jd = 0,9 d (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	14,8446	1120,4	942,6455	875,3141	754,1137
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	1120,5	1120,5	1120,5	1120,5	1120,5
8.	1,33As	19,7433	1490,132	1253,718	1164,167	1002,971
9.	As terpakai	19,7433	1120,5	1120,5	1120,5	1002,971
10.	tulangan terpakai	Ø10 -200	Ø10-200	Ø10 - 200	Ø10-200	Ø10-200
11.	As ada (mm ²)	1178,097	1178,097	1178,097	1178,097	1178,097
12.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
13.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	48,0287	48,0287	48,0287	48,0287	48,0287
14.	ϕ Mn > Mu	38,4229	38,4229	38,4229	38,4229	38,4229

Tabel 4.6. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal B

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	20,7265	25,4107	42,7583	39,7042	17,1034
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	25,9081	31,7634	53,4479	49,6303	21,3793
5.	Jd = 0,9 d (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	685,4001	840,3009	1413,964	1312,969	565,5886
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	551,25	551,25	551,25	551,25	551,25
8.	As terpakai	685,4001	840,3009	1413,964	1312,969	565,5886
9.	tulangan terpakai	Ø10 -140	Ø10-140	Ø10 -70	Ø10-70	Ø10-140
10.	As ada (mm ²)	863,9378	863,9378	1492,256	1492,256	863,9378
11.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	9,0347	9,0347	15,6053	15,6053	9,0347
12.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	34,7243	34,7243	58,0173	58,0173	34,7243
13.	ϕ Mn > Mu	27,7794	27,7794	46,4139	46,4139	27,7794

Tabel 4.7. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal B

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	M_u (kNm)	0,4491	16,9404	14,2528	13,2347	11,4022
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	$M_n = M_u / \phi$ (kNm)	0,5614	21,1755	17,816	16,5434	14,2528
5.	$J_d = 0,9 d$ (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	$A_s = M_n / f_y \cdot J_d$ (mm ²)	14,8512	560,1984	471,3227	437,6554	377,0568
7.	$A_{smin} = (1,4 / f_y) b \cdot d$	551,25	551,25	551,25	551,25	551,25
8.	$1,33 A_s$	19,7521	745,0638	626,8592	582,0817	501,4856
9.	A_s terpakai	19,7521	560,1984	551,25	551,25	501,4856
10.	tulangan terpakai	Ø10 -200	Ø10-200	Ø10 -200	Ø10-200	Ø10-200
11.	A_s ada (mm ²)	628,3184	628,3184	628,3184	628,3184	628,3184
12.	$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 f_c' \cdot b)$	6,5707	6,5707	6,5707	6,5707	6,5707
13.	$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$ (kNm)	25,5637	25,5637	25,5637	25,5637	25,5637
14.	$\phi M_n > M_u$	20,4509	20,4509	20,4509	20,4509	20,4509

Tabel 4.8. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal C

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	M_u (kNm)	41,9022	50,8213	85,5167	79,4084	34,2067
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	$M_n = M_u / \phi$ (kNm)	52,3778	63,5266	106,8958	99,2605	42,7584
5.	$J_d = 0,9 d$ (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	$A_s = M_n / f_y \cdot J_d$ (mm ²)	1531,513	1857,503	3125,61	2902,353	1250,244
7.	$A_{smin} = (1,4 / f_y) b \cdot d$	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
8.	As terpakai	1531,513	1857,503	3125,61	2902,353	1250,244
9.	tulangan terpakai	Ø10 -130	Ø10-130	Ø10 -65	Ø10-65	Ø10-130
10.	As ada (mm ²)	1884,955	1884,955	3691,3714	3691,3714	1884,955
11.	$a = (A_{sada} \cdot f_y) / (0,85 f_c' \cdot b)$	9,856	9,856	19,3013	19,3013	9,856
12.	$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$ (kNm)	67,9127	67,9127	126,0225	126,0225	67,9127
13.	$\phi M_n > M_u$	54,3301	54,3301	100,8179	100,8179	54,3301

Tabel 4. 9. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal C

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dm negatif	negatif	positif
1.	M_u (kNm)	0,4489	33,8809	28,5056	26,4695	22,8044
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	$M_n = M_u / \phi$ (kNm)	0,5611	42,3511	35,632	33,0869	28,5055
5.	$J_d = 0,9 d$ (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	$A_s = M_n / f_y J_d$ (mm ²)	16,4072	1238,336	1041,871	967,4524	833,4941
7.	$A_{smin} = (1,4 / f_y) b \cdot d$	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
8.	1,33 A_s	21,8215	1646,988	1385,688	1286,711	1108,547
9.	A_s terpakai	21,8215	1238,336	1041,871	997,5	997,5
10.	tulangan terpakai	Ø10 -180	Ø10-180	Ø10 -180	Ø10-180	Ø10-180
11.	A_s ada (mm ²)	1256,636	1256,636	1256,636	1256,636	1256,636
12.	$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 f_c' \cdot b)$	6,5707	6,5707	6,5707	6,5707	6,5707
13.	$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$ (kNm)	46,1008	46,1008	46,1008	46,1008	46,1008
14.	$\phi M_n > M_u$	36,8806	36,8806	36,8806	36,8806	36,8806

Tabel 4. 10. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal D

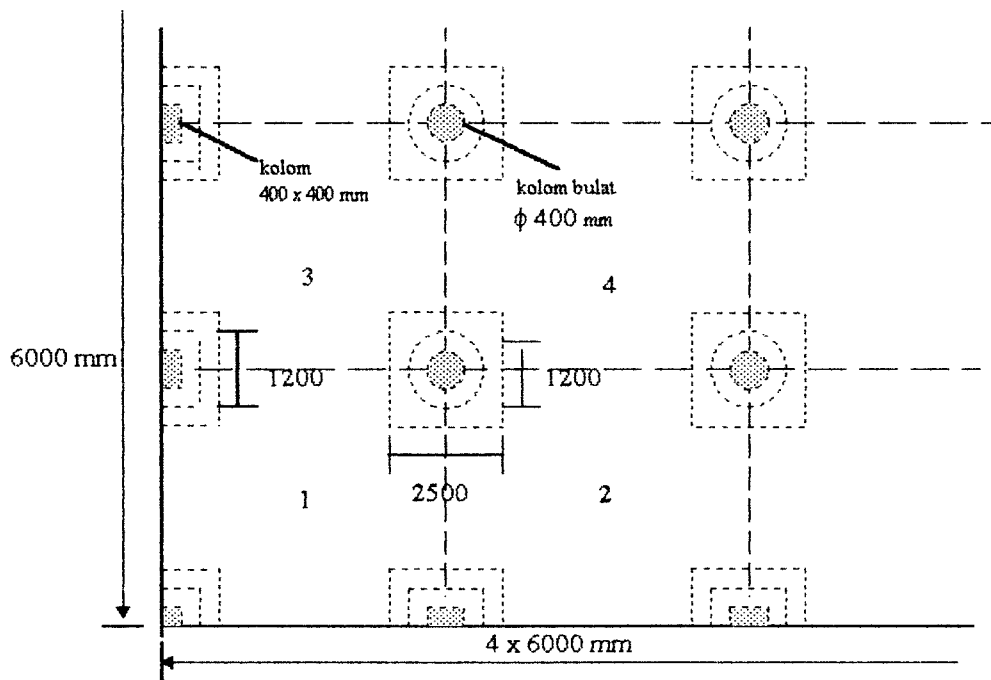
No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	20,7265	25,4107	42,7583	39,7042	17,1034
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	25,9081	31,7634	53,4479	49,6303	21,3793
5.	Jd = 0,9 d (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	757,5475	928,7536	1562,803	1451,176	625,1242
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75
8.	As terpakai	757,57475	928,7536	1562,803	1451,176	625,1242
9.	tulangan terpakai	Ø10 -130	Ø10-130	Ø10 -65	Ø10-65	Ø10-130
10.	As ada (mm ²)	942,4776	942,4776	1884,9556	1884,9556	942,4776
11.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	9,856	9,856	19,7119	19,7119	9,856
12.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	33,9563	33,9563	64,1971	64,1971	33,9563
13.	ϕ Mn > Mu	27,16810	27,16810	51,3577	51,3577	27,16810

Tabel 4. 11. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal D

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	0,4491	16,9404	14,2528	13,2347	11,4022
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	0,5614	21,1755	17,816	16,4534	14,2528
5.	Jd = 0,9 d (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	16,4145	619,1666	520,9356	483,7244	416,7470
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75
8.	1,33 As	21,8313	823,4916	692,844	643,3535	554,2736
9.	As terpakai	21,8313	619,1666	520,9356	498,75	498,75
7.	tulangan terpakai	Ø10 -180	Ø10-180	Ø10 -180	Ø10-180	Ø10-180
8.	As ada (mm ²)	706,8583	706,8583	706,8583	706,8583	706,8583
9.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	7,3919	7,3919	7,3919	7,3919	7,3919
10.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	25,8156	25,8156	25,8156	25,8156	25,8156
11.	ϕ Mn > Mu	20,6525	20,6525	20,6525	20,6525	20,6525

4.1.2. Perencanaan pelat atap cendawan

Di dalam aplikasi numerik direncanakan pelat atap cendawan pada bangunan gedung bertingkat 4 dengan ukuran seperti gambar 4.6. Lantai dibagi 16 panel dengan ukuran masing-masing 6000 x 6000 mm. Kekuatan beton $f_c = 30$ Mpa dan kekuatan baja $f_y = 400$ Mpa. Beban hidup layan yang harus dipikul $1,0$ kN/m². Tinggi tingkat 3500 mm. Kolom luar bujur sangkar dengan ukuran 400 x 400 mm dan kolom dalam adalah bulat dengan diameter 400 mm. Tebal pelat diasumsikan 140 mm dan tebal drop panel 190 mm.



Gambar 4.6. Denah Perencanaan Pelat Cendawan

Tahap perencanaan pelat atap cendawan adalah sebagai berikut :

1. Memeriksa tebal pelat persyaratan nominal balok tepi dan pertebalan pelat dikepala kolom.

a. Berdasarkan persyaratan lendutan.

Dengan tidak adanya balok sepanjang sisi dari semua panel $\alpha_m = 0$, maka :

Bentang bersih panel luar dan panel dalam :

$$L_n = 6000 - 1200 = 4800 \text{ mm.}$$

Tebal minimum pelat tanpa balok interior untuk panel dalam menurut tabel 2.1. adalah :

$$h_{\min} = \frac{L_n}{36} = \frac{4800}{36} = 133,33 \text{ mm} < 140 \text{ mm} \quad \text{OK!}$$

dan tidak perlu lebih dari :

$$h_{\min} = \frac{L_n (0,8 + (f_y/1500))}{36} = \frac{4800 (0,8 + (400/1500))}{36} = 142,222 \text{ mm} > 140 \text{ mm}$$

Oleh Karena ukuran pertebalan pelat pada setiap arah lebih besar dari 1/6 panjang bentang (1000 mm) dan proyeksi 50 mm pertebalan dibawah pelat adalah lebih dari 1/4 tebal pelat (35 mm). Maka tebal minimum pelat dapat direduksi 10%.

Tebal pelat 140 cukup atau $(140 - 10\%(140)) = 126 \text{ mm} \sim 130 \text{ mm}$
(dipakai)

b. Berdasarkan persyaratan geser.

(1). Aksi balok lebar (satu arah)

Pemeriksaan aksi ini dilakukan dalam arah memanjang untuk potongan 1-1 dan 2-2 lihat gambar 4.7. (a).

$$W_d \text{ pelat lantai} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ air hujan} = 0,1 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ total} = 3,22 \text{ kN/m}^2$$

$$W_i = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 1,2 (3,22) + 1,6 (1,0) = 5,524 \text{ kN/m}^2$$

Untuk pot 1-1 :

$$V_u = W_u \cdot 6 \cdot (2,235)$$

$$= 5,524 \cdot 6 \cdot 2,235 = 74,0768 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = \phi (\sqrt{f_c} / 6) b_w d$$

$$= 0,6 (\sqrt{30} / 6) 6000 \cdot 105$$

$$= 345065,2112 \text{ N} = 345,0652 \text{ kN} > V_u$$

Jika $b_w = 2500 \text{ mm}$ dan $d = 165 \text{ mm}$ dengan kenyataan bahwa peningkatan tinggi d hanya ada selebar 2500 mm .

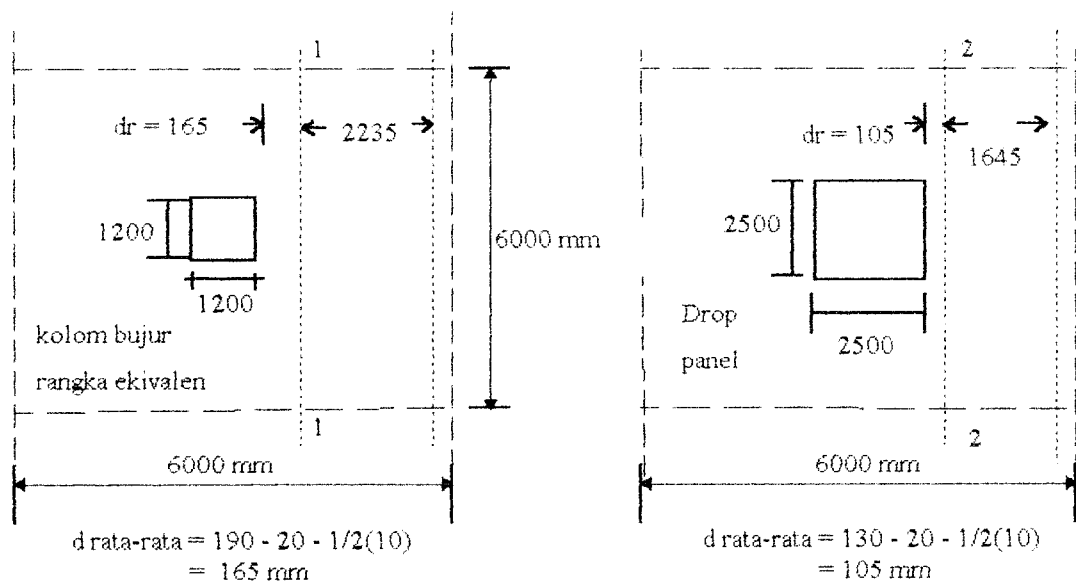
$$\phi V_c = 0,6 (\sqrt{30} / 6) 2500 \cdot 165 = 225935,555 \text{ N} = 225,9356 \text{ kN} > V_u$$

pot 2-2 :

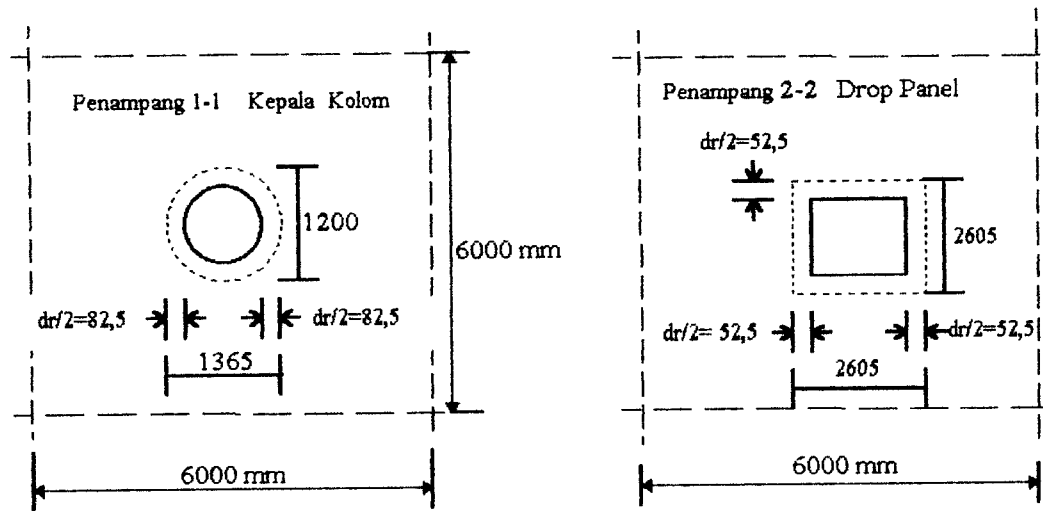
$$\begin{aligned} V_u &= W_u \cdot 6 \cdot 1,645 \\ &= 5,524 \cdot 6 \cdot 1,645 = 54,5219 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi (\sqrt{f_c}'/6) b_w d \\ &= 0,6 (\sqrt{30}/6) 6000 \cdot 105 = 345065,2112 \text{ N} = 345,0652 \text{ kN} > V_u \end{aligned}$$

Aksi balok lebar (satu arah) jarang menentukan.



a. Aksi balok lebar



b. Aksi dua arah

Gambar 4.7. Penampang Kritis untuk Geser Pelat Cendawan

(2). Aksi dua arah

Penampang kritis untuk aksi dua arah adalah penampang lingkaran 1-1 dan penampang persegi 2-2 lihat gambar 4.7. (b).

Penampang 1-1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &= W_u \left\{ (6 \times 6) - \frac{1}{4} \pi d^2 \right\} + 1,6 W_{dd} \left\{ (2,5 \times 2,5) - \frac{1}{4} \pi d^2 \right\} \\
 &= 5,524 \left\{ (6 \times 6) - \frac{1}{4} \pi \cdot 1,365^2 \right\} + 1,6 \cdot 1,2 \left\{ (2,5 \times 2,5) - \frac{1}{4} \pi \cdot 1,365^2 \right\} \\
 &= 199,9706 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

dengan W_{dd} = berat drop panel dengan tebal 50 mm.

$$= 0,05 \times 24 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \left(1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b \cdot d \\ &= 0,6 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 2\pi \left(\frac{1365}{2} \right) \cdot 165 = 1162,6483 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3} \right) \cdot b_o \cdot d \\ &= 0,6 \left(\frac{\sqrt{30}}{3} \right) \cdot 2\pi \left(\frac{1365}{2} \right) \cdot 165 = 775,0988 \text{ kN}\end{aligned}$$

dipakai $\phi V_c = 775,0988 \text{ kN} > V_u$ OK !

Penampang 2-2 :

$$V_u = W_u (6 \times 6 - (2,605 \times 2,605)) = 5,524 (36 - 5,21) = 170,0839 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \left(1 + \frac{2}{1} \right) \left(\frac{\sqrt{30}}{6} \right) \cdot 2(2605 + 2605) \cdot 105 = 1797,7898 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,6 \left(\frac{\sqrt{30}}{3} \right) \cdot 2(2605 + 2605) \cdot 105 = 1198,5265 \text{ kN}$$

dipakai $\phi V_c = 1198,5265 \text{ kN} > V_u$ OK!

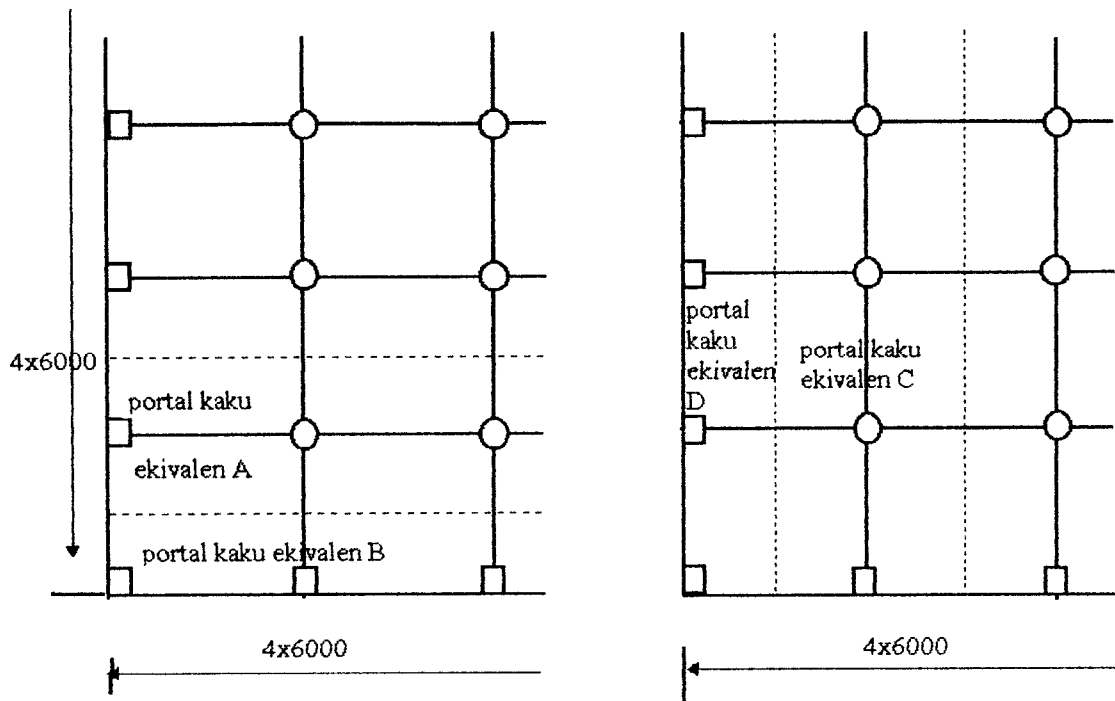
Karena untuk aksi dua arah dan satu arah untuk semua nilai $V_u < \phi V_n$ maka tebal pelat 130 mm memenuhi syarat sehingga tidak memerlukan tulangan geser.

2. Pengontrolan persyaratan Metode Perencanaan Langsung.

Menurut batasan dalam metode perencanaan langsung, kelima batasan pertama secara pemeriksaan dipenuhi. Untuk batasan keenam tidak berlaku karena tidak memakai balok.

3. Menghitung momen statis total terfaktor (M_o) :

Momen statis total terfaktor (M_o) pelat dihitung dengan membagi pelat menjadi portal kaku ekuivalen, lihat gambar 4. 8.



Gambar 4.8. Portal Kaku Ekuivalen Pelat Cendawan

$$\text{Portal A} \quad M_o = 1/8 W_u l_2 l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2$$

$$= 1/8 \cdot 5,524 \cdot 6 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 112,0267 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 56,0134 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal C} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 6 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 112,0267 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal D} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_1^2 \left(1 - \frac{2c}{3l_1}\right)^2 \\ &= 1/8 \cdot 8,032 \cdot 3 \cdot 6^2 \left(1 - \frac{2 \cdot 1,2}{3 \cdot 6}\right)^2 = 56,0134 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Permukaan bujur sangkar ekuivalen untuk kepala kolom mempunyai sisi sebesar 1,2m dengan L_n yang diukur ke sisi kepala kolom (ekivalen),

$$\begin{aligned} \text{Portal A} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 5,524 \cdot 6 \cdot (6-1,2)^2 = 95,4547 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal B} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 5,524 \cdot 3 \cdot (6-1,2)^2 = 47,7274 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal C} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 5,524 \cdot 6 \cdot (6-1,2)^2 = 95,4547 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Portal D} \quad M_o &= 1/8 W_u \cdot l_2 \cdot l_n^2 \\ &= 1/8 \cdot 5,524 \cdot 3 \cdot (6-1,2)^2 = 47,7274 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sejauh pelat cendawan dan kepala kolom dipentingkan, terlihat bahwa harga yang terbesar adalah 112,0267 kNm dan 56,0134 kNm , Momen terpakai $M_o = 112,0267 \text{ Knm}$ dan $56,0134 \text{ kNm}$

4. Menghitung kekakuan pelat balok dan kolom

Kekakuan pelat (K_s)

$$K_s \text{ portal A} = \frac{4 E I_s}{l_1} = \frac{4 E (1/12) 6000 \cdot 130^3}{6000} = 732.333,3333E$$

$$K_s \text{ portal B} = \frac{4 E I_s}{l_1} = \frac{4 E (1/12) 3000 \cdot 130^3}{6000} = 366.166,6667E$$

$$K_s \text{ portal C} = \frac{4 E I_s}{l_1} = \frac{4 E (1/12) 6000 \cdot 130^3}{6000} = 732.333,3333E$$

$$K_s \text{ portal D} = \frac{4 E I_s}{l_1} = \frac{4 E (1/12) 3000 \cdot 130^3}{6000} = 366.166,6667E$$

Kekakuan kolom (K_c)

ΣK_c (kolom-kolom dalam bawah bulat)

$$\Sigma K_c = \frac{(4 E I_c)}{L_c} = \frac{(4 E \pi 400^4 (1/64))}{3500} = 1.436.156,642E$$

ΣK_c (kolom-kolom luar bawah persegi)

$$\Sigma K_c = \frac{(4 E I_c)}{L_c} = \frac{(4 E 1/12 \cdot 400 \cdot 400^3)}{3500} = 2.438.095,238E$$

Kekakuan balok (K_b) = 0

5. Menghitung faktor pengali δ_c untuk momen positif.

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

$$\beta_a = \frac{0,13 \cdot 24 + 0,1}{1,0} = 3,22$$

Tabel 4.12. Nilai-nilai α_{min} yang disyaratkan untuk $\delta_3 = 1,0$ adalah :

Portal	A	B	C	D
$\alpha = \frac{Kcb \cdot lb}{Ecs \cdot Is}$	0	0	0	0
L_2 / L_1	1	0,5	1	0,5
α_{min} (tabel 3.1.)	0	0	0	0

Portal A

$$\alpha_{c \text{ luar}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,283E}{732333,3333E + 0} = 3,3292 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_{c \text{ dalam}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{1.436.156,642E}{2(732333,3333E) + 0} = 0,9806 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

Portal B

$$\alpha_{c \text{ luar}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,238E}{366166,6667E + 0} = 6,6505 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_{c \text{ dalam}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,238E}{2(366166,6667E) + 0} = 3,3292 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s =$$

1,0

Portal C

$$\alpha_{c \text{ luar}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,238E}{732333,3333E + 0} = 3,3292 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_{c \text{ dalam}} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{1.436.156,642E}{2(732333,3333E) + 0} = 0,9806 > \alpha_{min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

Portal D

$$\alpha_c \text{ luar} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,238E}{366166,6667E + 0} = 6,6505 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

$$\alpha_c \text{ dalam} = \frac{Kc1 + Kc2}{\sum Ks + \sum Kb} = \frac{2.438.095,238E}{2(366166,6667E) + 0} = 3,3292 > \alpha_{\min}, \text{ maka } \delta_s = 1,0$$

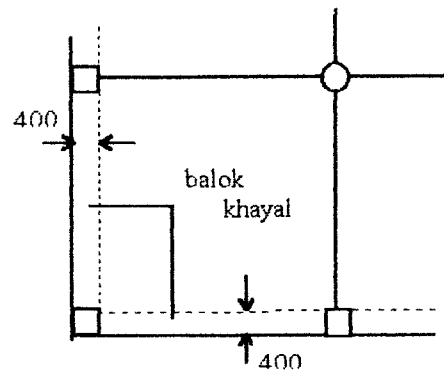
Karena semua harga $\alpha_c > \alpha_{\min}$, maka faktor pembesaran momen $\delta_s = 1,0$ berarti besar momen positif tetap.

6. Menentukan distribusi momen diarah longitudinal berdasarkan tabel 3.2 atau gambar 3. 4. maka dapat ditentukan distribusinya lihat tabel 4.13.

Tabel 4.13. Distribusi momen arah memanjang untuk perencanaan pelat cendawan

Portal	A	B	C	D
Mo	112,0267	56,0134	112,0267	56,0134
M neg tump eks (0,26 Mo)	29,1269	14,5635	29,1269	14,5635
M pos bentang eks (0,52Mo)	58,2539	29,1269	58,2539	29,1269
M neg tump int pertama (0,7 Mo)	78,4187	39,2094	78,4187	39,2094
M neg tump.int (0,65 Mo)	72,8174	36,4087	72,8174	36,4087
M pos bentang int (0,35 Mo)	39,2093	19,6047	39,2093	19,6047

7. Menentukan tetapan torsi dari balok transversal,



Gambar 4.9. Penampang balok melintang terhadap torsi.

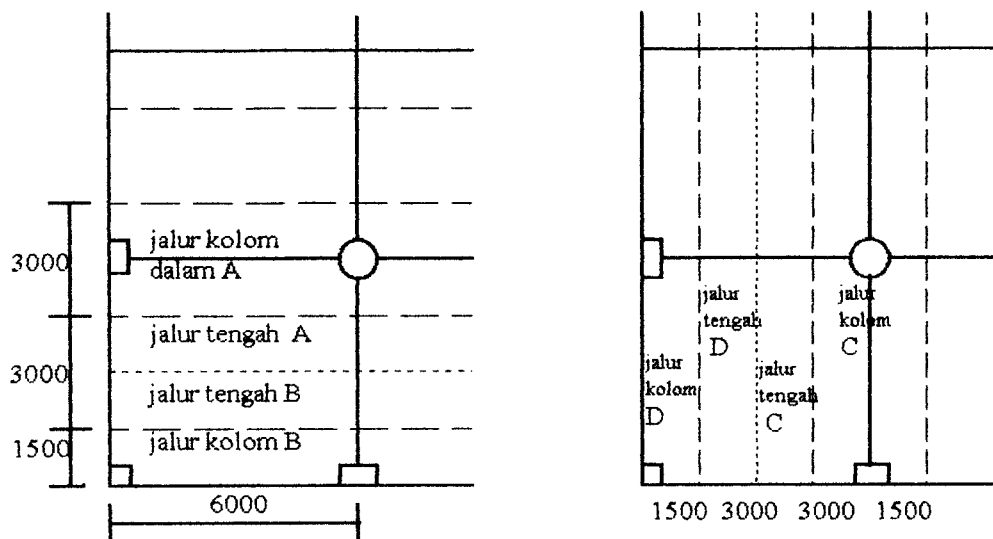
oleh karena sebenarnya tidak digunakan balok-balok tepi, unsur torsi menurut gambar 4.9 adalah merupakan tebal pelat dan lebar kolom.

C untuk balok-balok pendek = C untuk balok-balok panjang

$$C = \left(1 - 0,63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0,63 \frac{130}{400}\right) \frac{130^3 \cdot 400}{3} = 232.955.233,3$$

8. Mendistribusi momen longitudinal ke arah transversal.

Untuk pembagian lebar transversal menjadi jalur kolom dan jalur tengah dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10. Pembagian jalur tengah dan jalur kolom pada pelat cendawan

9. Hitungan distribusi arah transversal

a. Momen negatif pada tumpuan eksterior

Portal A

$$l_2 / l_1 = 6000 / 6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 6000 \cdot 130^3 = 1.098.500.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{Ecb C}{2Ecs Is} = 0,1060 < 2,5 \text{ (dengan } Ecb = Ecs)$$

Prosentase momen dalam jalur kolom ditetapkan dalam tabel 3.3 yang kemudian diinterpolasi sesuai hasil hitungan diatas.

Momen total sebesar 29,1269 dibagikan 98,9397% untuk jalur kolom dan sisanya 1,0603% untuk jalur tengah.

Portal B

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$Is = 1/12 \cdot 3000 \cdot 130^3 = 549.250.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{Ecb C}{2Ecs Is} = 0,2121 < 2,5 \text{ (dengan } Ecb = Ecs)$$

Momen total sebesar 14,5635 dibagikan 97,879% untuk jalur kolom dan sisanya 2,121% untuk jalur tengah.

Portal C

$$l_2 / l_1 = 6000/6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$Is = 1/12 \cdot 6000 \cdot 130^3 = 1.098.500.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{Ecb C}{2Ecs Is} = 0,106 < 2,5 \text{ (dengan } Ecb = Ecs)$$

Momen total sebesar 29,1269 dibagikan 98,94% untuk jalur kolom dan sisanya 1,06% untuk jalur tengah.

Portal D

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

$$C = 232.955.233,3$$

$$I_s = 1/12 \cdot 3000 \cdot 130^3 = 549.250.000 \text{ mm}^4$$

$$\beta_1 = \frac{Ecb C}{2Ecs Is} = 0,2121 < 2,5 \text{ (dengan } Ecb = Ecs)$$

Momen total sebesar 14,5635 dibagikan 97,879% untuk jalur kolom dan sisanya 2,121% untuk jalur tengah.

b. Momen-momen negatif pada tumpuan interior pertama dan tumpuan interior.

Portal A

$$l_2 / l_1 = 6000/6000 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal B

$$l_2 / l_1 = 3000/6000 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal C

$$l_2 / l_1 = 1$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

Portal D

$$l_2 / l_1 = 0,5$$

$$\alpha_1 = 0$$

$$\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$$

Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom sebesar 75% dan sisanya untuk jalur tengah.

c. Momen-momen positif dalam bentang luar dan bentang dalam.

Oleh karena batas-batas yang ditetapkan untuk $\alpha_1 l_2 / l_1 = 0$ adalah sama untuk momen positif sehingga identik dengan yang untuk momen-momen negatif

seperti yang ditentukan dalam bagian (b). Menurut tabel 3.3. prosentase untuk jalur kolom pada semua portal adalah 60% dan sisanya untuk jalur tengah.

Hasil-hasil distribusi transversal dari momen-momen longitudinal dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14. Hasil distribusi transversal dari momen longitudinal perencanaan pelat cendawan.

Portal A dan portal C

Lebar total = 6000 mm, lebar jalur kolom = 3000 mm, lebar jalur tengah = 3000 mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	29,1269	58,2539	78,4187	72,8174	39,2093
M pelat jalur kolom	28,8181	34,9523	58,8140	54,6131	23,5256
M pelat jalur tengah	0,3088	23,3016	19,6047	18,2044	15,6837

Portal B dan portal D

Lebar total = 3000 mm, lebar jalur kolom = 1500 mm, lebar 1/2 jalur tengah = 1500 mm					
	Bentang luar			Bentang dalam	
	luar negatif	positif	dlm negatif	negatif	positif
M total	14,5635	29,1269	39,2094	36,4087	19,6047
M pelat jalur kolom	14,2546	17,4761	29,4071	27,3065	11,7628
M pelat jalur tengah	0,3089	11,6508	9,8024	9,1022	7,8419

10. Menghitung tulangan pelat berdasarkan momen-momen yang paling menentukan.

Untuk keseragaman diameter tulangan dalam satu jalur maka hitungan penulangan disusun dalam bentuk tabel untuk tiap jalurnya juga langsung diadakan kontrol kapasitas lenturnya lihat tabel 4.15. sampai 4. 22.

Tabel 4. 15. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal A

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	28,8181	34,9523	58,8140	54,6131	23,5256
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	$Mn = Mu/\phi$ (kNm)	36,0226	43,6904	73,5175	68,2664	29,407
5.	$Jd = 0,9 d$ (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	$As = Mn/fy.Jd$ (mm ²)	952,9794	1155,83	1944,907	1805,988	777,9629
7.	$Asmin = (1,4/fy)b.d$	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5
8.	1,33As	1267,462	1537,253	2586,726	2401,965	1034,69
9.	As terpakai	1102,5	1155,83	1944,907	1805,988	1034,69
10.	tulangan terpakai	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-200
11.	As ada (mm ²)	1178,097	1178,097	2356,1945	2356,1945	1178,097
12.	$a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)$	6,16	6,16	12,3199	12,3199	6,16
13.	$Mn = As.fy(d-a/2)$ (kNm)	48,0287	48,0287	93,1545	93,1545	48,0287
14.	$\phi Mn > Mu$	38,4229	38,4229	74,5236	74,5236	38,4229

Tabel 4. 16. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal A

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	M_u (kNm)	0,3088	23,3016	19,6047	18,2044	15,6837
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	$M_n = M_u / \phi$ (kNm)	0,386	29,127	24,5059	22,7555	19,6046
5.	$J_d = 0,9 d$ (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	$A_s = M_n / f_y \cdot J_d$ (mm ²)	10,2116	770,5555	648,3035	601,9973	518,6408
7.	$A_{smin} = (1,4 / f_y) b \cdot d$	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5	1102,5
8.	$1,33 A_s$	13,5815	1024,838	862,2437	800,6564	689,7924
9.	A_s terpakai	13,5815	1024,838	862,2437	800,6565	689,7924
10.	tulangan terpakai	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230
11.	A_s ada (mm ²)	1099,557	1099,557	1099,557	1099,557	1099,557
12.	$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 f_c' \cdot b)$	5,7493	5,7493	5,7493	5,7493	5,7493
13.	$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$ (kNm)	44,9171	44,9171	44,9171	44,9171	44,9171
14.	$\phi M_n > M_u$	35,9336	35,9336	35,9336	35,9336	35,9336

Tabel 4. 17. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal B

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	14,2546	17,4761	29,4071	27,3065	11,7628
2.	d efektif (mm)	105	105	105	105	105
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	17,8183	21,8451	36,7589	34,1331	14,7035
5.	Jd = 0,9 d (mm)	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	471,3822	577,9133	972,457	902,9927	388,9814
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	551,25	551,25	551,25	551,25	551,25
8.	1,33As	626,9384				517,3454
9.	As terpakai	551,25	577,9133	972,457	902,9927	517,3454
10.	tulangan terpakai	Ø10-200	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-100	Ø10-200
11.	As ada (mm ²)	628,3184	628,3184	1256,6368	1256,6368	628,3184
12.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	6,5707	6,5707	13,1413	13,1413	6,5707
13.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	25,5637	25,5637	49,4759	49,4759	25,5637
14.	ϕ Mn > Mu	20,4509	20,4509	39,5808	39,5808	20,4509

Tabel 4. 19. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur kolom portal C

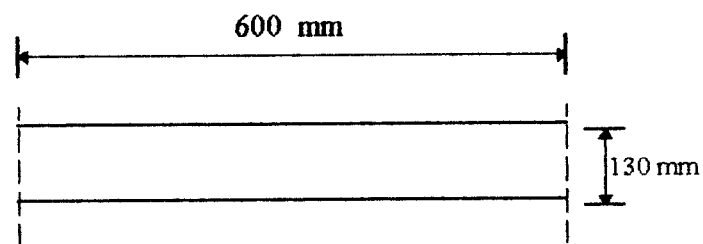
No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	Mu (kNm)	28,8181	34,9523	58,8140	54,6131	23,5256
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	3000	3000	3000	3000	3000
4.	Mn= Mu/ ϕ (kNm)	36,0226	43,6904	73,5175	68,2664	29,407
5.	Jd = 0,9 d (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	As=Mn/fy.Jd(mm ²)	1053,293	1277,496	2149,634	1996,092	859,8538
7.	Asmin=(1,4/fy)b.d	997,5	997,5	997,5	997,5	997,5
8.	1,33As					1143,605
9.	As terpakai	1053,293	1277,496	2149,634	1996,092	997,5
10.	tulangan terpakai	Ø10-180	Ø10-180	Ø10-90	Ø10-90	Ø10-180
11.	As ada (mm ²)	1335,176	1335,176	2670,3538	2670,3538	1335,176
12.	a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)	6,9813	6,9813	13,9626	13,9626	6,9813
13.	Mn = As.fy(d-a/2) (kNm)	48,8725	48,8725	94,0164	94,0164	48,8725
14.	ϕ Mn > Mu	39,098	39,098	75,2131	75,2131	39,098

Tabel 4. 22. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur pada jalur tengah portal D

No	Penampang kritis	Bentang luar			Bentang dalam	
		lr negatif	positif	dl negatif	negatif	positif
1.	M_u (kNm)	0,3089	11,6508	9,8024	9,1022	7,8419
2.	d efektif (mm)	95	95	95	95	95
3.	b lebar jalur (mm)	1500	1500	1500	1500	1500
4.	$M_n = M_u / \phi$ (kNm)	0,3861	14,5635	12,253	11,3778	9,8024
5.	$J_d = 0,9 d$ (mm)	85,5	85,5	85,5	85,5	85,5
6.	$A_s = M_n / f_y J_d$ (mm ²)	11,2902	425,8333	358,2748	332,6827	286,6194
7.	$A_{smin} = (1,4 / f_y) b \cdot d$	498,75	498,75	498,75	498,75	498,75
8.	1,33 A_s	15,016	566,3583	476,5055	442,4681	381,2034
9.	A_s terpakai	15,016	498,75	476,5056	442,4681	381,2034
10.	tulangan terpakai	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230	Ø10-230
11.	A_s ada (mm ²)	549,7786	549,7786	549,7786	549,7786	549,7786
12.	$a = (A_s \cdot f_y) / (0,85 f_c' \cdot b)$	20,2594	20,2594	20,2594	20,2594	20,2594
13.	$M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2)$ (kNm)	16,2075	16,2075	16,2075	16,2075	16,2075
14.	$\phi M_n > M_u$	12,966	12,966	12,966	12,966	12,966

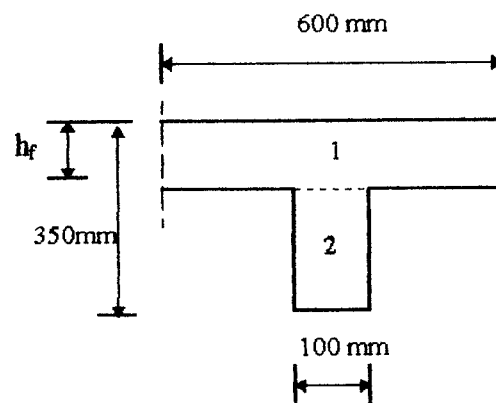
4. 2. Perencanaan Pelat *Waffle Slab*

Agar komparasi penulangan flat slab dan waffle slab lebih obyektif, maka direncanakan luas penampang *flat slab* = luas penampang *waffle slab*



$$A = 600 \times 130 \text{ mm}$$

$$= 78 \times 10^3 \text{ mm}^2$$



$A_{\text{flat slab}} = A_{\text{Waffle slab}}$

$A_{\text{flat slab}} = A_1 + A_2$

$$= 600 \cdot hf + 100 (350 - hf)$$

$$= 600hf + 35000 - 100hf$$

$$78000 = 35000 + 500hf$$

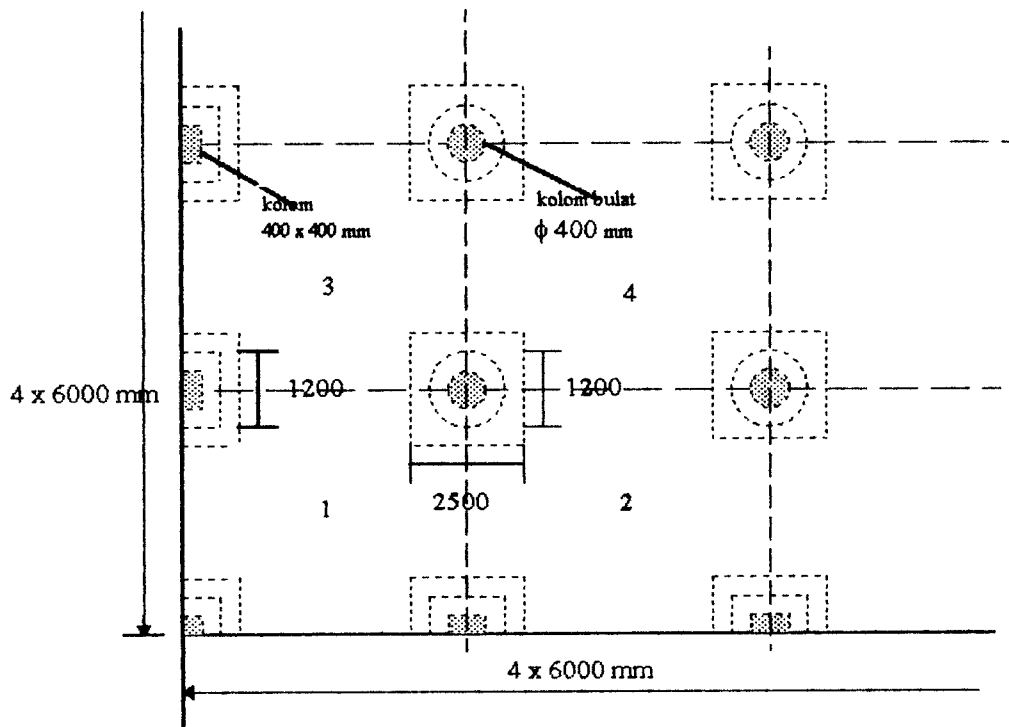
$$500 hf = 78000 - 35000$$

$$43000 = 500 hf$$

$$hf = 86 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$$

4. 2. 1. Perencanaan Pelat Lantai *Waffle Slab*

Di dalam aplikasi perencanaan numerik direncanakan pelat lantai *waffle* pada bangunan gedung bertingkat 4 dengan ukuran seperti gambar 4.11. Lantai dibagi 16 panel dengan ukuran masing-masing 6000 x 6000 mm. Kekuatan beton $f'_c = 30 \text{ Mpa}$ dan kekuatan baja $f_y = 400 \text{ Mpa}$. Beban hidup layan yang harus dipikul $2,50 \text{ kN/m}^2$. Tinggi tingkat 3500 mm. Kolom luar bujur sangkar dengan ukuran 400 x 400 mm dan kolom dalam adalah bulat dengan diameter 400 mm. Tebal pelat diasumsikan 90 mm dan tebal drop panel 350 mm.



Gambar 4. 11. Denah Perencanaan Pelat *Waffle*

Tahap-tahap perencanaan pelat *waffle* adalah sebagai berikut :

1. Syarat-syarat batas dan bentang

Pelat terjepit elastis, sebagai bentang dapat dianggap jarak jarak pusat ke pusat tumpuan :

$$\left. \begin{aligned} l_x &= 500 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 100 = 600 \text{ mm} \\ l_y &= 500 + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 100 = 600 \text{ mm} \end{aligned} \right\} l_y / l_x = 1$$

persyaratan tebal pelat untuk perencanaan pelat berusuk menurut SK SNI-T-15-1991- 03 adalah sebagai berikut :

$$h_f \geq l_n / 12 = 500 / 12 = 41,667 \text{ mm}$$

dipakai tebal pelat (h_f) = 90 mm > 41,667 mm

2. Pembebanan

$$W_d \text{ pelat lantai} = 0,09 \times 24 = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

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

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

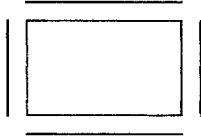
$$W_i = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 1,2 (2,4) + 1,6 (2,5)$$

$$= 6,88 \text{ kN/m}^2$$

Pelat direncanakan sebagai pelat yang terjepit elastis, menurut SK SNI-T-15-1991-03



$$m_{lx} = 0,001 W_u l_x^2 \cdot x$$

$$m_{ly} = 0,001 W_u l_y^2 \cdot x$$

$$m_{tx} = - 0,001 W_u l_x^2 \cdot x$$

$$m_{ty} = - 0,001 W_u l_y^2 \cdot x$$

$$c_{ly} = c_{lx} = 25$$

$$c_{tx} = c_{ty} = 51$$

$$m_{lx} = 0,001 W_u l_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 6,88 \cdot 0,6^2 \cdot 25 = 0,06192 \text{ kNm}$$

$$m_{ly} = 0,001 W_u l_y^2 \cdot x = 0,001 \cdot 6,88 \cdot 0,6^2 \cdot 25 = 0,06192 \text{ kNm}$$

$$m_{tx} = - 0,001 W_u l_x^2 \cdot x = 0,001 \cdot 6,88 \cdot 0,6^2 \cdot 51 = - 0,1263 \text{ kNm}$$

$$m_{ty} = - 0,001 W_u l_y^2 \cdot x = 0,001 \cdot 6,88 \cdot 0,6^2 \cdot 51 = - 0,1263 \text{ kNm}$$

$$\text{Tinggi efektif } d \text{ dalam arah } x \quad d_x = 1/2 h_f = 1/2 \cdot 90 = 45 \text{ mm}$$

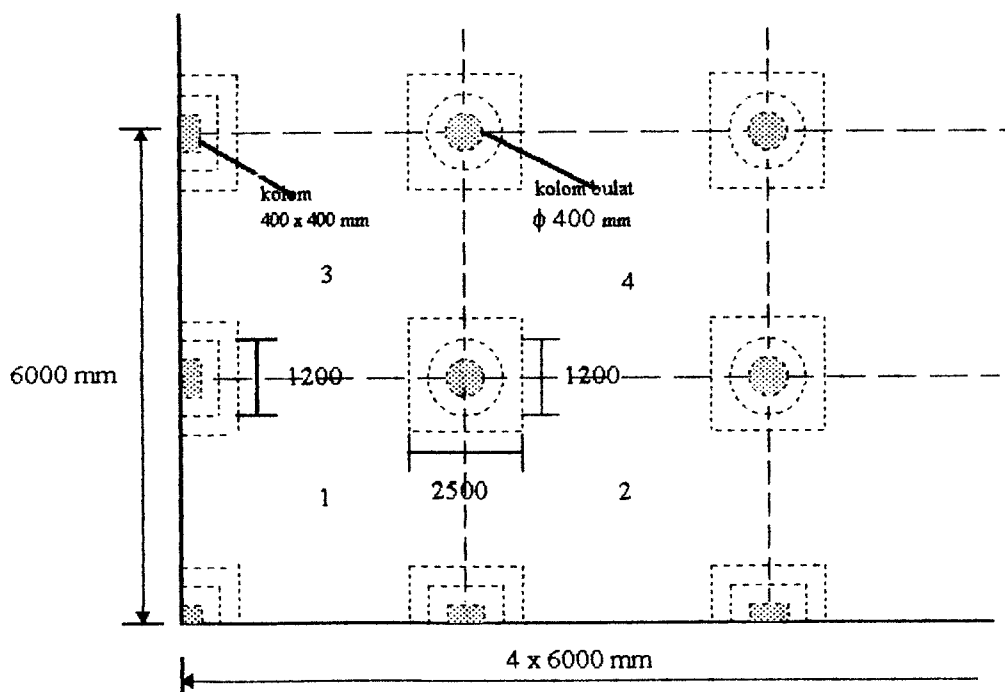
$$\text{Tinggi efektif } d \text{ dalam arah } y \quad d_y = 90 - 45 - 1/2 \phi 6 - 1/2 \phi 6 = 39 \text{ mm}$$

Tabel 4. 23. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur

	Penampang Kritis	mx	my	mtx	my
1.	Mu (kNm)	0,06192	0,06192	-0,1263	-0,1263
2.	d efektif (mm)	45	39	45	39
3.	b lebar jalur (mm)	600	600	600	600
4.	$Mn = Mu/\phi$ (kNm)	0,0774	0,0774	-0,1579	-0,1579
5.	$Jd = 0,9 d$ (mm)	40,5	35,1	40,5	35,1
6.	$As = Mn/fy.Jd$ (mm ²)	4,7778	5,5128	9,7469	11,2464
7.	$Asmin = (1,4/fy)b.d$	94,5	81,9	94,5	81,9
8.	1,33As	6,3545	7,3320	12,9634	14,9577
9.	As terpakai	6,3545	7,3320	12,9634	14,9577
10.	tulangan terpakai	Ø6-300	Ø6-300	Ø6-300	Ø6-300
11.	As ada (mm ²)	56,5487	56,5487	56,5487	56,5487
12.	$a = (Asada.fy) / (0,85 fc'.b)$	1,4784	1,4784	1,4784	1,4784
13.	$Mn = As.fy(d-a/2)$ (kNm)	1,0012	0,8654	1,0012	0,8654
14.	$\phi Mn > Mu$	0,8009	0,6924	0,8009	0,6924

4. 2. 2. Perencanaan Pelat Atap *Waffle Slab*

Di dalam aplikasi numerik direncanakan pelat atap *waffle* pada bangunan gedung bertingkat 4 dengan ukuran seperti gambar 4.12. Lantai dibagi 16 panel dengan ukuran masing-masing 6000 x 6000 mm. Kekuatan beton $f'_c = 30$ Mpa dan kekuatan baja $f_y = 400$ Mpa. Beban hidup layan yang harus dipikul 1,0 kN/m². Tinggi tingkat 3500 mm. Kolom luar bujur sangkar dengan ukuran 400 x 400 mm dan kolom dalam adalah bulat dengan diameter 400 mm. Tebal pelat diasumsikan 90 mm dan tebal *drop panel* 350 mm.



Gambar 4.12. Denah Perencanaan Pelat *Waffle*.

Tahap-tahap perencanaan pelat *waffle* adalah sebagai berikut :

1. Syarat-syarat batas dan bentang

Pelat terjepit elastis, sebagai bentang dapat dianggap jarak jarak pusat ke pusat tumpuan :

$$\left. \begin{aligned} l_x &= 500 + 2 \cdot 1/2 \cdot 100 = 600 \text{ mm} \\ l_y &= 500 + 2 \cdot 1/2 \cdot 100 = 600 \text{ mm} \end{aligned} \right\} l_y / l_x = 1$$

persyaratan tebal pelat untuk perencanaan pelat berusuk menurut SK SNI-T-15-1991- 03 adalah sebagai berikut :

$$h_f \geq l_n / 12 = 500 / 12 = 41,667 \text{ mm}$$

dipakai tebal pelat (h_f) = 90 mm > 41,667 mm

2. Pembebanan

$$W_d \text{ pelat lantai} = 0,09 \times 24 = 2,16 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d \text{ air hujan} = \underline{0,1 \text{ kN/m}^2}$$

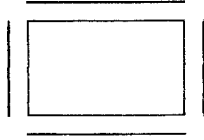
$$W_d \text{ total} = 2,26 \text{ kN/m}^2$$

$$W_i = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

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

$$= 1,2 (2,26) + 1,6 (1,0) = 4,312 \text{ kN/m}^2$$

Pelat direncanakan sebagai pelat yang terjepit elastis, menurut SK SNI-T-15-1991-03



$$m_{lx} = 0,001 W_u l_x^2 \cdot \alpha$$

$$m_{ly} = 0,001 W_u l_y^2 \cdot \alpha$$

$$m_{tx} = - 0,001 W_u l_x^2 \cdot \alpha$$

$$m_{ty} = - 0,001 W_u l_y^2 \cdot \alpha$$

$$c_{lx} = c_{ly} = 25$$

$$c_{tx} = c_{ty} = 51$$

$$m_{lx} = 0,001 W_u l_x^2 \cdot \alpha = 0,001 \cdot 4,312 \cdot 0,6^2 \cdot 25 = 0,0388 \text{ kNm}$$

$$m_{ly} = 0,001 W_u l_y^2 \cdot \alpha = 0,001 \cdot 4,312 \cdot 0,6^2 \cdot 25 = 0,0388 \text{ kNm}$$

$$m_{tx} = - 0,001 W_u l_x^2 \cdot \alpha = 0,001 \cdot 4,312 \cdot 0,6^2 \cdot 51 = - 0,0792 \text{ kNm}$$

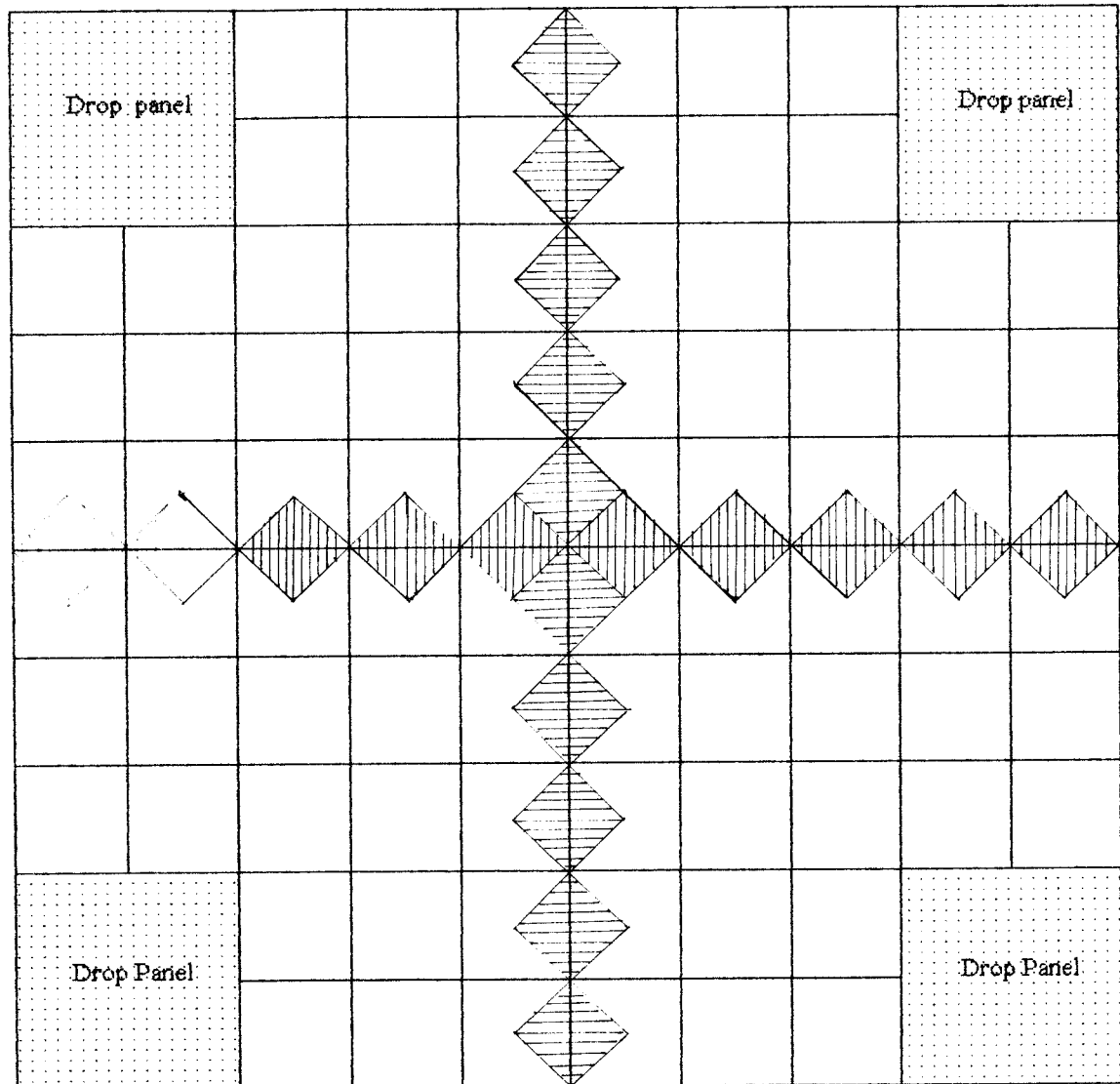
$$m_{ty} = - 0,001 W_u l_y^2 \cdot \alpha = 0,001 \cdot 4,312 \cdot 0,6^2 \cdot 51 = - 0,0792 \text{ kNm}$$

$$\text{Tinggi efektif } d \text{ dalam arah } x = d_x = 1/2 h_f = 1/2 \cdot 90 = 45 \text{ mm}$$

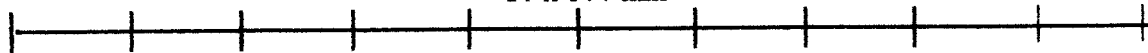
$$\text{Tinggi efektif } d \text{ dalam arah } y = d_y = 90 - 45 - 1/2 \phi 6 - 1/2 \phi 6 = 39 \text{ mm}$$

4. 3. Perencanaan Balok Rusuk *Joist* pada *Waffle Slab*

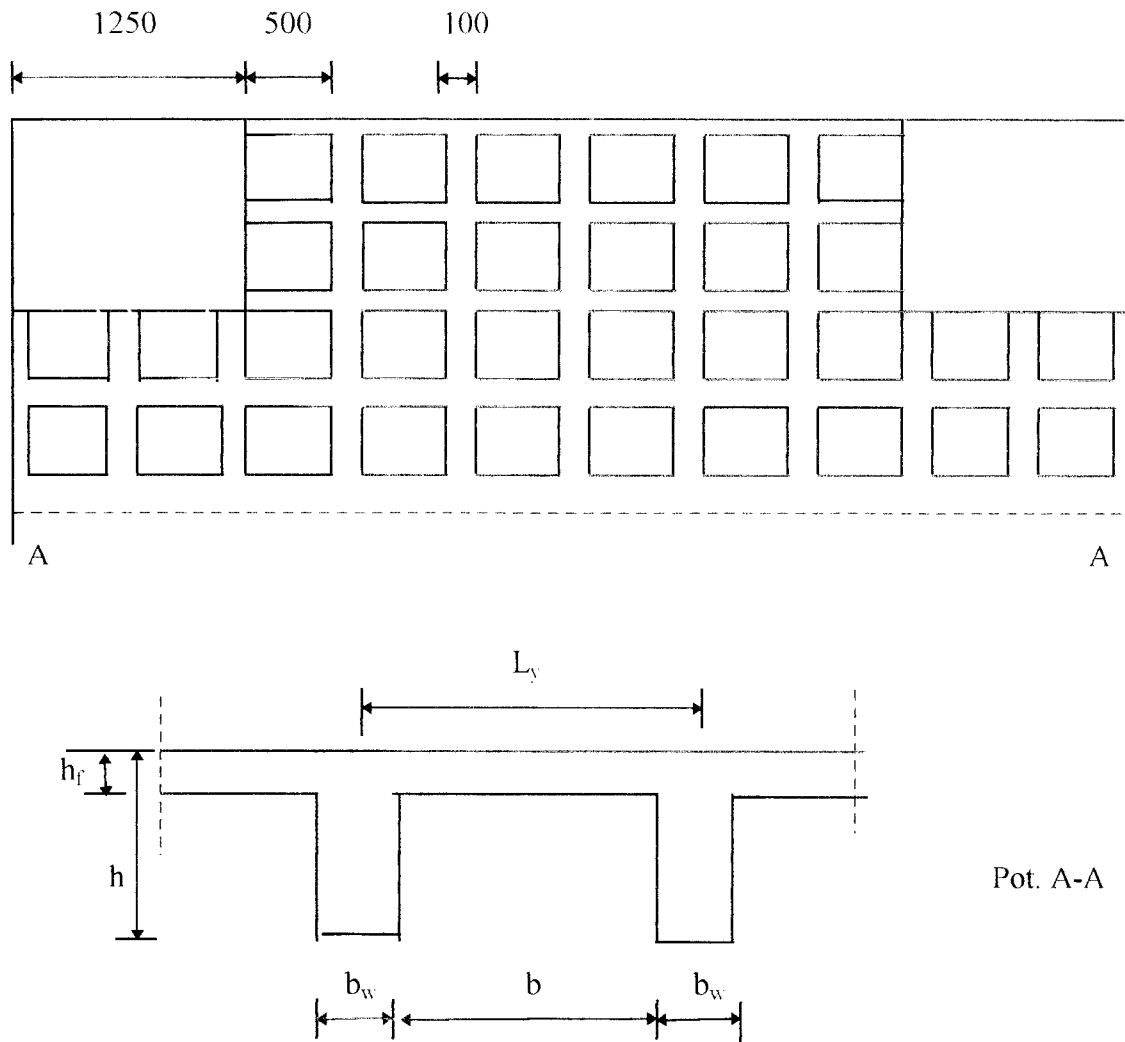
4. 3. 1 Pembebanan Balok Rusuk



10 x 600 mm



Gambar 4.13. Pembebanan Balok Rusuk *Joist*



$$h_f = 90 \text{ mm} \quad L_y = 600 \text{ mm} \quad b = 500 \text{ mm}$$

$$b_w = 100 \text{ mm} \quad h = 350 \text{ mm}$$

Gambar 4. 14. Tampang Pelat Berusun *Joist*

4. 3. 2. Perencanaan Joist Lantai

1. Beban balok rusuk :

$$L_x = L_y = 500 + 2 \times (100 / 2) = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Pembebanan} = L_{eq} \times = L_{eq} y = 2 / 3 L_x = 2 / 3 600 = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

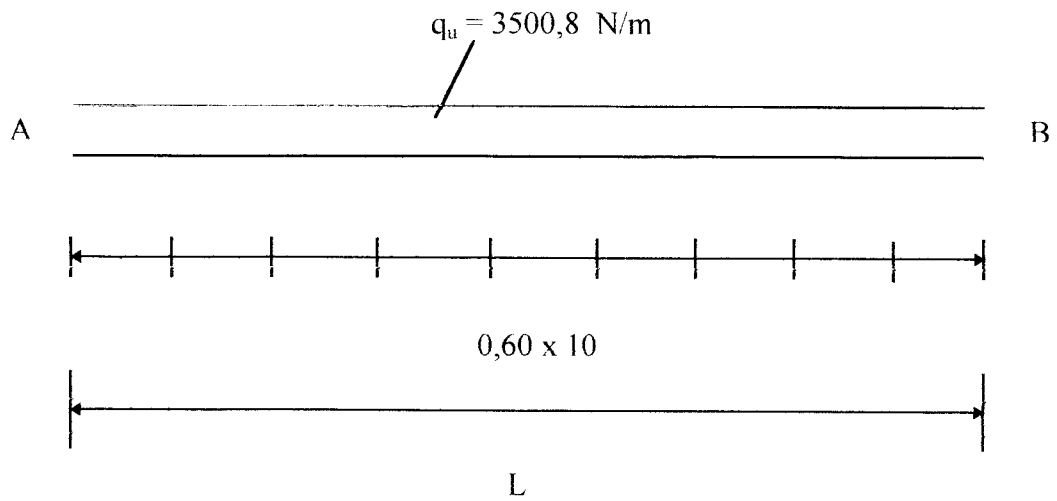
$$\text{Beban Ekvivalen dalam arah x dan y} = L_{eq} \cdot q_d = 0,4 \times 2,4 = 0,96 \text{ kN / m}$$

$$\text{Berat rusuk (x dan y)} = 0,1 \times (0,35 - 0,09) \times 24 = 0,624 \text{ kN / m}$$

$$\text{Beban mati } q_d = 0,96 + 0,624 = 1,584 \text{ kN / m}$$

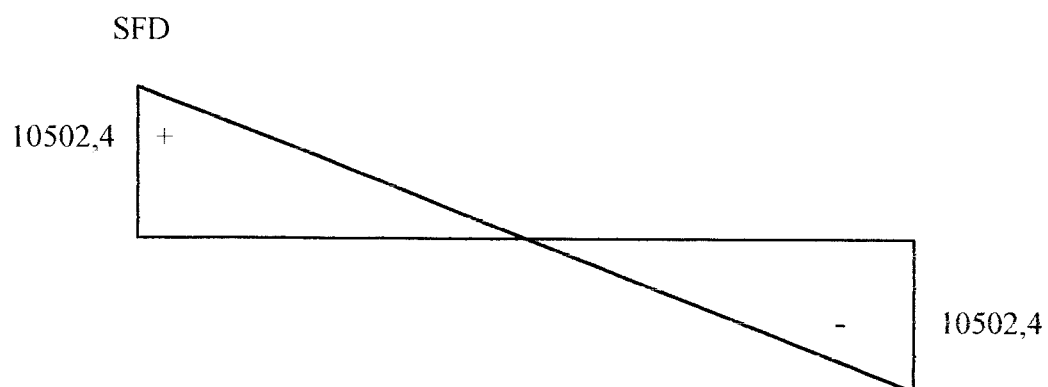
$$\text{Beban hidup } q_l = 0,4 \cdot 2,5 = 1 \text{ kN / m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban ultimit } q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l \\ &= 1,2 \cdot 1,584 + 1,6 \cdot 1 \\ &= 3,5008 \text{ kN / m} \end{aligned}$$



Geser :

$$V_A = V_B = R_A = \frac{q_u \cdot L}{2} = \frac{3500,8 \cdot 6}{2} = 10502,4 \text{ N}$$



2. Perencanaan Penulangan dan Kapasitas lentur Portal A dan C

a. Jalur kolom portal A dan C

(1). Perencanaan joist di daerah tumpuan

(a). Bentang luar negatif

direncanakan sebagai balok persegi

$$M_u = \frac{41,9022}{5} = 8,1804 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8,1804}{0,8} = 10,2256 \text{ kNm} = 10,2256 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{10,2256 \cdot 10^6}{100 \cdot 306^2} = 1,0921$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,6863 \cdot 1,0921}{400}} \right) = 0,0028$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho_{\min} = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 107,1 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan $= 3 \phi 8 = 150,7965 \text{ mm}^2 > 107,1 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{150,7965 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 23,6544 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{23,6544}{2} = 294,1728\text{mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 150,7965 \cdot 400 \cdot 294,1728$$

$$= 14,1953 \text{ kNm} > M_u$$

(b). Bentang dalam negatif Pertama

direncanakan sebagai balok persegi

$$M_u = \frac{85,5167}{5} = 17,1033 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{17,1033 \cdot 10^6}{0,8} = 21,3792 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{21,3792 \cdot 10^6}{100 \cdot 306^2} = 2,2832$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 2,2832}{400}} \right)$$

$$= 0,00599$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,02438$$

$$\rho_{\min} < \rho < 0,75 \rho_b$$

$$\text{dipakai } \rho = 0,00599$$

$$\text{Luas tulangan } A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00599 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 183,2762 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan } = 4 \phi 8 = 201,062 \text{ mm}^2 > 183,2762 \text{ mm}^2$$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{201,062.400}{0,85.30.100} = 31,5391 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{31,5391}{2} = 290,2304 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8.201,062.400.290,2304$$

$$= 18,6734 \text{ kNm} > M_u$$

(c). Bentang dalam negatif kedua

direncanakan sebagai balok persegi

$$M_u = \frac{79,4084}{5} = 15,8817 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{15,8817 \cdot 10^6}{0,8} = 19852100 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{19852100}{100.306^2} = 2,1201$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85.30} = 15,6863$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 2,1201}{400}} \right) \\ &= 0,00554\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,00554$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,00554 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 169,524 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan} = 4 \phi 8 = 201,062 \text{ mm}^2 > 169,524 \text{ mm}^2$$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{201,062 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 31,5391 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{31,5391}{2} = 290,2304 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 201,062 \cdot 400 \cdot 290,2304$$

$$= 18,6734 \text{ kNm} > M_u$$

(2). Perencanaan joist di daerah lapangan

Pemeriksaan Balok tampang T

Lebar efektif (b_e)

$$b_e = \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 6000 = 1500 \text{ mm}$$

$$b_e = b_w + 16 h_f = 100 + 16 \times 90 = 1540 \text{ mm}$$

$$b_e = 600 \text{ mm} = \text{jarak dari pusat ke pusat balok}$$

dipakai $b_e = 600 \text{ mm}$

$$\text{dicoba } a = t = h_f = 90 \text{ mm}$$

(a). Bentang luar positif

$$M_u = \frac{50,8213}{5} = 10,1643 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{10,1643 \cdot 10^6}{0,8} = 12,7053 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{n1} = 0,85 f'_c b e_t \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 600 \times 90 \left(304 - \frac{90}{2} \right)$$

$$= 356643000 \text{ Nmm} > M_n = 12705300 \text{ Nmm} \text{ *analisis sebagai balok persegi*}$$

$$M_u = 10,1643 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{12,7053 \cdot 10^6}{100 \cdot 304^2} = 1,3748$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 1,3748}{400}} \right)$$

$$= 0,00353$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02438$$

$$\rho_{\min} < 0,00351 < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,00353$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,00353 \cdot 100 \cdot 304$$

$$= 107,312 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan = $1\phi 12 = 113,0973 \text{ mm}^2 > 107,312 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{113,0973 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 17,7408 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 304 - \frac{17,7408}{2} = 295,1296 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 113,0973 \cdot 400 \cdot 295,1296$$

$$= 10,6811 \text{ kNm} > M_u$$

(b). Bentang dalam positif

$$M_u = \frac{34,2067}{5} = 6,8413 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6,8413 \cdot 10^6}{0,8} = 8551675 \text{ Nmm}$$

$$M_{n1} = 0,85 f_c' b e_t \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 600 \cdot 90 \left(304 - \frac{90}{2} \right)$$

$$= 356643000 \text{ Nmm} > M_n = 8551675 \text{ Nmm} \text{ *analisis sebagai balok persegi*}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{8551675}{100.304^2} = 0,9253$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,9253}{400}} \right) \\ &= 0,00236 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'c}{fy} \times \beta \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$$

$$= 106,4 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan = 1 ϕ 12 = 113,0973 $\text{mm}^2 > 106,4 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{113,0973 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 17,7408 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 304 - \frac{17,7408}{2} = 295,1296 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 113,0973 \cdot 400 \cdot 295,1296$$

$$= 10,6811 \text{ kNm} > M_u$$

b. Jalur tengah portal A = C

(1). Perencanaan joist di daerah tumpuan

(a). Bentang luar negatif

direncanakan sebagai balok persegi

$$M_u = \frac{0,4489}{5} = 0,08978.10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{0,08978.10^6}{0,8} = 112225 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{112225}{100.306^2} = 0,012$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f'_c} = \frac{400}{0,85.30} = 15,6863$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,012}{400}} \right) = 0,003 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho_{\min} = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 107,1 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan = $3 \text{ } \varnothing 8 = 150,7965 \text{ mm}^2 > 107,1 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{150,7965 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 23,6544 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{23,6544}{2} = 294,17 \text{ mm}$$

$$\phi Mn = 0,8 \cdot As \cdot fy \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 150,7965 \cdot 400 \cdot 294,17$$

$$= 14,1953 \text{ kNm} > Mu$$

(b). Bentang dalam negatif Pertama

direncanakan sebagai balok persegi

$$Mu = \frac{28,5056}{5} = 5,70112 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5,70112 \cdot 10^6}{0,8} = 7126400 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{7126400}{100 \cdot 306^2} = 0,7611$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,7611}{400}} \right)$$

$$= 0,0019$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,02438$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 107,1 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan = $3 \text{ } \varnothing 8 = 150,7965 \text{ mm}^2 > 107,1 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{150,7965.400}{0,85.30.100} = 23,6544 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{23,6544}{2} = 294,1728 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 150,7965 \cdot 400 \cdot 294,1728$$

$$= 14,1953 \text{ kNm}$$

(c). Bentang dalam negatif kedua

direncanakan sebagai balok persegi

$$M_u = \frac{26,4695}{5} = 5,2939 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{5,2939 \cdot 10^6}{0,8} = 6617375 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{6617375}{100.306^2} = 0,7067$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,7067}{400}} \right) \\ &= 0,00179\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438\end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$$

$$= 107,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan} = 3 \varnothing 8 = 150,7965 \text{ mm}^2 > 107,1 \text{ mm}^2$$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{150,7965 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 23,6544 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 306 - \frac{23,6544}{2} = 294,1728 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 150,7965 \cdot 400 \cdot 294,1728$$

$$= 14,1953 \text{ kNm}$$

(2). Perencanaan joist di daerah lapangan

Pemeriksaan Balok tampang T

Lebar efektif (be)

$$be = \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 6000 = 1500 \text{ mm}$$

$$be = b_w + 16 h_f = 100 + 16 \times 90 = 1540 \text{ mm}$$

$$be = 600 \text{ mm} = \text{jarak dari pusat ke pusat balok}$$

dipakai be = 600 mm

dicoba $a = t = h_f = 90 \text{ mm}$

(a). Bentang luar positif

$$M_u = \frac{33,8809}{5} = 6,77618 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6,77618 \cdot 10^6}{0,8} = 8470225 \text{ Nmm}$$

$$M_{n1} = 0,85 f'c \cdot b \cdot e \cdot t \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 600 \times 90 \left(304 - \frac{90}{2} \right)$$

$$= 358020000 \text{ Nmm} > M_n = 8470225 \text{ Nmm} \text{ diambil sebagai balok persegi}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{8470225}{100 \cdot 305^2} = 0,9165$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,9165}{400}} \right)$$

$$= 0,002334$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \times \beta \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,02438$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$$

$$= 106,4 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan = $1\emptyset 12 = 113,0973 \text{ mm}^2 > 106,4 \text{ mm}^2$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{113,0973.400}{0,85.30.100} = 17,7408 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 304 - \frac{17,7408}{2} = 295,1296 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 113,0973.400 \cdot 295,1296$$

$$= 10,6811 \text{ kNm}$$

(b). Bentang dalam positif

$$M_u = \frac{22,8044}{5} = 4,5609 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{4,5609 \cdot 10^6}{0,8} = 5701100 \text{ Nmm}$$

$$M_{n1} = 0,85 f_c' b e_t \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,85 \times 30 \times 600 \times 90 \left(304 - \frac{90}{2} \right)$$

$$= 358020000 \text{ Nmm} > M_n = 5701100 \text{ Nmm} \text{ analisis sebagai balok persegi}$$

$$Rn = \frac{Mn}{bd^2} = \frac{5701100}{100.304^2} = 0,6169$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f'c} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,6863$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,6863} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,6863 \times 0,6169}{400}} \right) \\ &= 0,00156 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \frac{0,85 f'c}{fy} \times \beta \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= 0,75 \frac{0,85 \times 30}{400} \times 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,02438 \end{aligned}$$

$$\rho < \rho_{\min} < 0,75 \rho_b$$

dipakai $\rho = 0,0035$

$$\text{Luas tulangan } A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$$

$$= 106,4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan} = 1\emptyset 12 = 113,0973 \text{ mm}^2 > 106,4 \text{ mm}^2$$

kontrol kapasitas lentur :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{113,0973 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 100} = 17,7408 \text{ mm}$$

$$z = d - \frac{a}{2} = 304 - \frac{17,7408}{2} = 295,1296 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 0,8 \cdot 113,0973 \cdot 400 \cdot 295,1296$$

$$= 10,6811 \text{ kNm}$$

3. Perencanaan penulangan dan kapasitas portal B dan D

Tabel 4. 25. Luas Tulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Lantai pada Portal B= D

JALUR KOLOM				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 20.7265 / 3$ $= 6.9088 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 42.7583 / 3$ $= 13.2347 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 39.7042 / 3$ $= 14.253 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 25.4107 / 3$ $= 8.47023 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 17.1034 / 3$ $= 5.701133 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 8636041.667$	$M_n = 16543400$	$M_n = 17815958.33$	$M_n = 1058779.167$	$M_n = 7126416.667$
$R_n = 0.9222$	$R_n = 1.7688$	$R_n = 1.9027$	$R_n = 0.1146$	$R_n = 0.7711$
$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$
$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$
$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.002438$	$\rho_{\max} = 0.002438$	$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.02438$
$\rho = 0.0024$	$\rho = 0.00458$	$\rho = 0.00495$	$\rho = 0.00287$	$\rho = 0.00196$
$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0.00458$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0.00495$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.306$ $= 107.1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.00458 \cdot 100.306$ $= 151.47 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.00495 \cdot 100.306$ $= 140.1965 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.304$ $= 106.4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.304$ $= 106.4 \text{ mm}^2$
$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150.7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 4\emptyset 8$ $= 201.062 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 4\emptyset 8$ $= 201.062 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113.0973 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113.0973 \text{ mm}^2$
$a = 23.6544 \text{ mm}$	$a = 31.5391 \text{ mm}$	$a = 31.5391 \text{ mm}$	$a = 17.7408 \text{ mm}$	$a = 17.7408 \text{ mm}$
$z = 294.1728 \text{ mm}$	$z = 290.2304 \text{ mm}$	$z = 290.2304 \text{ mm}$	$z = 295.1296 \text{ mm}$	$z = 295.1296 \text{ mm}$
$\phi M_n = 14.1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 18.6734 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 18.6734 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10.6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10.6811 \text{ kNm}$

Tabel 4. 26. Luas Tulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Lantai pada Portal B=D

JALUR TENGAH				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 0,4491 / 2$ $= 0,22455 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 14,2528 / 2$ $= 7,1264 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 13,2347 / 2$ $= 6,61735 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 16,9404 / 2$ $= 8,47023 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 11,4022 / 2$ $= 5,701133 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 280687,5$	$M_n = 8908000$	$M_n = 8271687,5$	$M_n = 1058779,167$	$M_n = 7126416,667$
$R_n = 0,0299$	$R_n = 10,9513$	$R_n = 0,8834$	$R_n = 1,1457$	$R_n = 0,7711$
$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$
$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$
$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,002438$	$\rho_{\max} = 0,002438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$
$\rho = 0,00007$	$\rho = 0,00242$	$\rho = 0,00225$	$\rho = 0,00293$	$\rho = 0,00196$
$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$
$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$
$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 17,7408$	$a = 17,7408$
$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 295,1296$	$z = 295,1296$
$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$

4. Perencanaan Geserp

$$V_u = 10502,4 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{10502,4}{0,6} = 17504 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 100 \cdot 306 = 27933,8504 \text{ N} > 17504 \text{ N (tidak perlu tulangan geser)}$$

Tabel 27. Penulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Lantai *Waffle Slab*

JALUR	BENTANG	PORTAL			
		A	B	C	D
KOLOM	Luar Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Luar Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
	Dalam Negatif	Ø8-150	Ø8-150	Ø8-150	Ø8-150
	Dalam Negatif	Ø8-150	Ø8-150	Ø8-150	Ø8-150
	Dalam Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
TENGAH	Luar Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Luar Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
	Dalam Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12

4. 3. 3. Perencanaan Joist Atap

1. Beban balok rusuk :

$$L_x = L_y = 500 + 2 \times (100 / 2) = 600 \text{ mm}$$

$$\text{Pembebanan} = L_{eq} \times = L_{eq} y = 2 / 3 L_x = 2 / 3 600 = 400 \text{ mm} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Beban Ekvivalen dalam arah x dan y} = L_{eq} \cdot q_d = 0,4 \times 2,26 = 0,904 \text{ kN / m}$$

$$\text{Berat rusuk (x dan y)} = 0,1 \times (0,35 - 0,09) \times 24 = 0,624 \text{ kN / m}$$

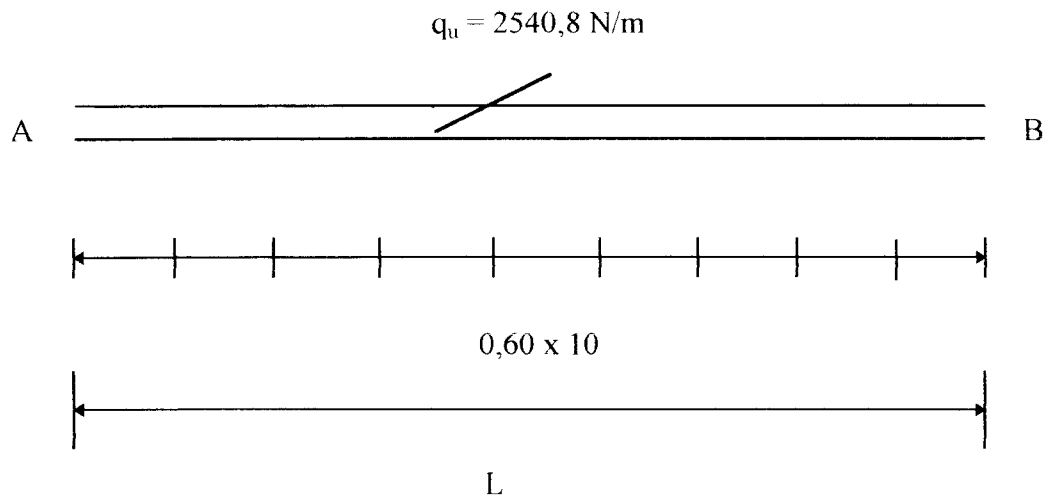
$$\text{Beban mati } q_d = 0,96 + 0,624 = 1,584 \text{ kN / m}$$

$$\text{Beban hidup } q_l = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ kN / m}$$

$$\text{Beban ultimit } q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$$

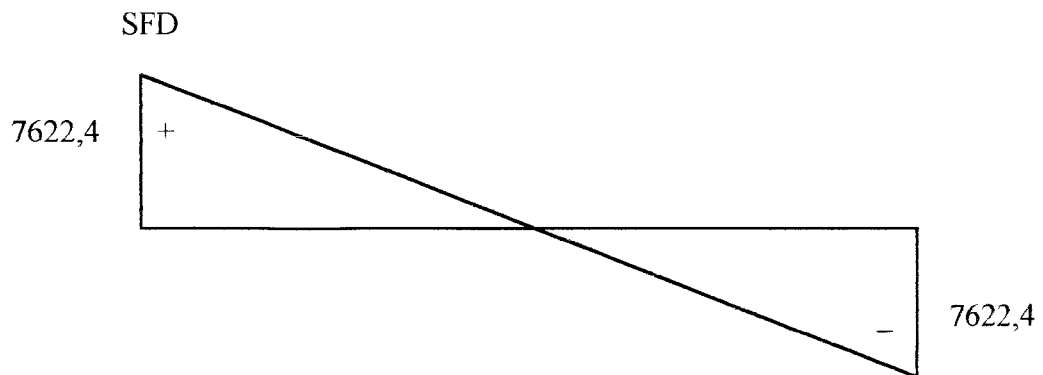
$$= 1,2 \cdot 1,584 + 1,6 \cdot 0,4$$

$$= 2,5408 \text{ kN / m}$$



Geser :

$$V_A = V_B = R_A = \frac{q_u \cdot L}{2} = \frac{2540,8 \cdot 6}{2} = 7622,4 \text{ N}$$



2. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur portal A dan C

a. Jalur kolom portal A dan C

Tabel 4. 28. Luas Tulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Atap pada Portal A= C

JALUR KOLOM				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 28,8181 / 5$ $= 5,76362 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 58,8140 / 5$ $= 11,7628 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 54,6163 / 5$ $= 10,92262 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 34,9523 / 5$ $= 6,99046 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 23,5256 / 5 =$ $4,70512 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 7204525 \text{ Nmm}$	$M_n = 14703500 \text{ Nmm}$	$M_n = 13653275 \text{ Nmm}$	$M_n = 8738075 \text{ Nmm}$	$M_n = 5881400$
$R_n = 0,7694$	$R_n = 1,5703$	$R_n = 1,4581$	$R_n = 0,9455$	$R_n = 0,6364$
$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$
$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$
$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$
$\rho = 0,00195$	$\rho = 0,00405$	$\rho = 0,00376$	$\rho = 0,00241$	$\rho = 0,00161$
$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0,00405$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho$ $= 0,00376$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho_{\text{terpakai}} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,00405 \cdot 100 \cdot 306$ $= 124,0723 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,00376 \cdot 100 \cdot 306$ $= 114,932 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$
As terpakai = 3Ø8 $= 150,7965 \text{ mm}^2$	As terpakai = 3Ø8 $= 150,7965 \text{ mm}^2$	As terpakai = 3Ø8 $= 150,7965 \text{ mm}^2$	As terpakai = 1Ø12 $= 113,0973 \text{ mm}^2$	As terpakai = 1Ø12 $= 113,0973 \text{ mm}^2$
$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 17,7408$	$a = 17,7408$
$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 295,1296$	$z = 295,1296$
$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$

b. Jalur tengah portal A = C

Tabel 4. 29. Luas Tulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Atap pada Portal A=C

JALUR TENGAH				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 0.3088 / 5$ $= 0.06176 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 19.6047 / 5$ $= 3.92094 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 18.2044 / 5$ $= 3.64088 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 23.3016 / 5$ $= 4.66032 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 15.6837 / 5$ $= 3.13674 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 77200 \text{ Nmm}$	$M_n = 4901175 \text{ Nmm}$	$M_n = 4551100 \text{ Nmm}$	$M_n = 5825400 \text{ Nmm}$	$M_n = 3920925 \text{ Nmm}$
$R_n = 0.0082$	$R_n = 0.5234$	$R_n = 0.4860$	$R_n = 0.6303$	$R_n = 0.4243$
$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$	$m = 15.6863$
$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$	$\rho_{\min} = 0.0035$
$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.02438$	$\rho_{\max} = 0.02438$
$\rho = 0.00002$	$\rho = 0.00132$	$\rho = 0.00123$	$\rho = 0.001596$	$\rho = 0.00107$
$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0.0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.306$ $= 107.1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.306$ $= 107.1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.306$ $= 107.1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.304$ $= 106.4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0.0035 \cdot 100.304$ $= 106.4 \text{ mm}^2$
$A_s \text{ terpakai} = 3\text{Ø}8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\text{Ø}8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\text{Ø}8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\text{Ø}12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\text{Ø}12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$
$a = 23,6544 \text{ mm}$	$a = 23,6544 \text{ mm}$	$a = 23,6544 \text{ mm}$	$a = 17,7408 \text{ mm}$	$a = 17,7408 \text{ mm}$
$z = 294,1728 \text{ mm}$	$z = 294,1728 \text{ mm}$	$z = 294,1728 \text{ mm}$	$z = 295,1296 \text{ mm}$	$z = 295,1296 \text{ mm}$
$\phi M_n = 14.1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14.1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14.1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10.6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10.6811 \text{ kNm}$

3. Perencanaan penulangan dan kapasitas lentur portal B dan D

a. Jalur kolom portal B = D

Tabel 4. 30. Luas Tulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Atap pada Portal B= D

JALUR KOLOM				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 14,2546/3$ $= 5939416,667 \text{ Nmm}$	$M_u = 29,8071/3$ $= 9,8024 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 27,3065/3$ $= 9,10217 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 17,4761/3$ $= 5,8254 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 11,7628/3$ $= 3,920933 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 8636041,667$	$M_n = 12252958,33$	$M_n = 11377708,33$	$M_n = 7281708,333$	$M_n = 4901166,667$
$R_n = 0,9223$	$R_n = 1,3086$	$R_n = 1,2151$	$R_n = 0,7879$	$R_n = 0,5303$
$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$
$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$
$\rho_{\max} = 0,02349$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$
$\rho = 0,0024$	$\rho = 0,00336$	$\rho = 0,0031$	$\rho = 0,002$	$\rho = 0,00134$
$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$
$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$
$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 17,7408$	$a = 17,7408$
$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 295,1296$	$z = 295,1296$
$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$

b. Jalur tengah portal B = D

Tabel 4. 31. Luas Tulangan Balok Rusuk Joist Pelat Atap pada Portal B= D

JALUR TENGAH				
DAERAH TUMPUAN			DAERAH LAPANGAN	
LUAR NEGATIF	DALAM NEGATIF	DALAM NEGATIF	LUAR POSITIF	DALAM POSITIF
$M_u = 0,3089/2$ $= 0,15445 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 11,6508/2$ $= 5,8254 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 9,8024/2$ $= 4,9012 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 9,1022/2$ $= 4,5511 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$	$M_u = 7,8419/2$ $= 3,920933 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$
$M_n = 193062,5$	$M_n = 7281750$	$M_n = 6126500$	$M_n = 5688875$	$M_n = 4901166,667$
$R_n = 0,0206$	$R_n = 0,7777$	$R_n = 0,6543$	$R_n = 0,6156$	$R_n = 0,5303$
$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$	$m = 15,6863$
$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$	$\rho_{\min} = 0,0035$
$\rho_{\max} = 0,02349$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$	$\rho_{\max} = 0,02438$
$\rho = 0,00005$	$\rho = 0,00197$	$\rho = 0,00166$	$\rho = 0,00156$	$\rho = 0,00134$
$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$	$\rho \text{ terpakai} = \rho_{\min}$ $= 0,0035$
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 306$ $= 107,1 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$	$A_s = \rho \cdot b \cdot d$ $= 0,0035 \cdot 100 \cdot 304$ $= 106,4 \text{ mm}^2$
$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 3\emptyset 8$ $= 150,7965 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$	$A_s \text{ terpakai} = 1\emptyset 12$ $= 113,0973 \text{ mm}^2$
$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 23,6544$	$a = 17,7408$	$a = 17,7408$
$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 294,1728$	$z = 295,1296$	$z = 295,1296$
$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 14,1953 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$	$\phi M_n = 10,6811 \text{ kNm}$

4. Perencanaan Geser

$$V_u = 7196,16 \text{ N}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{7622,4}{0,6} = 12704 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot w \cdot d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{30} \times 100 \times 306 = 27933,8504 \text{ N} > 12704 \text{ N (tidak perlu tulangan geser)}$$

Tabel 4. 32. Penulangan Balok Rusuk *Joist* Pelat Atap *Waffle Slab*

JALUR	BENTANG	PORTAL			
		A	B	C	D
KOLOM	Luar Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Luar Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
	Dalam Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
TENGAH	Luar Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Luar Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12
	Dalam Negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam negatif	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200	Ø8-200
	Dalam Positif	1Ø12	1Ø12	1Ø12	1Ø12

Tabel 4. 33. Luas Total Penulangan **Pelat Lantai Waffle Slab Portal A= C**

Jalur	Luas Tulangan	Bentang Luar (b = 3000 mm)			Bentang Dalam (b = 3000 mm)	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
KOLOM	As pelat mm ²	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74
	As joist mm ²	Ø8-200 753,9822	Ø12-600 565,4867	Ø8-150 1005,3096	Ø8-150 1005,3096	Ø12-600 565,4867
	As total mm ²	1036,7255	848,23	1288,053	1288,053	848,23
TENGAH	As pelat mm ²	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74
	As joist mm ²	Ø8-200 753,9822	Ø12-600 565,4867	Ø8-200 753,9822	Ø8-200 753,9822	Ø12-200 565,4867
	As total mm ²	1036,7255	848,23	1036,7255	1036,7255	848,23

Tabel 4. 34. Luas Total Penulangan **Pelat Lantai Waffle Slab Portal B= D**

Jalur	Luas Tulangan	Bentang Luar (b = 1500 mm)			Bentang Dalam (b = 1500 mm)	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
KOLOM	As pelat mm ²	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717
	As joist mm ²	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 339,292	Ø8-150 502,6548	Ø8-150 502,6548	Ø12-600 339,292
	As total mm ²	543,4955	480,6637	644,0265	644,0265	480,6637
TENGAH	As pelat mm ²	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717
	As joist mm ²	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 226,1947	Ø8-200 402,1239	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 226,1947
	As total mm ²	543,4955	367,5664	543,4955	543,4955	367,5664

Tabel 4. 35. Luas Total Penulangan **Pelat Atap Waffle Slab Portal A= C**

Jalur	Luas Tulangan	Bentang Luar (b = 3000 mm)			Bentang Dalam (b = 3000 mm)	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
KOLOM	As pelat mm ²	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74
	As joist mm ²	Ø8-200 753,9822	Ø12-600 565,4867	Ø8-200 753,9822	Ø8-200 753,9822	Ø12-200 565,4867
	As total mm ²	1036,7255	848,23	1036,7255	1036,7255	848,23
TENGAH	As pelat mm ²	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74	Ø6-300 282,74
	As joist mm ²	Ø8-200 753,9822	Ø12-600 565,4867	Ø8-200 753,9822	Ø8-200 753,9822	Ø12-200 565,4867
	As total mm ²	1036,7255	848,23	1036,7255	1036,7255	848,23

Tabel 4. 36 Luas Total Penulangan **Pelat Atap Waffle Slab Portal B= D**

Jalur	Luas Tulangan	Bentang Luar (b = 1500 mm)			Bentang Dalam (b = 1500 mm)	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
KOLOM	As pelat mm ²	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717
	As joist mm ²	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 339,292	Ø8-200 402,1239	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 339,292
	As total mm ²	543,4955	480,6637	543,4955	543,4955	480,6637
TENGAH	As pelat mm ²	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717	Ø6-300 141,3717
	As joist mm ²	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 226,1947	Ø8-200 402,1239	Ø8-200 402,1239	Ø12-600 226,1947
	As total mm ²	543,4955	367,5664	543,4955	543,4955	367,5664

4. 2. Perhitungan Volume Tulangan

Perbandingan volume tulangan *flat slab* dan *waffle slab* dihitung dengan mengambil 2 panel pelat dengan bentangan 2 x 6000 mm. Panjang tulangan yang diperlukan untuk perhitungan volume tulangan *flat slab* dan *waffle slab* dapat dilihat pada gambar penulangan pada lampiran.

4. 2. 1. Volume Tulangan Flat Slab

Portal A :

Jalur Kolom	= 78,5398 x 11 x 12000	= 10367255,76 mm ³
	= 78,5398 x 11 x 12080	= 10436370,8mm ³
	= 1727,875 x 2100	= 3628537,5 mm ³
	= 1727,875 x 3200	= 10807078,75 mm ³
	= 1727,875 x 1600	= 5403539,36 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 40642782,16 mm ³ +

Jalur Tengah	= 78,5398 x 8 x 12000	= 7539822,369 mm ³
	= 78,5398 x 7 x 12080	= 6641326,87 mm ³
	= 1178,097 x 2000	= 2061669,75 mm ³
	= 1178,097 x 3000	= 3534291mm ³
	= 1178,097 x 1500	= 1767145,5 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 21544255,49mm ³ +

Portal B :

Jalur Kolom	= 78,5398 x 6 x 12000	= 5654866,776 mm ³
	= 78,5398 x 5 x 12080	= 4743804,907 mm ³
	= 863,9378 x 2100	= 1814269,38 mm ³
	= 1492,256 x 3200	= 4775219,2 mm ³
	= 1492,256 x 1600	= 2387609,6 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 19375769,86mm ³ +

Jalur Tengah	= 78,5398 x 4 x 12000	= 3769911,184 mm ³
	= 78,5398 x 4 x 12080	= 3795043,926 mm ³
	= 628,3184 x 1750	= 1099557,2 mm ³
	= 628,3184 x 3000	= 1884955,2 mm ³
	= 628,3184 x 1500	= 942477,6 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 11491945,11mm ³ +

Portal C :

Jalur Kolom	= 78,5398 x 12 x 12000	= 11309733,55 mm ³
	= 78,5398 x 12 x 12080	= 11385131,78 mm ³
	= 1887,955 x 2100	= 3958405,5 mm ³
	= 3691,3714 x 3200	= 11812388,48 mm ³
	= 3691,3714 x 1600	= 5906194,24 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 44371853,55 mm ³ +

Jalur Tengah	= 78,5398 x 8 x 12000	= 7539822,369 mm ³
	= 78,5398 x 8 x 12080	= 7590087,851 mm ³
	= 1256,636 x 1750	= 2199113 mm ³
	= 1256,636 x 3000	= 3769908 mm ³
	= 1256,636 x 1500	= 1884954 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 22983885,22 mm ³ +

Portal D :

Jalur Kolom	= 78,5398 x 6 x 12000	= 5654866,776 mm ³
	= 78,5398 x 6 x 12080	= 5692565,888 mm ³
	= 942,4776 x 2100	= 1979202,96 mm ³
	= 942,4776 x 3200	= 3015928,32 mm ³
	= 942,4776 x 1600	= 1507964,16 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 17850528,1mm ³ +

Jalur Tengah	= 78,5398 x 5 x 12000	= 4712388,98 mm ³
	= 78,5398 x 4 x 12080	= 3795043,926 mm ³
	= 706,8583 x 1750	= 1237002,025 mm ³
	= 706,8583 x 3000	= 2120574,9 mm ³
	= 706,8583 x 1500	= 1060287,45 mm ³
Volume Total		<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> = 12925297,28 mm ³ +

4. 2. 2. Volume Tulangan *Waffle Slab*

Portal A = C :

Jalur Kolom	= 28,2743 x 5x 12000	= 1696460,033mm ³
	= 28,2743 x 5x 4800 x 2	= 1357168,026 mm ³
	= 753,9822 x 2020	= 1523044,044 mm ³
	= 1005,3096 x 3200	= 3216990,72 mm ³
	= 1005,3096 x 1600	= 1608495,36 mm ³
Sengkang	= 28.2743 x 41 x 5 x 268	= 1553391,903 mm ³ +
Volume Total		= 17741388,09 mm ³

Jalur Tengah	= 28,2743 x 5x 12000	= 1696460,033 mm ³
	= 28,2743 x 5x 4600 x 2	= 1300619,359 mm ³
	= 753,9822 x 1920	= 1447645,824 mm ³
	= 1005,3096 x 3000	= 3015928,8 mm ³
	= 1005,3096 x 1500	= 1507964,4 mm ³
	= 28,2743 x 41 x 5 x 268	= 1553391,903 mm ³ +
Sengkang		<hr/>
Volume Total		= 17307848,32 mm ³

Portal B = D :

Jalur Kolom	= 28,2743 x 3x 12000	= 1017876,02 mm ³
	= 28,2743 x 2x 4800 x 2	= 542867,2105 mm ³
	= 402,1239 x 2020	= 812290,278 mm ³
	= 502,6548 x 3200	= 1608495,36 mm ³
	= 502,6548 x 1600	= 804248,68 mm ³
Senggang	= 28,2743 x 41 x 3 x 268	= 932035,142 mm ³
Volume Total		<u>9789314,49 mm³</u> +

Jalur Tengah	= 28,2743 x 3x 12000	= 1017876,02 mm ³
	= 28,2743 x 2x 4600 x 2	= 520247,7434 mm ³
	= 402,1239 x 1920	= 772077,888 mm ³
	= 502,6548 x 3000	= 1507964,4 mm ³
	= 502,6548 x 1500	= 753982,2 mm ³
	= 28.2743 x 41 x 2 x 268	= 621356,7614 mm ³
Senggang		<u>621356,7614 mm³</u> +
Volume Total		=7907840,212 mm ³

Tabel 4. 37. Volume Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle slab*

TIPE PELAT	JALUR	PORTAL			
		A	B	C	D
<i>Flat Slab</i>	Kolom	40642782,16	19375769,86	44371853,55	17850528,1
	Tengah	21544255,49	11491945,11	22983887,22	12925297,28
	Vol.Total	62187037,65	30867714,97	67355738,77	30775825,38
<i>Waffle Slab</i>	Kolom	17741388,09	9789314,49	17741388,09	9789314,49
	Tengah	17307848,32	7907840,212	17307848,32	7907840,212
	Vol. total	35049236,41	17697154,7	35049236,41	17697154,7

Tabel 4. 38. Volume Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle slab*

TIPE PELAT	JALUR	PORTAL			
		A	B	C	D
<i>Flat Slab</i>	Kolom	27964886,54	14916280,39	31693955,86	15269708,73
	Tengah	20110902,69	10052310,38	18671266,71	10052310,38
	Vol.Total	48075789,23	24968590,77	50365222,57	25322019,1
<i>Waffle Slab</i>	Kolom	16535016,57	9306765,17	16535016,57	9306765,17
	Tengah	16176875,02	7455451,162	16176875,02	7455451,162
	Vol.Total	32711891,58	16762216,33	32711891,58	16762216,33

BAB V

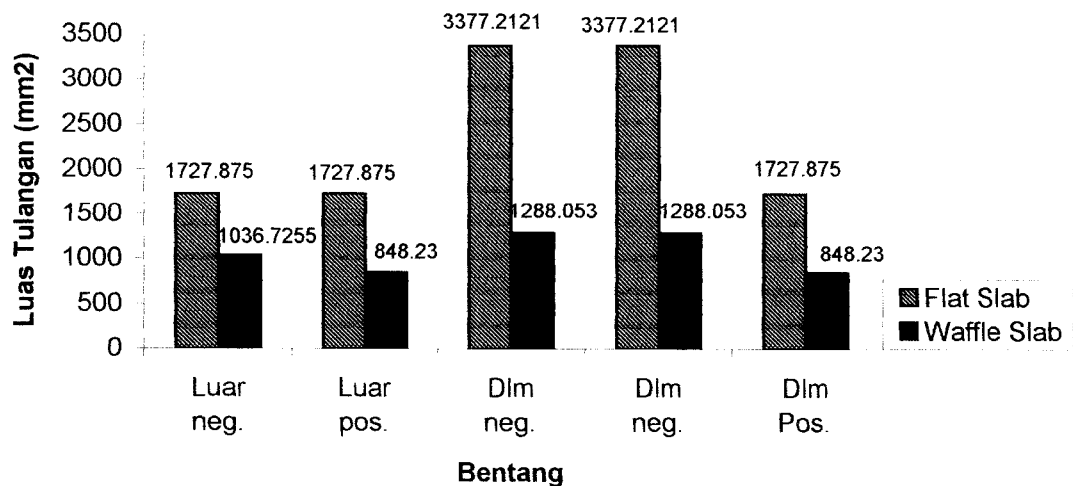
PEMBAHASAN

5. 1. Hasil Perhitungan

5. 1. 1. Perbandingan Luas Tulangan

1. Perbandingan luas tulangan pelat lantai *flat slab* dan *waffle slab*

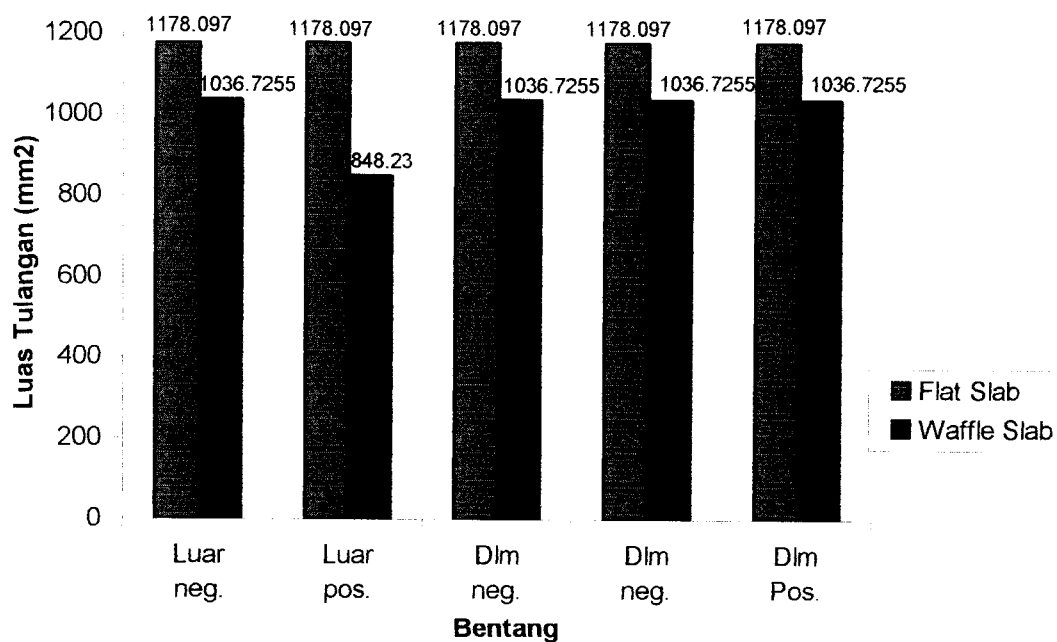
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur kolom portal A dapat dilihat pada tabel 4. 4. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 32. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 1. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Kolom A

Pada gambar 5. 1. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 44,7 %.

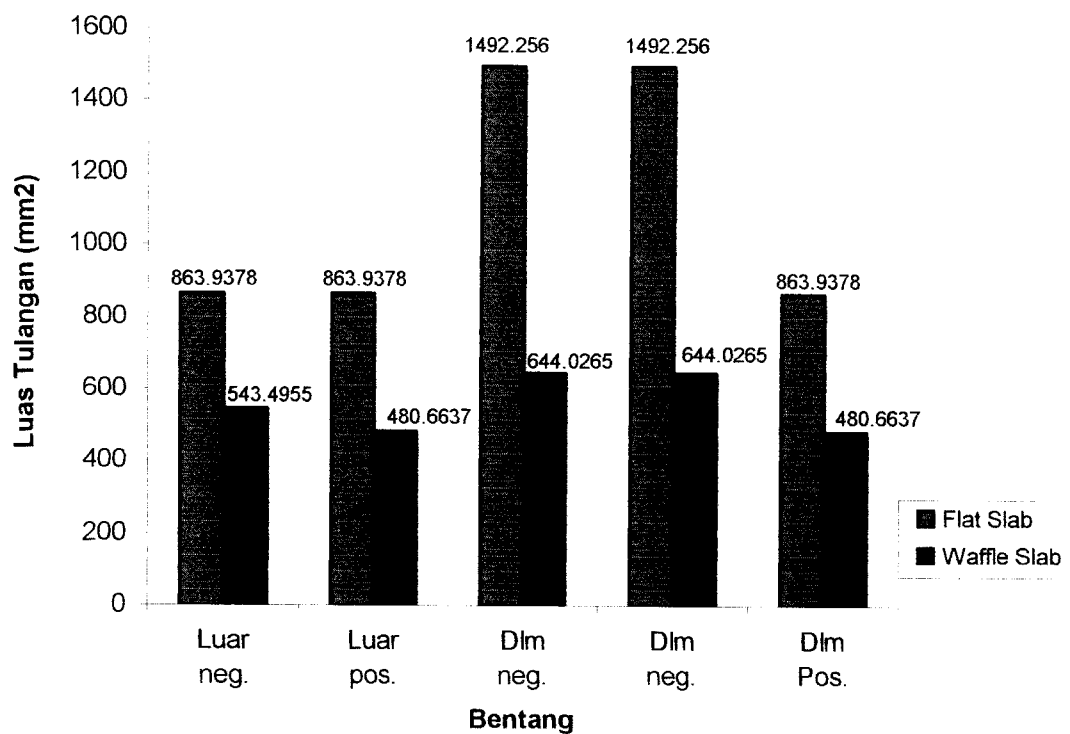
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur tengah portal A dapat dilihat pada tabel 4. 5. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 32. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 2. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Tengah A

Pada gambar 5. 2. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 81,6 %.

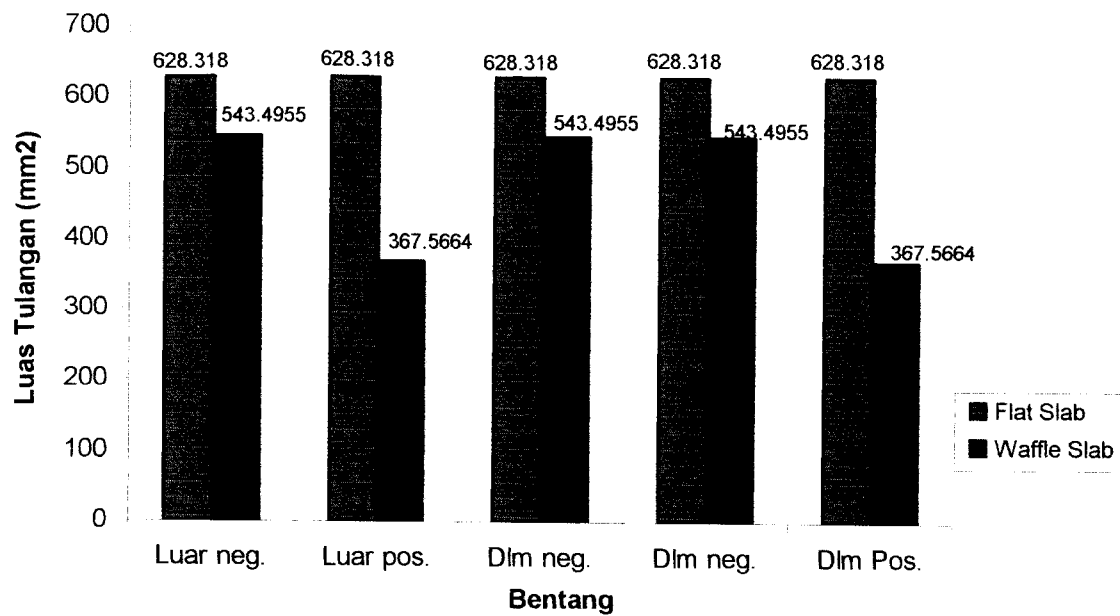
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur kolom portal B dapat dilihat pada tabel 4. 6. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 33. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 3. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Kolom B

Pada Gambar 5. 3. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 50,0845 %.

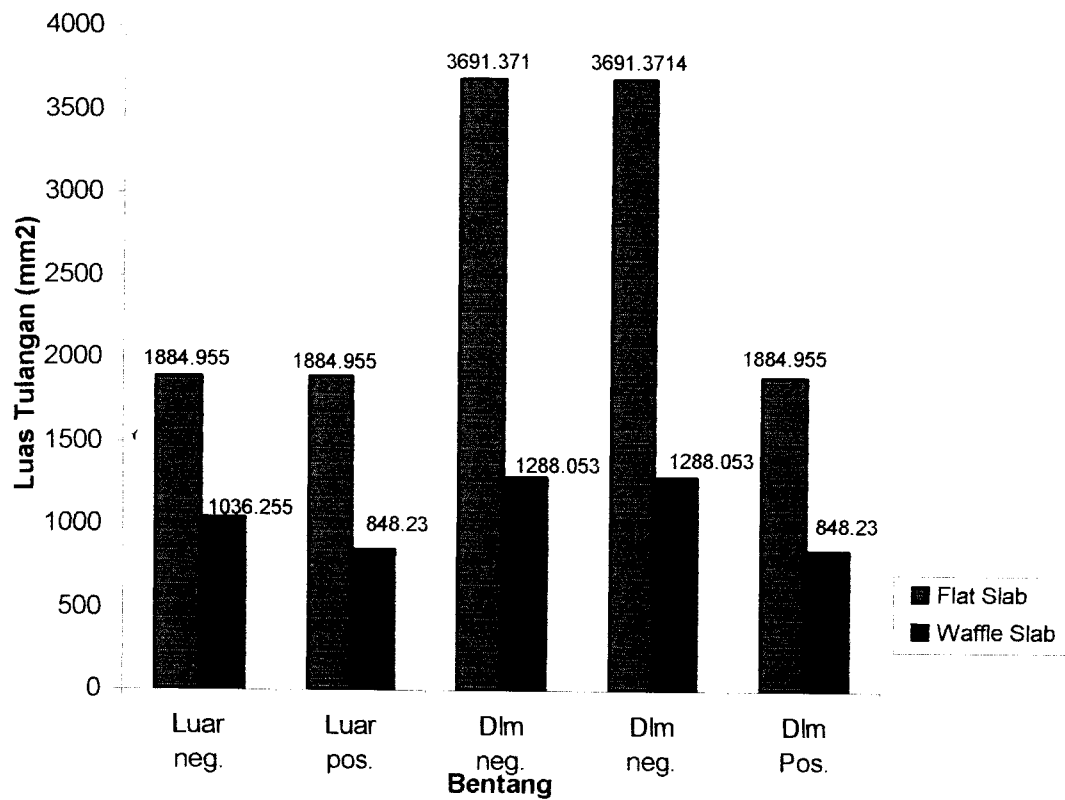
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur tengah portal B dapat dilihat pada tabel 4. 7. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 33. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 4. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Tengah B

Pada gambar 5. 4. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 82,5001 %.

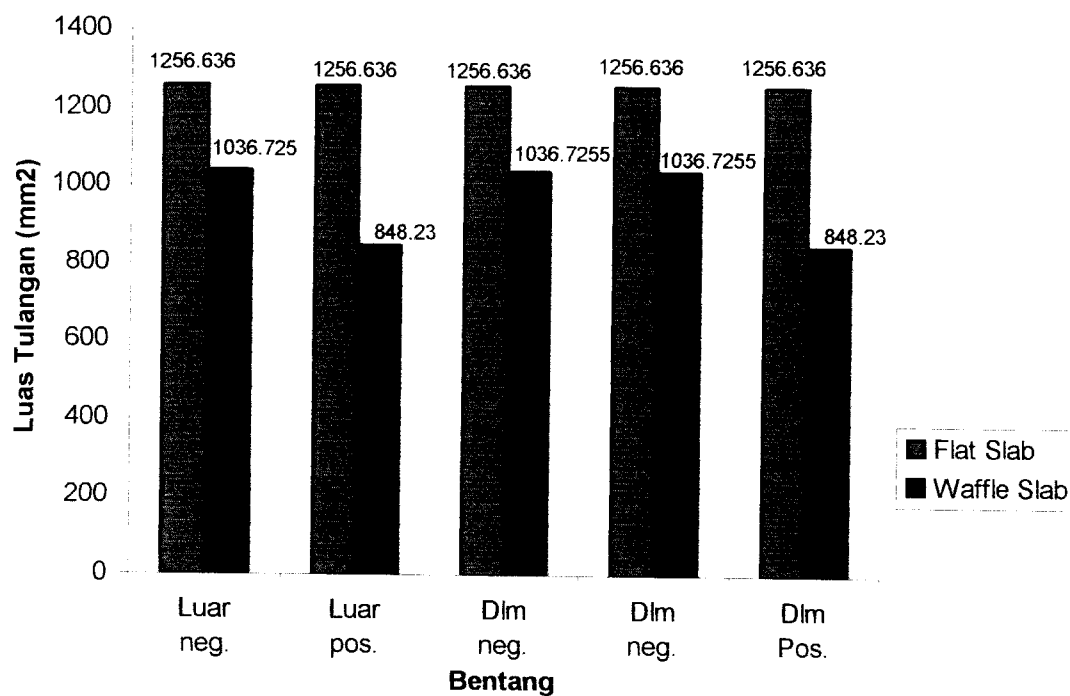
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur kolom portal C dapat dilihat pada tabel 4. 8. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 32. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 5. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Kolom C

Pada gambar 5. 5. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 40,7229 %.

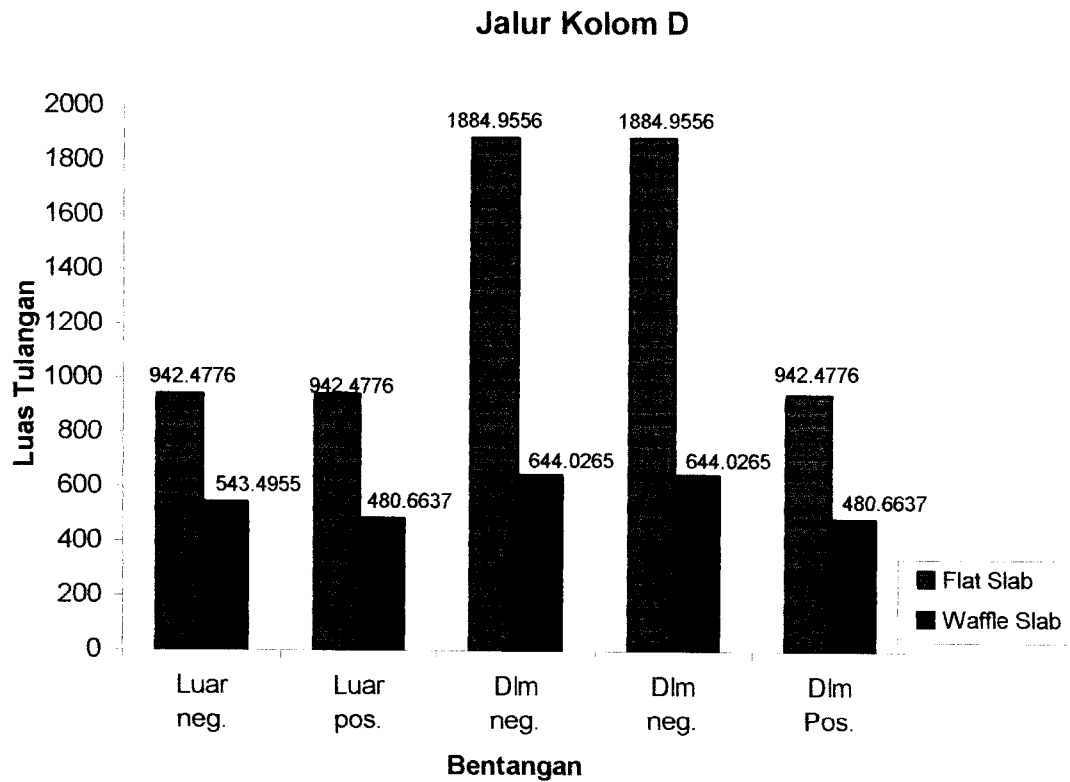
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur tengah portal C dapat dilihat pada tabel 4. 9. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 32. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 6. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Tengah C

Pada gambar 5. 6. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 76,5001 %.

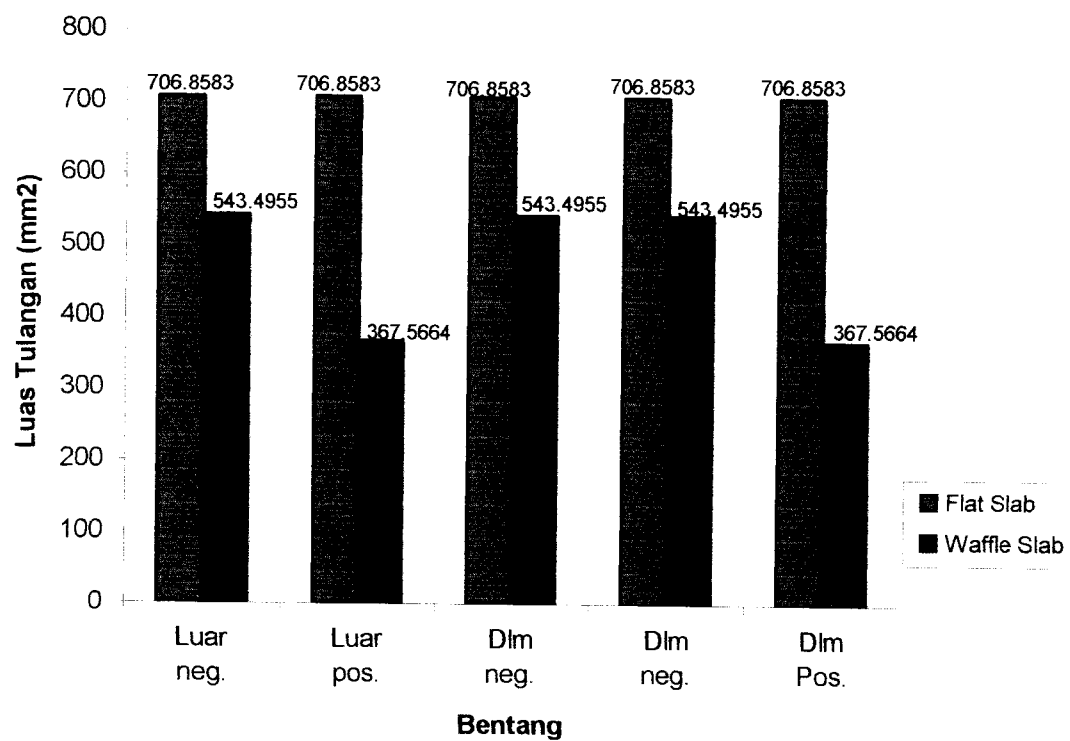
Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur kolom portal D dapat dilihat pada tabel 4. 10. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 33. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 7. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Kolom D

Pada gambar 5. 7. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 42,3333 %

Hasil perhitungan penulangan pelat lantai *flat slab* untuk jalur tengah portal D dapat dilihat pada tabel 4. 11. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 33. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :

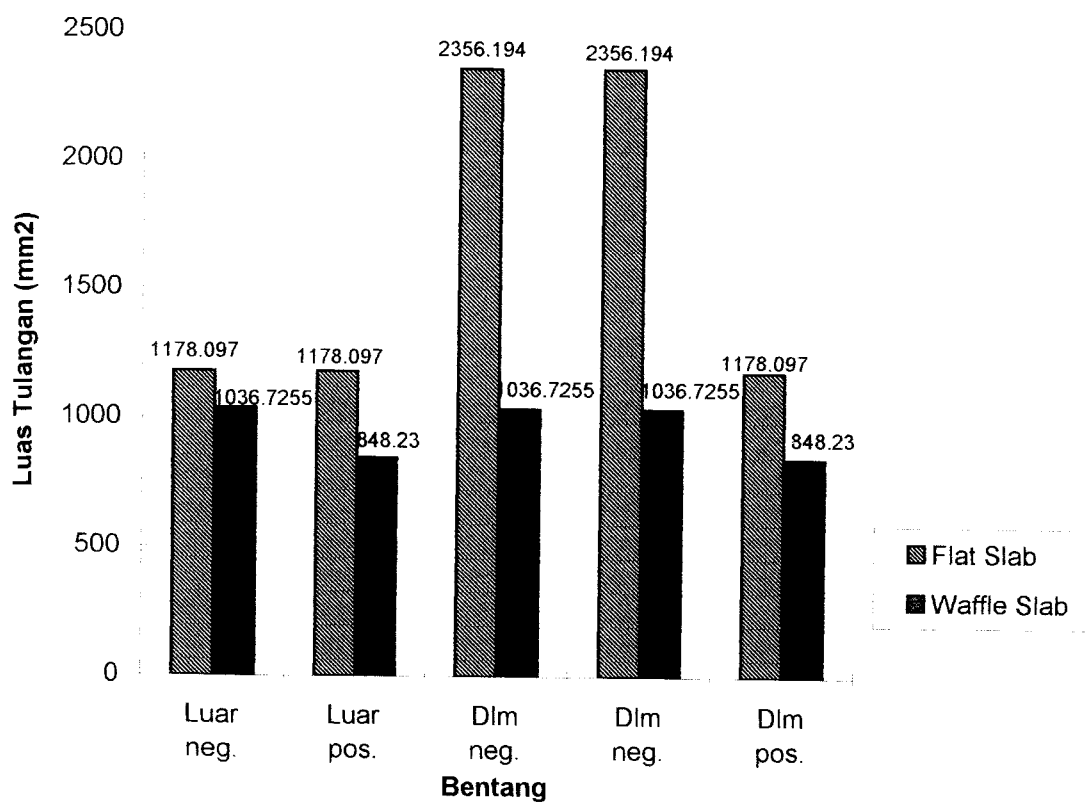


Gambar 5. 8. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab* pada Jalur Tengah D

Pada gambar 5. 8. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 73,3333 %.

2. Perbandingan luas tulangan Pelat atap *flat slab* dan *waffle slab*

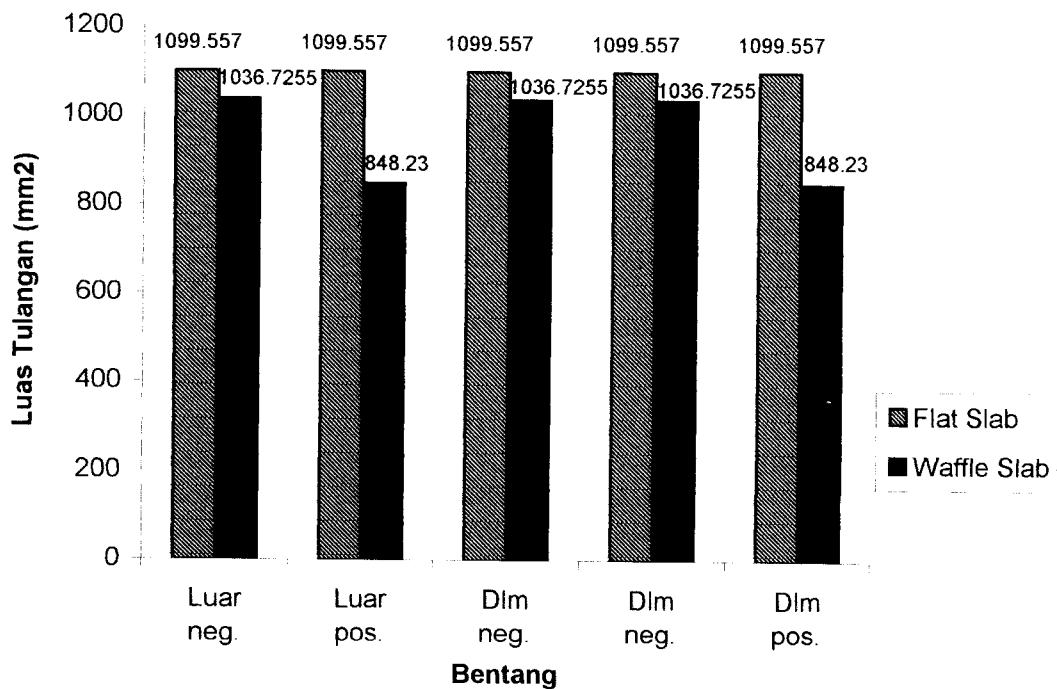
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur kolom portal A dapat dilihat pada tabel 4. 15. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 34. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 9. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Kolom A

Pada gambar 5. 9. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 58,2878 %.

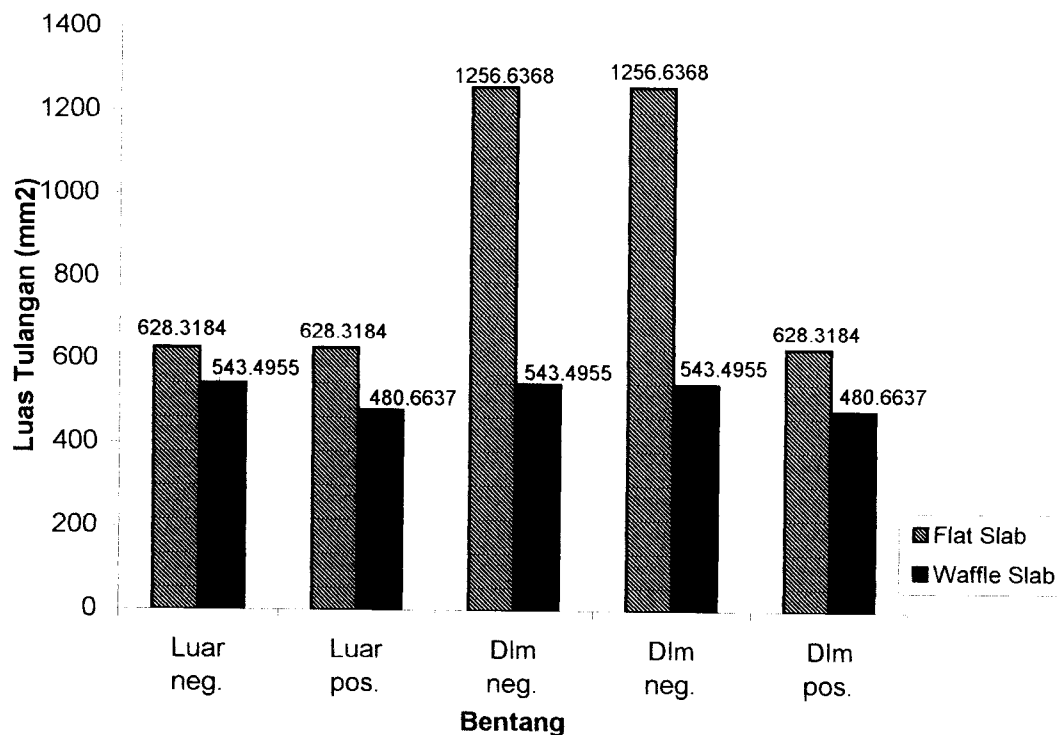
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur tengah portal A dapat dilihat pada tabel 4. 16. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 34. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 10. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur tengah A

Pada gambar 5. 10. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 87,4286 %.

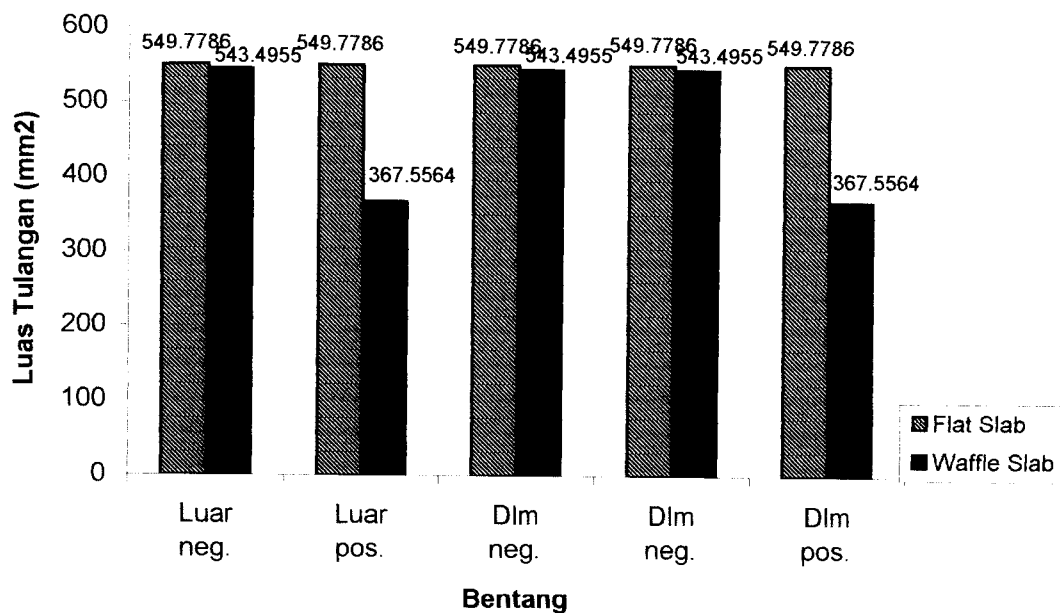
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur kolom portal B dapat dilihat pada tabel 4. 17. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 35. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 11. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Kolom B

Pada gambar 5. 11. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 58,9286 %.

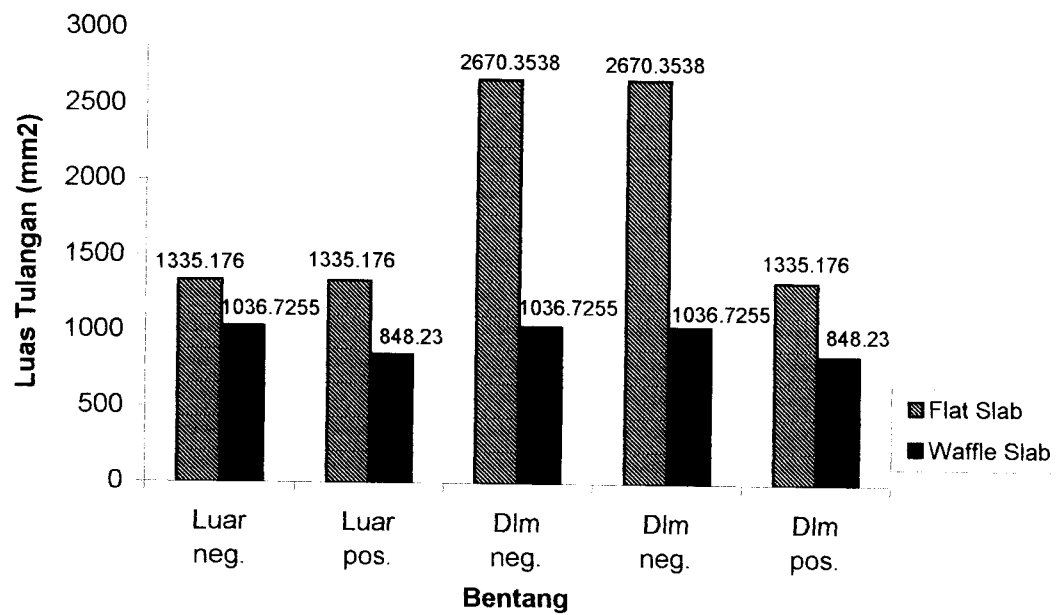
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur tengah portal B dapat dilihat pada tabel 4. 18. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 35. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 12. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Tengah B

Pada gambar 5. 12. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 94,2857 %.

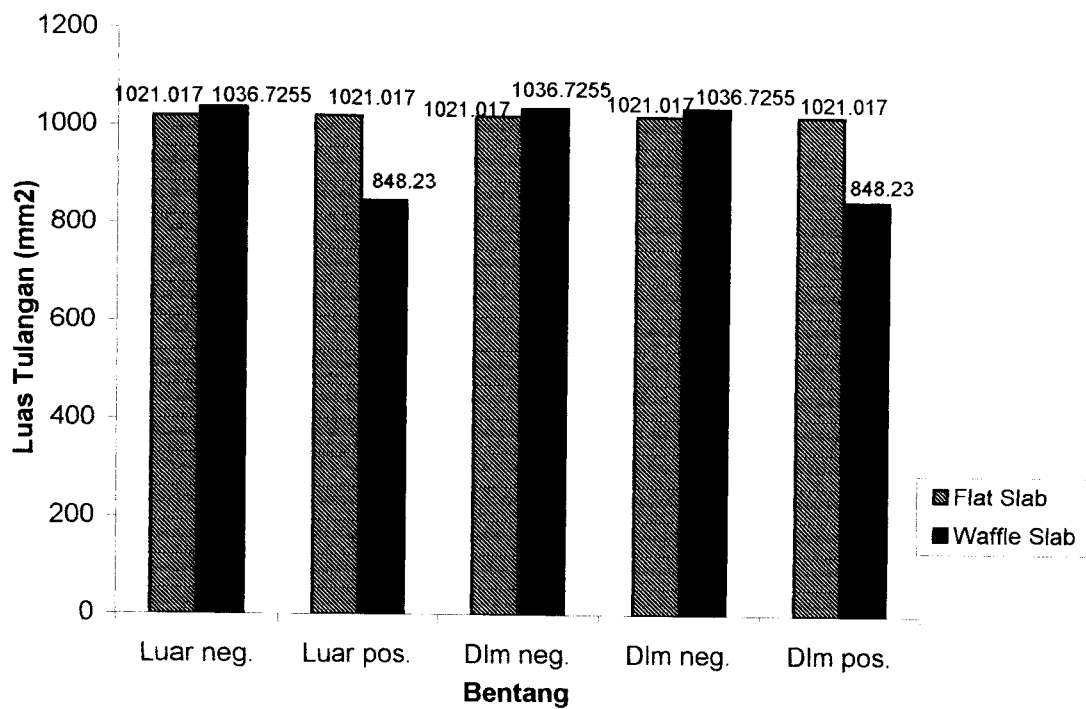
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur kolom portal C dapat dilihat pada tabel 4. 19. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 34. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 13. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Kolom C

Pada gambar 5. 13. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 51,4286%.

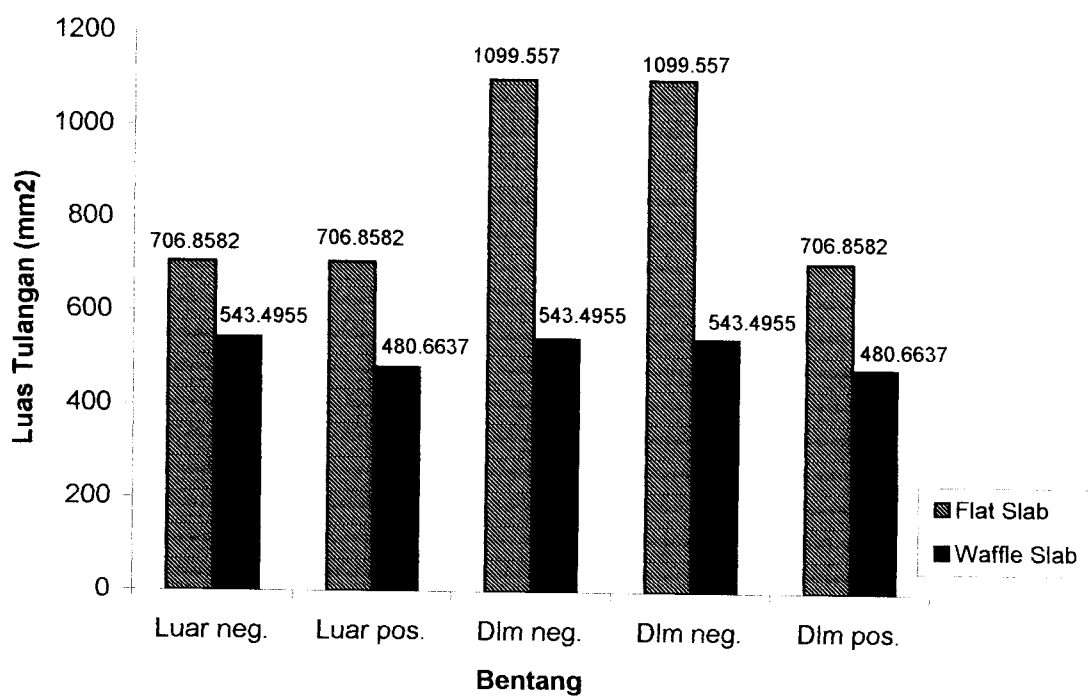
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur tengah portal C dapat dilihat pada tabel 4. 20. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 34. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 14. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Tengah C

Pada gambar 5. 14. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 94,1539 %.

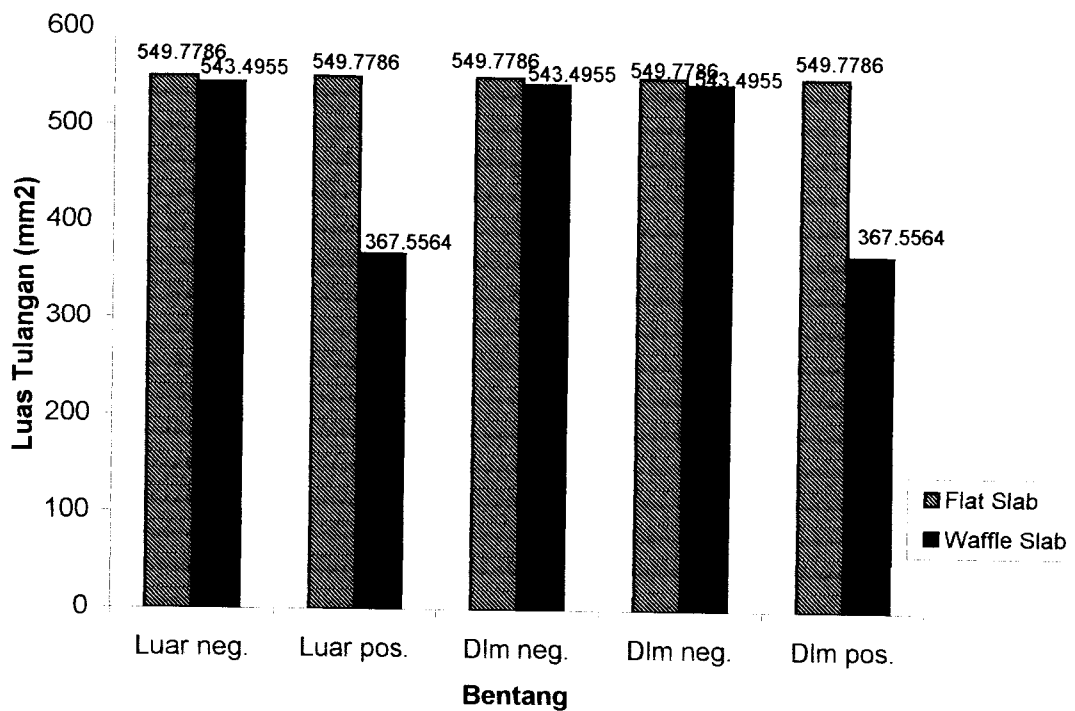
Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur kolom portal D dapat dilihat pada tabel 4. 21. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 35. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 15. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Kolom D

Pada gambar 5. 15. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 73,3333%.

Hasil perhitungan penulangan pelat atap *flat slab* untuk jalur tengah portal D dapat dilihat pada tabel 4. 22. dan hasil perhitungan penulangan *waffle slab* dapat dilihat pada tabel 4. 35. Perbandingan hasil penulangan adalah sebagai berikut :



Gambar 5. 16. Perbandingan Luas Tulangan Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab* Jalur Tengah D

Pada gambar 5. 16. luas tulangan *flat slab* lebih besar dibanding *waffle slab* dengan kenaikan 94,2857%.

Tabel 5. 1. Luas Tulangan Total pelat Lantai *Flat Slab* dan *Waffle Slab*

JALUR	PELAT	LUAS TULANGAN TOTAL			
		PORTAL (mm ²)			
		A	B	C	D
KOLOM	Flat Slab	11938,0492	5576,3254	13037,607	6597,344
	Waffle Slab	5309,292	2792,8759	5308,821	2792,8759
TENGAH	Flat Slab	5890,485	3141,591	6283,18	3534,2915
	Waffle Slab	4995,132	2365,6193	4806,635	2365,6193

Tabel 5. 2. Luas Tulangan Total Pelat Atap *Flat Slab* dan *Waffle Slab*

JALUR	PELAT	LUAS TULANGAN TOTAL			
		PORTAL (mm ²)			
		A	B	C	D
KOLOM	Flat Slab	8246,388	4398,2288	9346,2356	4319,6886
	Waffle Slab	4806,6365	2591,8139	4806,6365	2591,8139
TENGAH	Flat Slab	5497,785	2748,893	5105,085	2748,893
	Waffle Slab	4806,6365	2365,5993	4806,6365	2365,5993

5. 1. 2. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat

1. perbandingan kapasitas lentur pelat lantai *flat slab* dan *Waffle slab*

Tabel 5. 3. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Lantai **Portal A**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas Lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	55,5589	55,5589	103,9324	103,9324	55,5589
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	93,367	93,367	53,4055
Tengah	<i>Flat Slab</i>	38,4229	38,4229	38,4229	38,4229	38,4229
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055

Tabel 5. 4. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Lantai **Portal B**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	27,7794	27,7794	46,4139	46,4139	27,7794
	<i>Waffle Slab</i>	42,5859	32,0433	56,0202	56,0202	32,0433
Tengah	<i>Flat Slab</i>	20,4509	20,4509	20,4509	20,4509	20,4509
	<i>Waffle Slab</i>	28,3906	21,3622	37,3468	37,3468	21,3622

Tabel 5. 5. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Lantai **Portal C**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	54,3301	54,3301	100,8179	100,8179	54,3301
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	93,367	93,367	53,4055
Tengah	<i>Flat Slab</i>	36,8806	36,8806	36,8806	36,8806	36,8806
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055

Tabel 5. 6. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Lantai **Portal D**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	27,1681	27,1681	51,3577	51,3577	27,1681
	<i>Waffle Slab</i>	42,5859	32,0433	56,0202	56,0202	32,0433
Tengah	<i>Flat Slab</i>	20,6525	20,6525	20,6525	20,6525	20,6525
	<i>Waffle Slab</i>	28,3906	21,3622	37,3468	37,3468	21,3622

2. perbandingan kapasitas lentur pelat atap *flat slab* dan *Waffle slab*Tabel 5. 7. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Atap **Portal A**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	38,4229	38,4229	74,5236	74,5236	38,4229
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055
Tengah	<i>Flat Slab</i>	35,9336	35,9336	35,9336	35,9336	35,9336
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055

Tabel 5. 8. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Atap **Portal B**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	20,4509	20,4509	39,5808	39,5808	20,4509
	<i>Waffle Slab</i>	42,5859	32,0433	42,5859	42,5859	32,0433
Tengah	<i>Flat Slab</i>	17,9668	17,9668	17,9668	17,9668	17,9668
	<i>Waffle Slab</i>	28,3906	21,3622	28,3906	28,3906	21,3622

Tabel 5.9. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Atap **Portal C**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	39,098	39,098	75,2131	75,2131	39,098
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055
Tengah	<i>Flat Slab</i>	30,1668	30,1668	30,1668	30,1668	30,1668
	<i>Waffle Slab</i>	70,9765	53,4055	70,9765	70,9765	53,4055

Tabel 5. 10. Perbandingan Kapasitas Lentur Pelat Atap **Portal D**

Jalur	Tipe Pelat	Kapasitas lentur (kNm)			Kapasitas Lentur (kNm)	
		Bentangan Luar			Bentangan Dalam	
		Luar Neg.	Luar Pos.	Dlm. Neg.	Dlm. Neg.	Dlm Pos.
Kolom	<i>Flat Slab</i>	20,6525	31,4036	31,4036	31,4036	31,4036
	<i>Waffle Slab</i>	42,5859	32,0433	42,5859	42,5859	32,0433
Tengah	<i>Flat Slab</i>	12,966	12,966	12,966	12,966	12,966
	<i>Waffle Slab</i>	28,3906	21,3622	28,3906	28,3906	21,3622

3. Perbandingan volume tulangan *flat slab* dan *waffle slab*

Tabel 5. 11 . Perbandingan Volume Total Penulangan Pelat Lantai

PELAT	VOLUME TULANGAN (mm ³)			
	PORTAL			
	A	B	C	D
<i>Flat Slab</i>	62187037,65	30867714,97	67355738,77	30775825,38
<i>Waffle Slab</i>	35049236,41	17697154,7	35049236,41	17697154,7

Tabel 5. 12. Perbandingan Volume Total Penulangan Pelat Atap

PELAT	VOLUME TULANGAN (mm ³)			
	PORTAL			
	A	B	C	D
<i>Flat Slab</i>	48075789,23	24968590,77	50365222,57	258322019,1
<i>Waffle Slab</i>	32711891,58	16762216,33	32711891,58	16762216,33

5. 2. Pembahasan

Perbandingan luas tulangan, kapasitas lentur dan volume tulangan dihitung dengan membagi panel-panel menjadi beberapa portal, yaitu sebagai berikut ini.

1. Portal pada arah x :

- a. portal A, terdiri dari jalur kolom 3000 mm dan jalur tengah 3000 mm,
- b. portal B, terdiri dari jalur kolom 1500 mm dan jalur tengah 1500 mm,

2. Portal pada arah y :

- a. portal C, terdiri dari jalur kolom 3000 mm dan jalur tengah 3000 mm,
- b. portal D, terdiri dari jalur kolom 1500 mm dan jalur tengah 1500 mm.

5. 2. 1. Perbandingan Luas Tulangan

Luas tulangan untuk *waffle slab* lebih kecil dibanding dengan *flat slab*, dapat dilihat pada gambar 5. 1. sampai 5. 16. hal ini disebabkan :

1. *waffle slab* mempunyai tebal pelat yang sangat kecil dan adanya balok rusuk *joist* yang menahan beban pelat,
2. untuk kemudahan dan mengurangi banyaknya sambungan penulangan, maka :
 - a. penulangan *waffle slab* pada daerah tumpuan dan lapangan dipasang sejajar,
 - b. jarak tulangan *flat slab* di daerah tumpuan dan lapangan dibuat sama, dua kali atau setengah kali jarak tulangan terkecil.
3. penulangan *waffle slab* terdiri dari :
 - a. penulangan pelat pada daerah tumpuan dan lapangan,

- b. penulangan balok rusuk *joist* pada daerah tumpuan dan lapangan. Pada daerah tumpuan, karena momen negatif, maka penulangan dipasang pada pelat. Pada daerah lapangan karena momen positif, maka penulangan dipasang pada balok rusuk *joist*.

5. 2. 2. Perbandingan Kapasitas Lentur

1. Kapasitas lentur *waffle slab* lebih kecil, dapat dilihat pada tabel 5. 3. perbandingan kapasitas lentur pelat lantai portal A jalur kolom, tabel 5. 5 Portal C jalur kolom pelat lantai, tabel 5. 7 Portal A jalur kolom pelat atap dan tabel 5. 9 Portal C jalur kolom pelat atap, hal ini disebabkan, perbedaan kebutuhan luas tulangan *flat slab* sangat besar dibanding dengan kebutuhan luas tulangan *waffle slab*.
2. Kapasitas lentur *waffle slab* lebih besar dibanding *flat slab*, dapat dilihat pada tabel 5. 3 sampai 5. 10 hal ini disebabkan, perbedaan kebutuhan luas tulangan *flat slab* tidak terlalu besar dibanding dengan kebutuhan luas tulangan *waffle slab*, tinggi efektif *waffle slab* lebih besar, sehingga menghasilkan lengan momen *waffle slab* yang lebih besar dibanding *flat slab*.

5. 2. 3. Perbandingan Volume Tulangan

Volume tulangan pada *waffle slab* lebih kecil dibanding dengan *flat slab*, dapat dilihat pada tabel 5. 11. dan 5. 12. hal ini disebabkan, perhitungan perencanaan pelat *waffle slab* diambil setiap bentangan 600 x 600 mm, maka untuk memudahkan pemasangan dan mengurangi banyaknya sambungan, tulangan pada daerah tumpuan dan lapangan dipasang sejajar dengan tinggi $1/2$ dari tebal pelat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6. 1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisa perencanaan pada *flat slab* dan *waffle slab*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

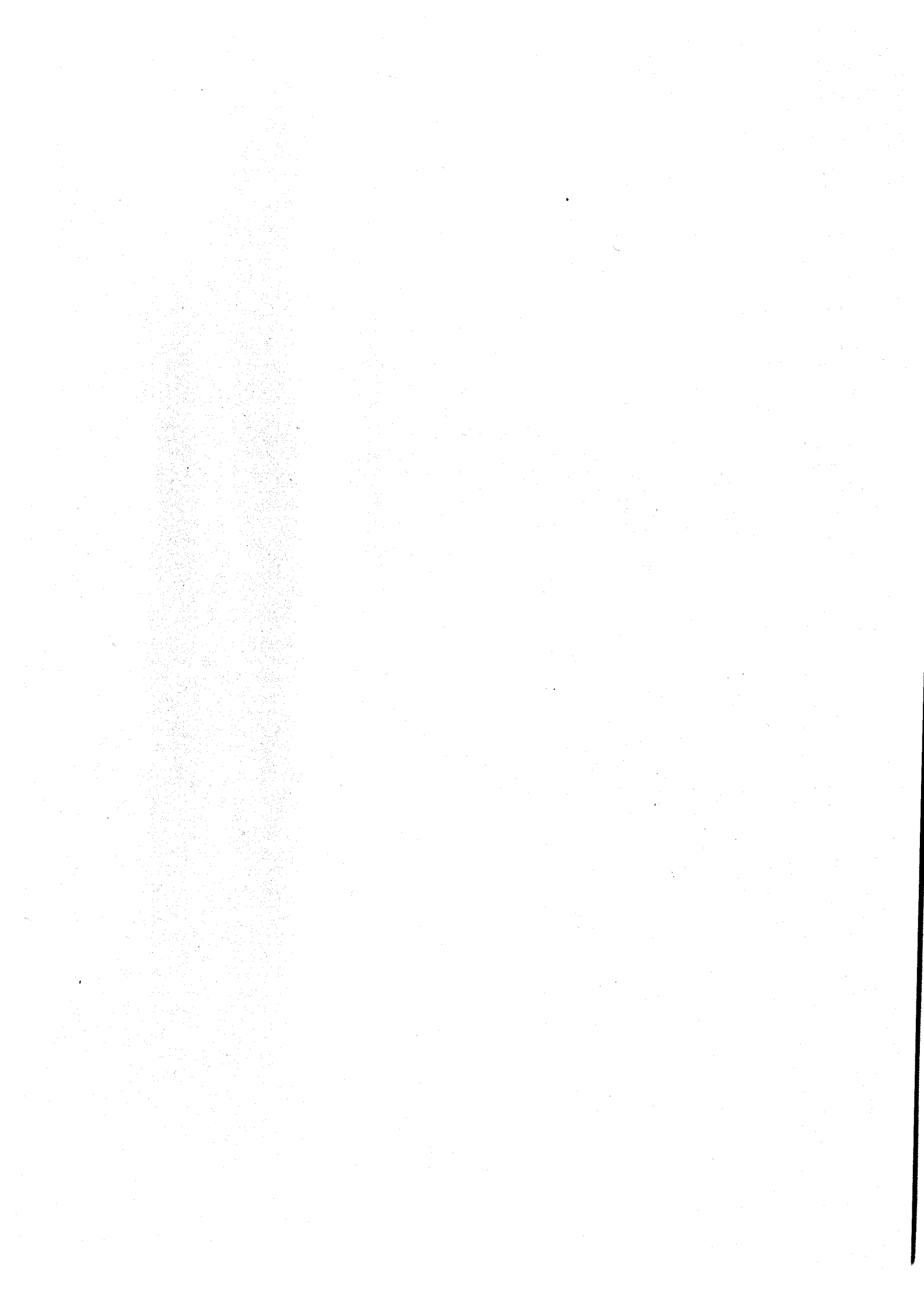
1. Dari hasil desain dapat disimpulkan bahwa dengan luasan penampang pelat yang sama, kebutuhan luas tulangan lebih ekonomis *waffle slab* dibanding *flat slab*. Hal ini dapat dilihat pada hasil perhitungan di atas yaitu pada gambar 5. 1. sampai gambar 5.16.
2. Adanya penambahan penulangan *waffle slab* pada balok rusuk (*joist*), tidak berarti bahwa penulangan *waffle slab* lebih banyak dibanding *flat slab*.
3. Keseragaman jarak penulangan pelat pada *waffle slab*, yaitu dengan pemasangan tulangan pada daerah tumpuan dan lapangan dipasang sejajar setinggi $1/2$ dari tebal pelat menyebabkan luas tulangan yang diperlukan semakin kecil.
4. Bervariasinya jarak penulangan pada *flat slab* menyebabkan luas tulangan yang diperlukan semakin banyak, dapat dilihat pada tabel penulangan pelat cendawan yaitu tabel 4. 4. sampai tabel 4. 11. dan tabel 4. 15. sampai tabel 4. 22.
5. *Waffle slab* yang lebih ekonomis pada kebutuhan luas tulangan tidak berarti ekonomis secara keseluruhan, karena untuk membentuk balok rusuk *joist*,

dibutuhkan acuan yang lebih banyak dibanding *flat slab*, demikian juga terhadap kebutuhan betonnya.

6. 2. Saran - saran

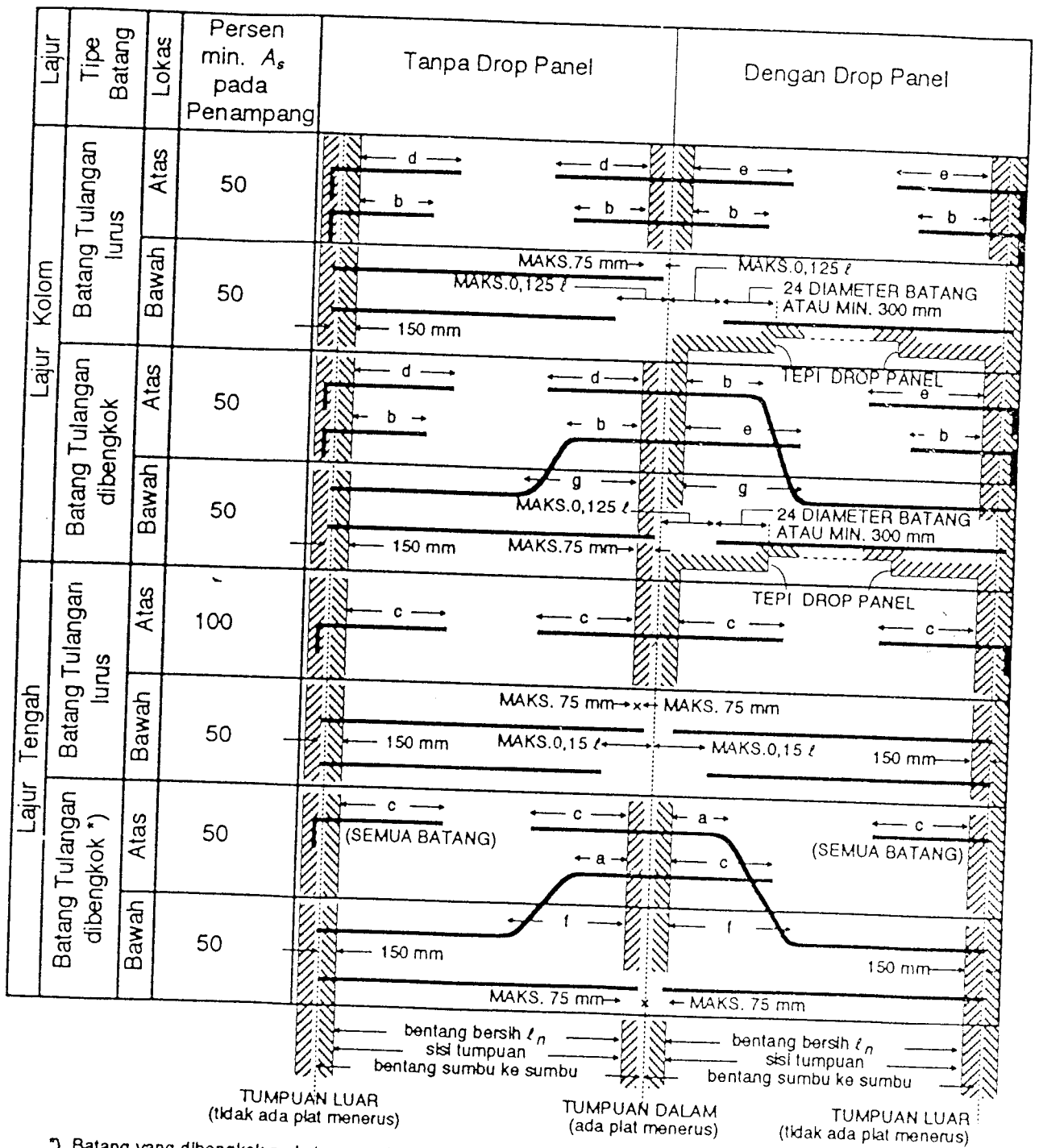
Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut diatas, maka dapat diberikan saran-saran sebagai berikut ini.

1. Sebaiknya dalam perencanaan *waffle slab*, digunakan dimensi tebal pelat dan balok rusuk *joist* yang sekecil mungkin tanpa mengabaikan persyaratan-persyaratan yang telah ditentukan, sehingga kebutuhan luas tulangan dan volume betonnya semakin kecil.
2. Pada komparasi perencanaan penulangan di atas, hanya digunakan pembebanan dengan beban merata tertentu, agar komparasi lebih teliti perlu dianalisis dengan beberapa variasi pembebanan.
3. Pada perencanaan di atas *waffle slab* lebih hemat pada perencanaan penulangan dibanding *flat slab*, perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai acuan dan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan.



DAFTAR PUSTAKA

1. Arthur H. Nilson, George Winter, 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, Penerbit P.T. Pradnya Paramita Jakarta.
2. Chu-Kia Wang, Charles G. Salmon, 1985, *Desain Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga.
3. Edward G. Nawy, 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*, Penerbit P. T. Eresco Bandung.
4. Edward S. Hoffman, Paul F. Rice, *Structural Design Guide to the ACI Building Code*, 1979, Litton Educational Publishing, New York.
5. Istimawan Dipohusodo, 1993, *Struktur Beton Bertulang*, Departemen Pekerjaan Umum.
6. Rudolph Szilard, 1989, *Teori Analisis Pelat Metode Klasik dan Numerik*, Penerbit Erlangga Jakarta.
7. Sudarmoko, Ir., M.Sc., 1995-1996, *Perancangan Struktur Pelat Beton Bertulang*, Unit Produksi Biro Penerbit Yogyakarta.
8. W.H. Mosley, J.H. Bungey, 1989, *Perencanaan Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga Jakarta.



*) Batang yang dibengkok pada tumpuan luar, boleh dipakai bila dilakukan analisa keseluruhan

TANDA	PANJANG TULANGAN DARI MUKA TUMPUAN					PANJANG MAKSIMUM	
	PANJANG MINIMUM						
PANJANG	0,14l	0,20l	0,22l	0,30l	0,33l	0,20l	0,24l

Gambar 7.23.

LOKASI BENGKOKAN MINIMUM DAN PERPANJANGAN UNTUK TULANGAN DI DALAM PLAT TANPA BALOK