

TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN PLAT LANTAI, BALOK DAN KOLOM GEDUNG BERLANTAI 3

Diajukan sebagai Syarat untuk Mengikuti Ujian Akhir pada
Program Diploma III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro



Disusun Oleh :

BAMBANG EKO YULIANTO

40030117060067

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2021

TUGAS AKHIR

PERHITUNGAN PLAT LANTAI, BALOK DAN KOLOM GEDUNG BERLANTAI 3

Diajukan sebagai Syarat untuk Mengikuti Ujian Akhir pada
Program Diploma III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro



Disusun Oleh :
BAMBANG EKO YULIANTO
40030117060067

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2021

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : BAMBANG EKO YULIANTO

NIM : 40030117060067

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bambang Eko Yulianto
NIM : 40030117060067
Jurusan/Program Studi : Diploma III Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil dan Perencanaan Wilayah
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksekutif** (*Non-Executive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“PERHITUNGAN PLAT LANTAI, BALOK, DAN KOLOM GEDUNG BERLANTAI 3”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan hak bebas royalti/noneksekutif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/memformat, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :

Pada Tanggal :

Yang menyatakan

(Bambang Eko Yulianto)

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul ” PERHITUNGAN PLAT LANTAI, BALOK, DAN KOLOM GEDUNG BERLANTAI 3”, ini telah diperiksa dan disahkan pada:

Hari :

Tanggal :

Disusun oleh:

BAMBANG EKO YULIANTO

40030117060067

Dosen Pembimbing

Tugas Akhir

Drs, Puji Widodo, M.T.

NIP.195806271985031003

Mengetahui,
Ketua PSD III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro,

Asri Nurdiana, ST, MT
NIP. 198512092012122001

KATA PENGANTAR

Rasa syukur penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala atas segala berkat dan hikmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam semoga terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wasallam, keluarga, sahabat dan umatnya sampai akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih atas bantuannya kepada :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang selalu melimpahkan rahmat, ridho, kelancaran dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orangtua tersayang dan keluarga yang selama ini telah membiayai juga memenuhi semua kebutuhan penulis dan memberikan dorongan serta doanya kepada penulis, sehingga penyusunan Tugas Akhir ini dapat selesai.
3. Ibu Asri Nurdiana, ST, MT., selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Bapak Drs. Puji Widodo, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah membimbing serta memberikan arahan kepada penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, yang telah membekali penulis berbagai ilmu pengetahuan.
6. Teman-teman Conviction yang selama ini telah memberikan dukungan, semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian semua.
7. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan ketidak sempurnaan maupun kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi insan Teknik Sipil khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Semarang, 2021

Penyusun

HALAMAN MOTTO

Jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu,
Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.

- (Al-Baqarah: 153)

Allah tidak akan membebani seseorang
Melainkan sesuai dengan kemampuannya.

- (Al-Baqarah: 286)

In life, we never lose.

We either win, or we learn.

- Nelson Mandela

Jalani, Syukuri, Nikmati.

- Anonim

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN MOTTO	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Judul Tugas Akhir.....	1
1.2 Latar Belakang.....	1
1.3 Maksud dan Tujuan	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II METODOLOGI	5
2.1 Metode Pengerjaan	5
2.2 Metode Penggambaran	6
2.3 Metode Penulisan.....	6
2.4 Metode Analisa.....	6

BAB III PERHITUNGAN PLAT LANTAI.....	8
3.1 Uraian Umum	8
3.2 Pedoman Perhitungan	8
3.3 Dasar Perhitungan.....	9
3.4 Konsep Perhitungan Penulangan	14
3.5 Analisa Perhitungan Plat Lantai	15
3.5.1 Menentukan Tebal Plat Lantai.....	16
3.5.2 Menentukan Tinggi Efektif Plat Lantai	17
3.5.3 Menghitung Beban Plat Lantai	18
3.5.4 Menghitung Momen yang Bekerja	19
3.5.5 Menghitung Kebutuhan Penulangan.....	20
3.6 Analisa Perhitungan Plat Atap.....	28
3.6.1 Menentukan Tebal Pelat Atap	29
3.6.2 Menentukan Tinggi Efektif Plat Atap.....	30
3.6.3 Menghitung Beban Plat Atap.....	31
3.6.4 Menghitung Momen yang Bekerja	32
3.6.5 Menghitung Kebutuhan Penulangan.....	33
 BAB IV PERHITUNGAN PORTAL.....	 42
4.1 Uraian Umum	42
4.2 Pedoman Perhitungan	42
4.3 Konsep Perhitungan.....	43
4.4 Analisa Perhitungan Balok	43
4.4.1 Menghitung Dimensi Balok Pradesain	43

4.4.2 Menghitung Pembebanan	48
4.4.3 Menghitung Momen Maksimal (M _{lap}) dan Gaya Lintang	58
4.4.4 Menghitung Penulangan Balok	80
4.5 Analisa Perhitungan Kolom.....	104
4.5.1 Menghitung Pembebanan Kolom	104
4.5.2 Menghitung Penulangan Kolom.....	106
BAB V PENUTUP	118
5.1 Kesimpulan.....	118
5.2 Saran	119
DAFTAR PUSTAKA	120

LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Surat Permohonan Tugas Akhir
2. Soal Tugas Akhir
3. Lembar Asistensi Tugas Akhir
4. Lampiran Tabel Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK SNI-T-15-1993-03
5. Lampiran Tabel Gideon
6. Lampiran Gambar Perencanaan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Penentuan Panjang Bentang	10
Gambar 3.2	Denah Lantai	15
Gambar 3.3	Ilustrasi Dimensi Pelat Lantai	16
Gambar 3.4	Ilustrasi Tinggi Efektif Pelat Lantai	17
Gambar 3.5	Posisi Tumpuan Jepit Pelat Lantai	19
Gambar 3.6	Ilustrasi Dimensi Pelat Atap.....	29
Gambar 3.7	Ilustrasi Tinggi Efektif Pelat Atap	30
Gambar 3.8	Posisi Tumpuan Jepit Pelat Atap.....	32
Gambar 4.1	Denah Balok	44
Gambar 4.2	Pradesain Dimensi Balok Atap	47
Gambar 4.3	Pradesain Dimensi Balok Lt 2 & Lt 3	47
Gambar 4.4	Pradesain Dimensi Balok Sloof.....	48
Gambar 4.5	Ilustrasi Pembebanan Segitiga	52
Gambar 4.6	Ilustrasi Pembebanan Trapesium	53
Gambar 4.7	Denah Pelat Lantai dengan Ilustrasi Metode Amplop	55
Gambar 4.8	Potongan Memanjang Portal As B	58
Gambar 4.9	Momen Ujung Jepit pada Balok As B1-2 Pelat Atap.....	62
Gambar 4.10	Ilustrasi Reaksi Perletakan Bidang B1-L1 – B2-L2.....	65
Gambar 4.11	Potongan Memanjang Portal As 2.....	69
Gambar 4.12	Momen Ujung Jepit pada Balok As 2C-D Pelat Atap	73
Gambar 4.13	Ilustrasi Reaksi Perletakan Bidang B2-L1 – C2-L2.....	76
Gambar 4.14	Posisi Balok B1 Atap – B2 Atap	80
Gambar 4.15	Posisi Balok B2-Atap – C2-Atap	84
Gambar 4.16	Posisi Balok B1-L3 – B2-L3	88
Gambar 4.17	Posisi Balok B2-L3 – C2-L3	92
Gambar 4.18	Posisi Balok B1-L1 – B2-L1	96
Gambar 4.19	Posisi Balok B2-L1 – C2-L1	100

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Tabel Minimum Pelat Satu Arah	10
Tabel 3.2	Besar Beban Mati untuk Material Bangunan	12
Tabel 3.3	Besar Beban Mati untuk Komponen Bangunan	13
Tabel 3.4	Beban Hidup untuk Struktur Bangunan	14
Tabel 3.5	Momen dan Penulangan Pelat Lantai.....	27
Tabel 3.6	Momen dan Penulangan Pelat Atap.....	40
Tabel 4.1	Rekapitulasi Dimensi Balok Rencana.....	46
Tabel 4.2	Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Melintang.....	61
Tabel 4.3	Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As B Portal Arah Melintang.....	62
Tabel 4.4	Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (<i>Metode Cross</i>) Portal Arah Melintang	64
Tabel 4.5	Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Portal Arah Melintang	67
Tabel 4.6	Rekapitulasi Momen Maksimal (M _{lap}) dan Gaya Lintang Portal Arah Melintang	68
Tabel 4.7	Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Memanjang	72
Tabel 4.8	Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As 2 Portal Arah Memanjang.....	74
Tabel 4.9	Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (<i>Metode Cross</i>) Portal Arah Memanjang.....	75
Tabel 4.10	Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Arah Portal Memanjang	78
Tabel 4.11	Rekapitulasi Momen Maksimal (M _{lap}) dan Gaya Lintang Portal Arah Memanjang.....	79
Tabel 4.12	Rekapitulasi Penulangan Balok Atap.....	87
Tabel 4.13	Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 2 dan 3	95
Tabel 4.14	Rekapitulasi Penulangan Balok Sloof.....	103
Tabel 4.15	Rekapitulasi Penulangan Kolom.....	117

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Judul Tugas Akhir

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis mengangkat judul “PERHITUNGAN PLAT LANTAI, BALOK DAN KOLOM PADA GEDUNG BERLANTAI 3”

1.2 Latar Belakang

Setiap mahasiswa yang akan menyelesaikan studinya dalam Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro diwajibkan untuk menyusun suatu karya ilmiah yang disebut Tugas Akhir. Penyusunannya dilaksanakan dengan persyaratan akademis, yakni mahasiswa telah selesai menyelesaikan Laporan Praktek Magang dan telah menempuh 90 sks dengan nilai minimum tiap mata kuliah adalah C.

Pada penyusunan Tugas Akhir ini pokok bahasan yang akan dibahas adalah mengenai perhitungan struktur atas yaitu kolom, balok dan pelat lantai pada suatu gedung berlantai 3. Perhitungan gedung ini dilandasi oleh beberapa hal, diantaranya adalah :

1. Penulis ingin mempelajari lebih dalam lagi tentang struktur bangunan gedung.

2. Penulis berpendapat bahwa bangunan gedung di masa yang akan datang akan sangat dibutuhkan.
3. Keberhasilan suatu proyek konstruksi gedung sangat ditentukan oleh perhitungan yang baik dan ditunjang oleh pelaksanaan dilapangan.
4. Mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang diharapkan setelah lulus dapat menjadi tenaga yang terampil yang siap pakai dan mampu menguasai perhitungan suatu proyek bangunan.

1.3 Maksud dan Tujuan

Dengan menyusun Tugas Akhir diharapkan mahasiswa mampu merangkum dan mengaplikasikan semua pengalaman pendidikan untuk memecahkan masalah dalam bidang studi yang ditempuh secara sistematis, logis, kritis dan kreatif, berdasarkan data yang akurat dan didukung analitis yang tepat, dan menuangkannya dalam bentuk penulisan karya ilmiah.

Secara akademis penulisan Tugas Akhir ini mempunyai tujuan adalah sebagai berikut :

1. Melengkapi syarat akhir kelulusan pada Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Melatih mahasiswa membuat suatu perhitungan proyek yang efektif dan efisien dengan pengalaman yang didapat dari kegiatan magang selama 90 hari.

3. Tolak ukur kemampuan mahasiswa dalam menyerap ilmu yang diperoleh selama perkuliahan serta mengukur kualitas, kreatifitas, dan kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan gagasan serta mewujudkan secara nyata penerapan mata kuliah keteknikan secara terpadu, terencana, ilmiah dan sistematis.
4. Menambah pengalaman bagi mahasiswa dalam mempersiapkan diri menghadapi pekerjaan perhitungan yang sesungguhnya.
5. Melatih dan meningkatkan kreativitas serta kemampuan dalam mengembangkan gagasan bagi setiap mahasiswa.

1.4 Pembatasan Masalah

Perhitungan struktur atas pembangunan gedung perkantoran dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis membatasi pembahasannya dengan :

1. Perhitungan Plat Lantai, Balok dan Kolom
2. Perhitungan Portal

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan penyajian bentuk laporan tugas akhir ini adalah dengan gambar kerja yang dituangkan dalam membagi beberapa bagian yang terdiri dari :

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan judul Tugas Akhir, latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II METODOLOGI

Menguraikan metode pengerjaan, penggambaran dan analisa

BAB III PERHITUNGAN PLAT LANTAI

Bab ini berisi tentang perhitungan beban, analisa stastika dan desain penulangan pada plat lantai dan plat atap

BAB IV PERHITUNGAN PORTAL

Berisi tentang uraian umum, pedoman perhitungan, dan analisa perhitungan portal

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar literatur yang diperlukan dalam penyusunan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisi lampiran-lampiran penunjang dari Tugas Akhir ini.

BAB II

METODOLOGI

2.1 Metode Pengerjaan

Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode-metode sebagai berikut :

1. Metode *observasi* (pengamatan)

Dalam metode ini digunakan untuk memperoleh data yang berhubungan dengan analisa yang dibahas.

2. Metode *Diskriptif*

Metode *diskriptif* (literatur) didapatkan dari buku-buku yang mempelajari tentang contoh-contoh analisa yang digunakan dalam perhitungan struktur.

Metode literatur digunakan dalam pemecahan-pemecahan permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan tugas akhir ini.

3. Metode *Interview* (wawancara langsung)

Untuk mendapatkan rujukan yang sekiranya tidak terdapat dalam data.

4. Metode Bimbingan

Metode bimbingan dilakukan dengan dosen mengenai masalah yang dibahas untuk mendapatkan petunjuk dalam pembuatan tugas akhir.

2.2 Metode Penggambaran

Format penggambaran tugas akhir baik berupa hasil perhitungan maupun gambar-gambar penunjang laporan tugas akhir ini, disesuaikan dengan tata cara menggambar teknik struktur bangunan dengan menggunakan program *Auto CAD 2013*.

2.3 Metode Penulisan

Penulisan dalam tugas akhir ini menyesuaikan ejaan yang disempurnakan (EYD) dan tata cara penulisan karya ilmiah dengan menggunakan bantuan program *SAP 2000*.

2.4 Metode Analisa

Pada tugas akhir ini penulis hanya menganalisa pada struktur atas saja (*upper structure*). Peninjauan struktur atas yang dimaksud adalah berupa perhitungan pelat lantai, balok dan kolom. Pengerjaan penganalisaan dibantu dengan menggunakan program *SAP 2000*. Pada perhitungan tersebut penulis menyesuaikan dengan peraturan-peraturan berikut :

1. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK SNI T-15-1991-03).
2. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2002)
3. Pedoman perhitungan pembebanan untuk rumah dan gedung (PPURG 1987).

4. Buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang” yang disusun oleh Ir. W.C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M.Eng.
5. Kumpulan Tabel Struktur Beton Bertulang berdasar SK SNI-T15-1991-03 diikuti dari buku Struktur Beton Bertulang Istimawan Dipohusodo.

BAB III

PERHITUNGAN PLAT LANTAI

3.1 Uraian Umum

Plat adalah struktur pemisah ruang secara mendatar pada bangunan bertingkat. Fungsi plat lantai adalah struktur yang pertama kali menerima beban, yang nantinya akan diteruskan kepada balok. Untuk merencanakan pelat beton bertulang yang perlu dipertimbangkan tidak hanya pembebanan, tetapi juga ukuran dan syarat-syarat dari peraturan yang ada.

Sistem perhitungan tulangan pelat pada dasarnya dibagi menjadi 2 macam yaitu plat satu arah (*one way slab*) dan plat dua arah (*two way slab*). Perhitungan perencanaan plat lantai pada gedung berlantai 3 ini diperhitungkan dari struktur beton bertulang yang dicor secara monolit (menyatu) dengan struktur utama bangunan.

3.2 Pedoman Perhitungan

Pedoman yang digunakan dalam perhitungan plat lantai adalah sebagai berikut :

1. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK-SNI-T-15-1991-03).
2. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2002)

3. Pedoman perhitungan pembebanan untuk rumah dan gedung (PPURG 1987).
4. Buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang” yang disusun oleh Ir. W.C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M.Eng.

3.3 Dasar Perhitungan

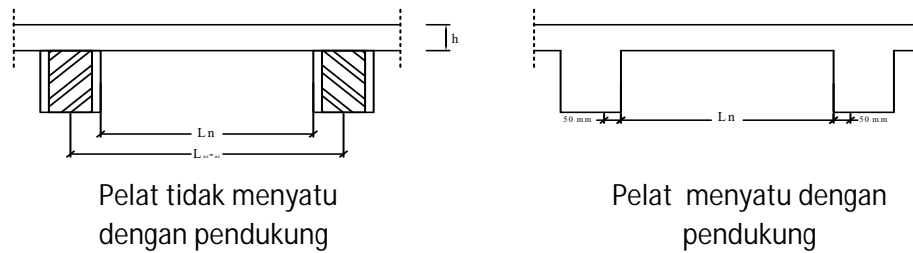
Pada perhitungan plat beton bertulang, perlu diperhatikan beberapa persyaratan/ketentuan sebagai berikut :

1. Pada perhitungan plat, lebar plat diambil 1 meter ($b=1000$ mm)
2. Menentukan jenis perletakan dan jenis penghubung ditempat tumpuan.
 - a. Bila plat dapat berotasi bebas pada tumpuan, maka plat dapat dikatakan ditumpu bebas.
 - b. Bila tumpuan mencegah plat berotasi dan relatif sangat kaku terhadap momen puntir, maka plat itu terjepit penuh, dimana plat tersebut monolit (menyatu) dengan balok yang tebal
 - c. Bila balok tepi tidak cukup kuat untuk mencegah rotasi sama sekali, maka plat itu terjepit sebagian.
3. Panjang bentang (L) (Pasal 10.7 SNI 03-2847-2002)
 - a. Plat yang tidak menyatu dengan struktur pendukung

$$L = L_n + h \text{ dan } L \leq L_{as-as}$$
 - b. Plat yang menyatu dengan struktur pendukung

Jika $L_n \leq 3,0$ m, maka $L = L_n$

Jika $L_n > 3,0$ m, maka $L = L_n + (2 \times 50 \text{ mm})$



Gambar 3.1 Penentuan Panjang Bentang (L)

4. Tebal minimum plat (h) (SK SNI T-15-1991-03)

- a. Untuk plat satu arah (SK SNI T-15-1991-03), tebal minimal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Tabel Minimum Pelat Satu Arah

Komponen Struktur	Tinggi Minimal (h)			
	Dua Tumpuan	Satu ujung Menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen yang tidak menahan atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang akan rusak karena lendutan yang besar			
Pelat Solid satu arah	$L/20$	$L/24$	$L/28$	$L/10$
Balok atau pelat jalur satu arah	$L/16$	$L/18,5$	$L/21$	$L/8$

- b. Untuk plat dua arah (Pasal 11.5.3 SNI 03-2847-2002), tebal minimal plat bergantung pada $\alpha_m = \alpha$ rata-rata, α adalah rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur plat dengan rumus berikut :

$$\alpha = (E_{cb}/I_b) / (E_{cp}/I_p)$$

- 1) Jika $\alpha_m < 0,2$, maka

$$h \geq 120 \text{ mm}$$

2) Jika $0,2 \leq \alpha_m < 2$ maka

$$h = \frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 5 \cdot \beta \cdot (\alpha_m - 0,2)} \text{ dan } \geq 120 \text{ mm}$$

3) Jika $\alpha_m > 2$, maka

$$h = \frac{L_n(0,8 - \frac{f_y}{1500})}{36 - 9 \cdot \beta} \text{ dan } \geq 90 \text{ mm}$$

dengan β = rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang dan memendek.

5. Tebal selimut beton minimal (Pasal 9.7.1 SNI 03-2847-2002)

a. Untuk baja tulangan $D \leq 36$

Tebal selimut beton $\geq 20 \text{ mm}$

b. Untuk baja tulangan D44-D56

Tebal selimut beton $\geq 20 \text{ mm} - 40 \text{ mm}$

6. Jarak bersih antar tulangan (s) (Pasal 9.6.1 SNI 03-2847-2002)

$S \geq D$ dan $s \geq 25 \text{ mm}$

7. Jarak maksimal antar tulangan (as ke as)

a. Tulangan Pokok :

Plat 1 arah : $s \leq 3 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (pasal 12.5.4)

Plat 2 arah : $s \leq 2 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (pasal 15.3.2)

b. Tulangan Bagi

$s \leq 5 \cdot h$ dan $s \leq 450 \text{ mm}$ (Pasal 9.12.2.2)

8. Luas Tulangan minimal Plat

Untuk $f_y = 240 \text{ Mpa}$, Maka $A_s \geq 0,0025 \cdot b \cdot h$

Untuk $f_y = 320 \text{ Mpa}$, Maka $A_s \geq 0,0020.b.h$

Untuk $f_y = 400 \text{ Mpa}$, Maka $A_s \geq 0,0018.b.h$

Untuk $f_y \geq 400 \text{ Mpa}$, Maka $A_s \geq 0,0014.b.h$

9. Macam Pembebanan

Macam-macam beban yang direncanakan dan perlu dipertimbangkan kemungkinan terjadi sesuai Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Gedung SNI 03-2847-2002, antara lain :

1. Beban mati atau *dead load* (q_D)

Beban mati adalah berat dari semua bagian bangunan gedung yang bersifat tetap, termasuk peralatan tetap yang tidak terpisahkan dari gedung. Beban mati untuk gedung diatur dalam SNI 03-1727-1989-F

Tabel 3.2 Besar Beban Mati Untuk Material Bangunan

Material	<i>Specific Gravity</i> (Kg/m³)
Beton tanpa tulangan	2200
Beton bertulang	2400
Baja	7850
Kayu	1000
Pasir	1600

Sumber : SNI Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

SNI 03-1727-1989

Tabel 3.3 Besar Beban Mati Untuk Komponen Bangunan

Komponen	Berat Satuan (Kg/m²)
Mortar (per 1 cm)	21
Batu bata	250
Langit-langit (tidak termasuk penggantung)	11
Struktur penggantung langit-langit	7
Tegel semen	10
Keramik (tidak termasuk mortar)	24
Struktur atap baja	10 + 0,8 L

Sumber : SNI Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

SNI 03-1727-1989

2. Beban hidup atau *life load* (q_L)

Berat semua beban yang terjadi akibat penggunaan dari gedung tersebut, termasuk peralatan yang sering berpindah posisi sehingga mengakibatkan perubahan pada pembebanan yang ada.

Tabel 3.4 Beban Hidup Untuk Struktur Bangunan

Komponen	Beban (Kg/m²)
Beban hidup pada atap	100
Lantai rumah tinggal	200
Lantai sekolah, perkantoran, hotel, asrama, pasar, dan rumah sakit	250
Panggung penonton	500
Lantai ruang olahraga, pabrik, bengkel, gudang, tempat orang berkumpul, perpustakaan, toko buku, masjid, gereja, bioskop, dan ruang mesin atau alat	400
Balkon atau tangga	300
Lantai gedung parkir :	
- Lantai bawah	800
- Lantai atas	400

Sumber : SNI Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung

SNI 03-1727-1989

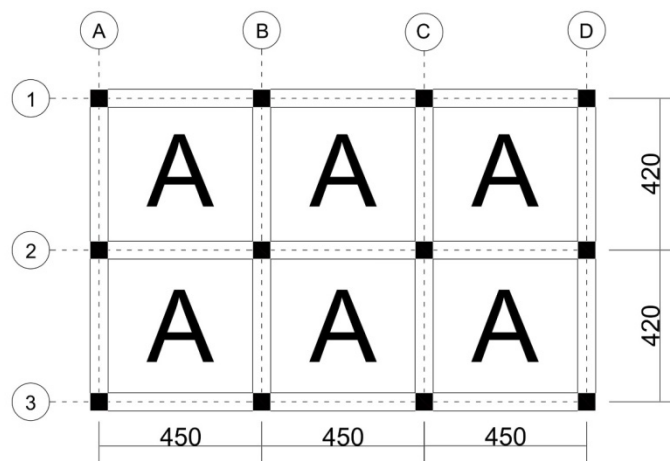
3.4 Konsep Perhitungan Penulangan

Perhitungan penulangan ini diambil dari momen-momen yang menentukan dan dapat mewakili penulangan secara keseluruhan. Untuk melakukan perhitungan penulangan plat terlebih dahulu ditentukan ρ dari $M_u / b d^2$ dan ρ harus memenuhi syarat yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$. Jika

ternyata ρ yang ada $< \rho_{min}$ maka digunakan ρ_{min} dan bila $\rho > \rho_{maks}$ maka harus redesain plat. Kemudian dicari tulangan dengan rumus $A_s = \rho \cdot b \cdot d$ dan ditentukan berapa diameter dan jumlah tulangan.

3.5 Analisa Perencanaan Plat Lantai

Untuk konstruksi gedung 3 lantai ini menggunakan perencanaan tulangan dengan sistem pelat dua arah (two way slab). Pelat two way slab merupakan pelat yang ditumpu oleh 4 sisi yang saling sejajar dan terdapat tulangan pokok dengan 2 arah.



Gambar 3.2 Denah Lantai

Berikut adalah data-data perencanaan plat lantai :

- Mutu beton (f_c') = 25 Mpa
- Mutu baja (f_y) = 350 Mpa
- Beban Beton Bertulang = 2400 kg/m³
- Lx (bentang pendek) = 4,20 m

- L_y (bentang panjang) = 4,50 m

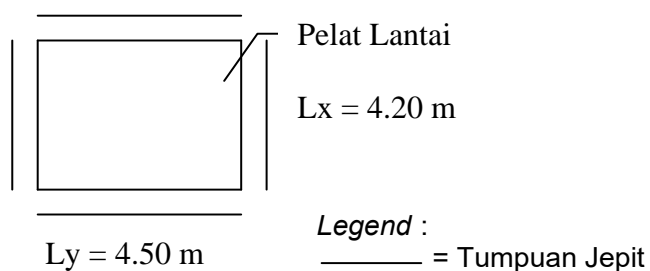
3.5.1 Menentukan Tebal Plat Lantai

Dalam penentuan tebal pelat lantai, penulis mengikuti Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK-SNI-T-15-1991 03) pasal 3.2.5.3 ayat (3) yang menjelaskan bahwa tebal pelat lantai dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$h_{\min} = L_n (0,8 + (f_y/1500)) / (36 + (9 \times \beta))$$

$$h_{\max} = L_n (0,8 + (f_y/1500)) / 36$$

Sehingga dengan demikian tebal pelat lantai untuk gedung perkantoran dapat dihitung sebagai berikut.



Gambar 3.3 Ilustrasi Dimensi Plat Lantai

Data – data :

L_n = panjang bentang memanjang

$L_n = L_y$ (Pasal 10.7 SNI 03-2847-2002)

= 4,50 m

= 450 cm

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{450}{420} = 1,071$$

$$h_{\min} = \frac{\ln\left\{0,8 + \left(\frac{f_y}{1500}\right)\right\}}{36 + 9\beta} = \frac{450\left\{0,8 + \left(\frac{350}{1500}\right)\right\}}{36 + 9 \times 1,071} = 10,188 \text{ cm}$$

$$h_{\max} = \frac{\ln\left\{0,8 + \left(\frac{f_y}{1500}\right)\right\}}{36} = \frac{450\left\{0,8 + \left(\frac{350}{1500}\right)\right\}}{36} = 12,917 \text{ cm}$$

Karena $10,188 < h < 12,917$ cm atau $h_{\min} < h < h_{\max}$,

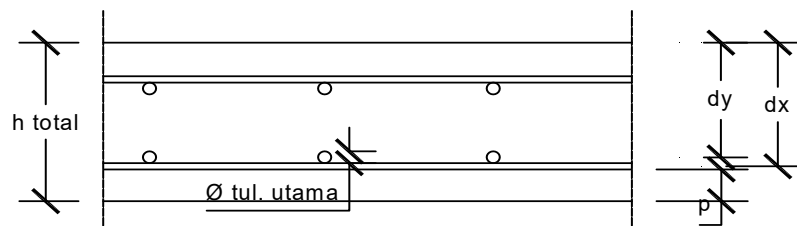
Maka tebal plat lantai diambil 11 cm.

3.5.2 Menentukan Tinggi Efektif Plat Lantai

Tebal selimut beton (p) = 20 mm

Ø tulangan utama = 10 mm

Tebal Plat (h) = 11 cm = 110 mm



Gambar 3.4 Ilustrasi Tinggi Efektif Plat Lantai

$$\begin{aligned} d \text{ efektif } x &= h - p - 0,5 \text{ Ø} \\ &= 110 - 20 - 0,5 \times 10 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d \text{ efektif } y = h - p - \frac{1}{2} \text{ Ø} - 1 \text{ Ø}$$

$$= 110 - 20 - \frac{1}{2}(10) - 10$$

$$= 75 \text{ mm}$$

3.5.3 Menghitung Beban Plat Lantai

Beban Mati (W_D) (PPPURG – 1987 Tabel 1)

- ✓ Berat sendiri plat = Tebal Plat x BJ Beton x b
= 0,11 x 24 KN/m³ x 1 m
= 2,64 KN/m²
- ✓ Berat Spesi = Tebal Spesi x BJ Spesi x b
= 0,02 x 20 KN/m³ x 1 m
= 0,40 KN/m²
- ✓ Berat Keramik = Tebal Keramik x BJ Keramik x b
= 0,01 x 22 KN/m³ x 1 m
= 0,22 KN/m²
- ✓ Plafond + Penggantung = (BJ Plafond + BJ Penggantung)
= 0,18 KN/m³ x 1 m
= 0,18 KN/m²

$$\text{TOTAL } W_D = 3,44 \text{ KN/m}^2$$

- **Beban Hidup (W_L)**

Berdasarkan (PPPURG – 1987 Tabel 2), fungsi bangunan untuk sebuah hotel mempunyai beban hidup sebesar :

$$W_L = 2,50 \text{ KN/m}^2$$

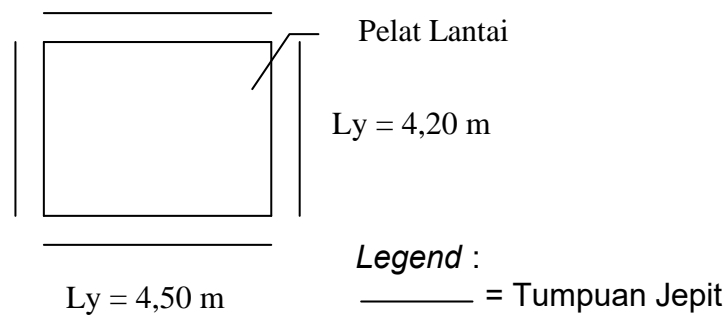
- **Beban Berfaktor (W_U)** —————> (SNI 03-2847-2002 Pasal 11.2-1)

$$\begin{aligned}
 W_U &= 1,2 W_D + 1,6 W_L \\
 &= (1,2 \times 3,44) + (1,6 \times 2,50) \\
 &= \mathbf{8,128 \text{ KN/m}^2}
 \end{aligned}$$

3.5.4 Menghitung Momen yang Bekerja

Momen penentu yang bekerja pada pelat berdasarkan CUR 4 tabel 4.2.b

Plat lantai ukuran 420 x 450 cm (6 buah)



Gambar 3.5 Posisi Tumpuan Jepit Pelat Lantai

Dari table Gedeon didapat : $C = \frac{l_y}{l_x} = \frac{450}{420} = 1,071$

$$C_{lx} = 28,15$$

$$C_{tx} = 28,15$$

$$C_{ly} = 23,95$$

$$C_{ty} = 26,05$$

Dengan beban berfaktor $\longrightarrow W_U = 8,128 \text{ KN/m}^2$

Momen yang terjadi :

$$M_{lx} = 0,001 \times W_U \times l_x^2 \times C_{lx}$$

$$= 0,001 \times 8,128 \times 3,20^2 \times 28,15$$

$$= 3,584 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0.001 \times W_U \times lx^2 \times C_{ly} \\ &= 0.001 \times 8,128 \times 4,20^2 \times 23,95 \\ &= 3,584 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= -0.001 \times W_U \times lx^2 \times C_{tx} \\ &= -0.001 \times 8,128 \times 4,20^2 \times 28,15 \\ &= -7,312 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= -0.001 \times W_U \times lx^2 \times C_{ty} \\ &= -0.001 \times 8,128 \times 4,20^2 \times 26,05 \\ &= -7,312 \text{ KNm} \end{aligned}$$

3.5.5 Menghitung Kebutuhan Penulangan

- *Tulangan Lapangan Arah X*

$$M_{l_x} = 3,584 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_x) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 110 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d_x^2} = \frac{3,584 \times 10^6}{1.1000 \cdot (85)^2} = 0,496 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 30} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa

Maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,496 \cdot 16,471}{350}}\right) \\ &= 0,0014 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{300} \cdot \frac{600}{600 + 350} \\ &= 0,0326 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0326 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

Syarat, $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0040 < 0,0014 < 0,0244$, jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka dipakai ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \text{As rencana} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0040 \times 1000 \times 85 = 340 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Sada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{399,5}$$

$$= 230,882 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{As ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$= 392,7 \text{ mm}^2$$

Karena As ada > As rencana, maka digunakan tulangan Ø10-200 →

As = 392,7 mm² dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan Tumpuan Arah X***

$$M_{tx} = -7,312 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_x) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 110 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_x^2} = \frac{-7,312 \times 10^6}{1.1000 \cdot (85)^2} = -1,012 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa

Maka :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (-1,012) \cdot 16,471}{350}}\right) \\ &= -0,003\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot 600}{f_y \cdot (600 + f_y)} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 600}{350 \cdot (600 + 350)} \\ &= 0,0326\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho \text{ max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0326 \\ &= 0,0244\end{aligned}$$

Syarat, $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$

$0,0040 < -0,003 < 0,0244$, jika $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$ maka dipakai $\rho \text{ min}$

$$\begin{aligned}\text{As rencana} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0040 \times 1000 \times 85 = 340 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{340} \\ &= 230,882 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Spakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena As ada > As rencana, maka digunakan tulangan Ø10-200 →

As = 523,7 mm² dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan Lapangan Arah Y***

$$M_{ly} = 3,584 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\varnothing) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_y) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2}\varnothing - 1\varnothing \\ &= 110 - 20 - (0,5 \times 10) - 1(10) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\varnothing \cdot b \cdot d_y^2} = \frac{3,584 \times 10^6}{1.1000 \cdot (75)^2} = 0,637 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n \cdot m}{F_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,637 \cdot 16,471}{350}} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,0018$$

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{350} \cdot \frac{600}{600+350}$$

$$= 0,0325$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0325$$

$$= 0,0244$$

Syarat, $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0040 < 0,0018 < 0,0244$, jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka dipakai ρ_{\min}

$$\text{As rencana} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,0040 \times 1000 \times 75 = 138,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{138,66}$$

$$= 261,67 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{250}$$

$$= 314,2 \text{ mm}^2$$

Karena $\text{As ada} > \text{As rencana}$, maka digunakan tulangan $\text{Ø}10\text{-}250 \rightarrow$

$A_s = 314,2 \text{ mm}^2$ dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan tumpuan arah Y***

$$M_{ty} = 7,312 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\emptyset) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_y) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2}\emptyset - 1\emptyset \\ &= 110 - 20 - (0,5 \times 10) - 1(10) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\emptyset \cdot b \cdot d_y^2} = \frac{-7,312 \times 10^6}{1.1000 \cdot (75)^2} = 1,300 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 16,471}{350}}\right) \\ &= 0,004 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{350} \cdot \frac{600}{600 + 350} \end{aligned}$$

$$= 0,0326$$

$$\rho \text{ max} = 0,75 \cdot \rho b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0326$$

$$= 0,0244$$

Syarat, $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$

$0,0040 < 0,004 < 0,0244$, jika $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$ maka dipakai $\rho \text{ min}$

$$\text{As rencana} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,0040 \times 1000 \times 75 = 340,00 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{340}$$

$$= 230,882 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{As ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$= 392,7 \text{ mm}^2$$

Karena $\text{As ada} > \text{As rencana}$, maka digunakan tulangan $\emptyset 10-250 \rightarrow$

$\text{As} = 392,5 \text{ mm}^2$ dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

Tabel Rekapitulasi Momen dan Penulangan Plat Lantai

$$f'c = 25 \text{ Mpa} \quad f_y = 350 \text{ Mpa} \quad \rho \text{ min} = 0,0040$$

Tabel 3.5 Momen dan Penulangan Pelat Lantai

M	Koef	Mu	ρ perlu	ρ min	ρ max	As Renc.	Tulangan	As Terpakai
Plat A $I_x/I_y = 1,071$								
Mlx	21	3,584	0,0014	0,0040	0,0361	340	Ø10-200	314,2
Mly	21	3,584	0,0018	0,0040	0,0244	300	Ø10-250	314,2
Mtx	51	-7,312	-0,0033	0,0040	0,0244	340	Ø10-200	392,7
Mty	51	-7,312	-0,0042	0,0040	0,0244	340,0	Ø10-250	392,7

Keterangan :

Nilai koef = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai Mu = didapat dari $W_u \cdot I_x^2 \cdot \text{koef}$

Nilai b = 1.00 m

Nilai d = pada arah x menggunakan $d = dx$, sedangkan pada arah y menggunakan $d = dy$

Nilai ρ perlu = $\frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{F_y}}\right)$

Nilai ρ min = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai ρ max = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai AS rencana = didapat dari : $\rho \cdot b \cdot d$ dimana ρ adalah ρ min bila ρ min > ρ yg didapat atau ρ yang didapat jika ρ yang didapat > ρ min

Tulangan = didapat dari grafik dan perhitungan beton bertulang

3.6 Analisa Perhitungan Plat Atap

Berikut adalah data-data teknis perencanaan pelat atap :

- Mutu beton (f_c') = 25 Mpa
- Mutu Baja (f_y) = 350 Mpa
- Beban Beton Bertulang = 2400 kg/m³
- Lx (bentang pendek) = 4,20 m
- Ly (bentang panjang) = 4,50 m

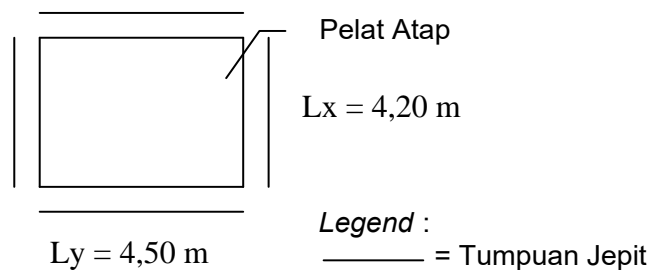
3.6.1 Menentukan Tebal Pelat Atap

Dalam penentuan tebal pelat atap, penulis mengikuti Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK-SNI-T-15-1991-03) pasal 3.2.5.3 ayat (3) yang menjelaskan bahwa tebal pelat atap dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$h_{\min} = L_n (0,8 + (f_y/1500)) / (36 + (9 \times \beta))$$

$$h_{\max} = L_n (0,8 + (f_y/1500)) / 36$$

Sehingga dengan demikian tebal pelat atap untuk gedung perkantoran dapat dihitung sebagai berikut.



Gambar 3.6 Ilustrasi Dimensi Pelat Atap

Data – data :

L_n = panjang bentang memanjang

L_n = L_y (Pasal 10.7 SNI 03-2847-2002)

$$= 4,50 \text{ m}$$

$$= 450 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{450}{420} = 1,071$$

$$h_{\min} = \frac{\ln\left\{0,8 + \left(\frac{f_y}{1500}\right)\right\}}{36 + 9\beta} = \frac{450\left\{0,8 + \left(\frac{350}{1500}\right)\right\}}{36 + 9 \times 1,071} = 10,188 \text{ cm}$$

$$h_{\max} = \frac{\ln\left\{0,8 + \left(\frac{f_y}{1500}\right)\right\}}{36} = \frac{450\left\{0,8 + \left(\frac{350}{1500}\right)\right\}}{36} = 12,917 \text{ cm}$$

Karena $10,188 < h < 12,917$ cm atau $h_{\min} < h < h_{\max}$,

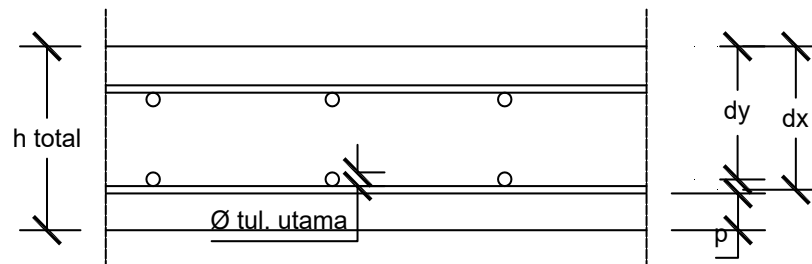
Maka tebal plat lantai diambil 11 cm.

3.6.2 Menentukan Tinggi Efektif Pelat Atap

Tebal penutup beton = 20 mm

Ø tulangan utama = 10 mm

Tebal Pelat = 11 cm = 110 mm



Gambar 3.7 Ilustrasi Tinggi Efektif Pelat Atap

$$\begin{aligned}
 d \text{ efektif } x &= h - p - 0,5 \text{ } \varnothing \\
 &= 110 - 20 - 0,5 \cdot 10 \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d \text{ efektif } y &= h - p - \frac{1}{2} \text{ } \varnothing - 1 \text{ } \varnothing \\
 &= 110 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 10 - 10 \\
 &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3.6.3 Menghitung Beban Pelat Atap

Beban Mati (W_D) (PPPURG – 1987 Tabel 1)

- ✓ Berat sendiri pelat $=$ Tebal Pelat x BJ Beton x 1
 $= 0,11 \times 24 \text{ KN/m}^3 \times 1 \text{ m}$
 $= 2,64 \text{ KN/m}^2$
- ✓ Plafond + Penggantung $=$ (BJ plafond + BJ penggantung) x 1
 $= 0,18 \text{ KN/m}^3 \times 1 \text{ m}$
 $= 0,18 \text{ KN/m}^2$
- ✓ Air Hujan $= 0,10 \text{ KN/m} \times 1 \text{ m}$

$$= 0,10 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{TOTAL WD} = 2,92 \text{ KN/m}^2$$

- **Beban Hidup (W_L)**

Berdasarkan (PPPURG – 1987 Pasal 2.1.2.2 ayat 1) fungsi bangunan untuk sebuah hotel mempunyai beban hidup sebesar :

$$W_L = 1,00 \text{ KN/ m}^2$$

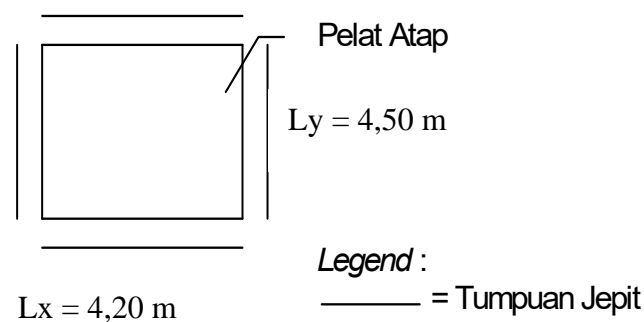
- **Beban Berfaktor (W_U)**

$$\begin{aligned} W_u &= 1,2 \text{ WD} + 1,6 \text{ WL} \dots\dots\dots (\text{SNI 03-2847-2002 Pasal 11.21}) \\ &= (1,2 \times 2,92) + (1,6 \times 1,00) \\ &= 5,104 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

3.6.4 Menghitung Momen yang Bekerja

Momen penentu yang bekerja pada pelat berdasarkan CUR 4 tabel 4.2.b

Pelat Atap Ukuran 420 x 450 cm (6 buah)



Gambar 3.8 Posisi Tumpuan Jepit Pelat Atap

Dari tabel Gideon didapat : $C = \frac{l_y}{l_x} = \frac{450}{420} = 1,071$

$$C_{lx} = 28,15$$

$$C_{tx} = 28,15$$

$$C_{ly} = 23,95 \qquad C_{ty} = 26,05$$

Dengan koefisien $\longrightarrow W_U = 4,816 \text{ KN/ m}^2$

Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} M_{Ix} &= 0,001 \times W_U \times Lx^2 \times C_{lx} \\ &= 0,001 \times 4,816 \times 4,20^2 \times 28,15 \\ &= 2,251 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Iy} &= 0,001 \times W_U \times Lx^2 \times C_{ly} \\ &= 0,001 \times 4,816 \times 4,20^2 \times 23,95 \\ &= 2,251 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= - 0,001 \times W_U \times Lx^2 \times C_{tx} \\ &= - 0,001 \times 4,816 \times 4,20^2 \times 28,15 \\ &= - 4,592 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= - 0,001 \times W_U \times Lx^2 \times C_{ty} \\ &= - 0,001 \times 4,816 \times 4,20^2 \times 26,05 \\ &= - 4,592 \text{ KNm} \end{aligned}$$

3.6.5 Menghitung Kebutuhan Penulangan

- *Tulangan Lapangan Arah X*

$$M_{lx} = 2,251 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_x) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 100 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{2,124 \times 10^6}{1.1000 \cdot (85)^2} = 0,312 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{Fy}{0,85 \cdot Fc'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho \text{ min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{Fy}}\right) \\ &= \frac{1}{11,765} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,312 \cdot 16,471}{300}}\right) \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot fc'}{fy} \cdot \frac{600}{600+fy} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{350} \cdot \frac{600}{600+350} \\ &= 0,0325 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ max} &= 0,75 \cdot \rho b \\ &= 0,75 \cdot 0,0325 \\ &= 0,0361 \end{aligned}$$

Syarat, $\rho \text{ min} < \rho \text{ perlu} < \rho \text{ max}$

0,0040 < 0,0008 < 0,0244, jika $\rho \text{ perlu} < \rho \text{ min}$ maka dipakai $\rho \text{ min}$

$$\begin{aligned} \text{As rencana} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0040 \times 1000 \times 85 = 340 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{340} \\ &= 230,88 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena As ada > As rencana, maka digunakan tulangan Ø10-200 →

As = 392,7 mm² dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan Tumpuan Arah X***

$$M_{t_x} = -4,592 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_x) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_x) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \times \phi_x \\ &= 100 - 20 - (0,5 \times 10) \\ &= 85 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot dx^2} = \frac{-4,333 \times 10^6}{1.1000 \cdot (85)^2} = -0,636 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 116,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,636 \cdot 16,471}{350}}\right) \\ &= -0,0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot 600}{f_y \cdot 600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25 \cdot 600}{350 \cdot 600 + 350} \\ &= 0,0326 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0326 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

Syarat, $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0040 < -0,0018 < 0,0244$, jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka dipakai ρ_{\min}

$$\begin{aligned} \text{As rencana} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0047 \times 1000 \times 85 = 340 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{340} \\ &= 230,882 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Spakai} = 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena As ada > As rencana, maka digunakan tulangan Ø10-200 →

As = 392,7 mm² dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan Lapangan Arah Y***

$$M_{ly} = 2,251 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_y) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_y) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2}\phi - 1\phi \\ &= 100 - 20 - (0,5 \times 10) - 1(10) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d_y^2} = \frac{2,124 \times 10^6}{1.1000 \cdot (75)^2} = 0,400 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,400 \cdot 16,471}{350}}\right) \end{aligned}$$

$$= 0,0011$$

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{350} \cdot \frac{600}{600+350}$$

$$= 0,0326$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0326$$

$$= 0,0244$$

Syarat, $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0040 < 0,0011 < 0,0244$, jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka dipakai ρ_{\min}

$$\text{As rencana} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,0040 \times 1000 \times 75 = 340 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{340}$$

$$= 261,66 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{250}$$

$$= 314,2 \text{ mm}^2$$

Karena $\text{As ada} > \text{As rencana}$, maka digunakan tulangan $\text{Ø}10\text{-}250 \rightarrow$

$A_s = 314,2 \text{ mm}^2$ dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

- ***Tulangan Tumpuan Arah Y***

$$M_{t_y} = -4,592 \text{ KNm}$$

$$\text{Diameter tulangan digunakan } (\phi_y) = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang Efektif } (d_y) &= h - \text{decking} - \frac{1}{2}\phi - 1\phi \\ &= 100 - 20 - (0,5 \times 10) - 1(10) \\ &= 75 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_y^2} = \frac{-3,120 \times 10^6}{1.1000 \cdot (75)^2} = -0,816 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \cdot F_c'} = \frac{350}{0,85 \times 25} = 16,471$$

Karena Mutu Baja = 350 Mpa, Maka :

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,0040$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n \cdot m}{F_y}}\right) \\ &= \frac{1}{16,471} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (-0,816) \cdot 16,471}{350}}\right) \\ &= -0,0022 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y} \\ &= 0,85 \times \frac{0,85 \cdot 25}{350} \cdot \frac{600}{600 + 350} \end{aligned}$$

$$= 0,0326$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b$$

$$= 0,75 \cdot 0,0326$$

$$= 0,0244$$

Syarat, $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

$0,0040 < -0,0022 < 0,0244$, jika $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$ maka dipakai ρ_{\min}

$$\text{As rencana} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,0040 \times 1000 \times 75 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{300}$$

$$= 261,66 \text{ mm}$$

$$\text{Spakai} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{As ada} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{250}$$

$$= 314,2 \text{ mm}^2$$

Karena $\text{As ada} > \text{As rencana}$, maka digunakan tulangan $\emptyset 10-250 \rightarrow$

$\text{As} = 314,2 \text{ mm}^2$ dari tabel A-5 struktur beton bertulang.

Rekapitulasi Momen dan Penulangan Pelat Atap

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}, f_y = 350 \text{ Mpa}, \rho_{\min} = 0,0040$$

Tabel 3.6 Momen dan Penulangan Pelat Atap

M	Koef	Mu	ρ perlu	ρ min	ρ max	As Renc.	Tulangan	As Trpakai
Plat A Ix/Iy = 1,071								
Mlx	21	2,251	0,0008	0,0040	0,0244	340	Ø10-200	392,7
Mly	21	2,251	0,0011	0,0040	0,0244	300	Ø10-250	314,2
Mtx	51	-4,592	-0,0018	0,0040	0,0244	340	Ø10-200	392,7
Mty	51	-4,592	-0,0022	0,0040	0,0244	300	Ø10-250	314,2

Keterangan :

Nilai koef = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai Mu = didapat dari $W_u \cdot I_x^2 \cdot \text{koef}$

Nilai b = 1.00 m

Nilai d = pada arah x menggunakan $d = dx$, sedangkan pada arah menggunakan $d = dy$

Nilai ρ perlu = $\frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn \cdot m}{F_y}}\right)$

Nilai ρ min = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai ρ max = didapat dari dasar – dasar perencanaan beton bertulang

Nilai AS rencana = didapat dari : $\rho \cdot b \cdot d$ dimana ρ adalah ρ min bila ρ min > ρ yang didapat atau ρ yang didapat jika ρ yang didapat > ρ min

Tulangan = didapat dari grafik dan perhitungan beton bertulang

BAB IV

PERHITUNGAN PORTAL

4.1. Uraian Umum

Struktur portal adalah sistem konstruksi yang terdiri atas bagian - bagian struktur bangunan yang saling terhubung satu sama lain dengan fungsi sebagai penahan beban struktur yang bekerja padanya. Dalam perhitungan Gedung Berlantai 3 ini, portal yang diperhitungkan terdiri dari kolom yang diperkuat dengan balok-balok yang dicor secara monolit untuk menahan beban akibat gravitasi dan gempa. Balok-balok tersebut terdiri dari balok induk, balok anak, ring balok dan sloof. Perhitungan portal ini terdiri dari dua bagian, yaitu perhitungan portal melintang dan perhitungan portal memanjang. Perhitungan portal ini menggunakan mutu beton $f_c' = 25$ Mpa dan mutu baja $f_y = 350$ Mpa

4.2. Pedoman Perhitungan

Pedoman yang digunakan dalam perhitungan perencanaan pelat lantai adalah sebagai berikut :

1. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK-SNI-T-15-1991-03).
2. Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (PPURG 1987).

3. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SNI 03-2847-2002)
4. Buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang” yang disusun oleh Ir. W.C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M.Eng.

4.3. Konsep Perhitungan

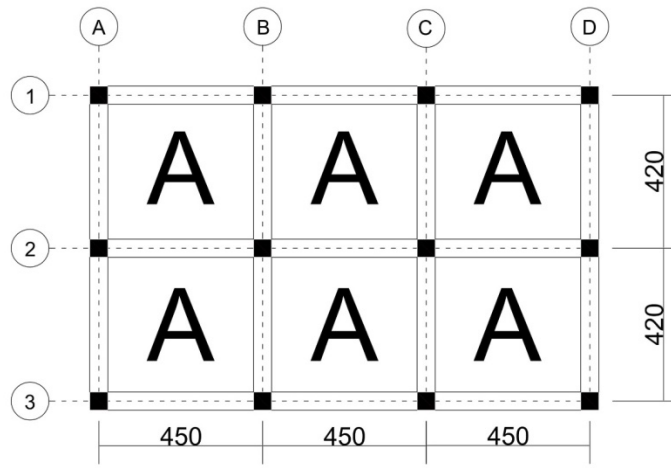
Struktur portal terdiri dari balok dan kolom yang dibebani muatan di atasnya dimana muatan tersebut akan menimbulkan lenturan pada balok dan kemudian gaya-gaya dari muatan tersebut akan diteruskan pada kolom yang dapat berupa gaya normal. Dari hasil analisa portal akan diperoleh gaya-gaya dalam pada elemen-elemen balok yang kemudian dapat digunakan untuk melakukan proses desain terutama desain penulangan. Tahapan perhitungan portal diawali dengan perhitungan balok terlebih dahulu, dan kemudian dilanjutkan dengan perhitungan kolom.

4.4. Analisa Perhitungan Balok

4.4.1 Menghitung Dimensi Balok Pradesain

Secara umum pradesain tinggi balok dihitung dengan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $\frac{1}{2} H - \frac{2}{3} H$ dimana H adalah tinggi balok.

(Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang hal. 104)



Gambar 4.1 Denah Balok

1. Balok Atap

Arah Melintang

- a. Balok Ring → As A12, A23, D12 dan D23

$$h = 1/15 \times L = 1/15 \times 430 = 28 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = 2/3 \times h = 2/3 \times 30 = 18,67 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

- b. Balok Pada Pelat Atap → As B12, B23, C12 dan C23

$$h = 1/15 \times L = 1/15 \times 430 = 28 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

$$b = 2/3 \times h = 2/3 \times 30 = 18,67 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Arah Memanjang

- a. Balok Ring → As 1AB, 1BC, 1CD, dan 3AB, 3BC, 3CD

$$h = 1/15 \times L = 1/15 \times 450 = 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm}$$

b. Balok Pada Pelat Atap → As 2AB, 2BC, 2CD

$$h = \frac{1}{15} \times L = \frac{1}{15} \times 450 = 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm}$$

2. Balok pada Lantai 2,3

Arah Melintang

a. Balok Tepi → As A12, A23, D12 dan D23

$$h = \frac{1}{10} \times L = \frac{1}{10} \times 430 = 42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 45 = 21 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

b. Balok Tengah → As B12, B23, C12 dan C23

$$h = \frac{1}{10} \times L = \frac{1}{10} \times 430 = 42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 45 = 21 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Arah Memanjang

a. Balok Tepi → As 1AB, 1BC, 1CD, dan 3AB, 3BC, 3CD

$$h = \frac{1}{12} \times L = \frac{1}{12} \times 450 = 37,5 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 40 = 18,75 \approx 20 \text{ cm}$$

b. Balok Tengah → 2AB, 2BC, 2CD

$$h = \frac{1}{12} \times L = \frac{1}{12} \times 450 = 37,5 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1}{2} \times h = \frac{1}{2} \times 45 = 18,75 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

3. Sloof

Arah Melintang

a. Balok Sloof Tepi → As As A12, A23, D12 dan D23

$$h = 1/10 \times L = 1/10 \times 430 = 42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = 1/2 \times h = 1/2 \times 45 = 21 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

b. Balok Sloof → As B12, B23, C12 dan C23

$$h = 1/10 \times L = 1/10 \times 430 = 42 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = 1/2 \times h = 1/2 \times 45 = 21 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Arah Memanjang

a. Balok Sloof Tepi → As 1AB, 1BC, 1CD, dan 3AB, 3BC, 3CD

$$h = 1/10 \times L = 1/10 \times 450 = 45 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = 1/2 \times h = 1/2 \times 45 = 21 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

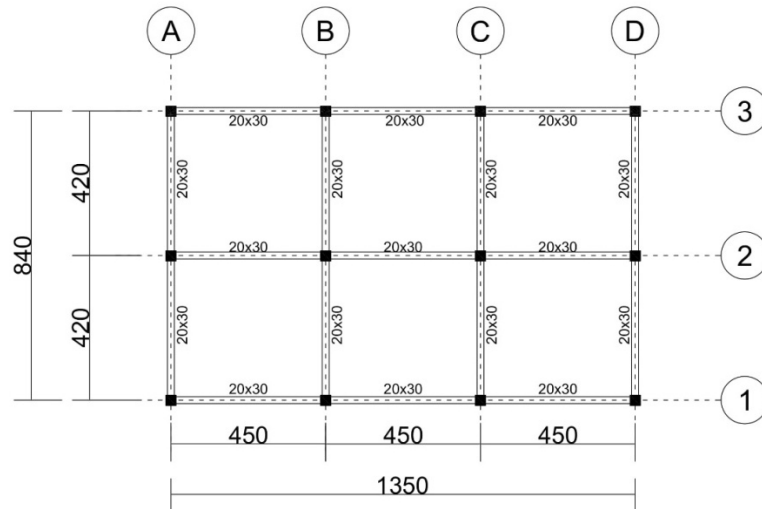
b. Balok Sloof → As 2AB, 2BC, 2CD

$$h = 1/10 \times L = 1/10 \times 450 = 45 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

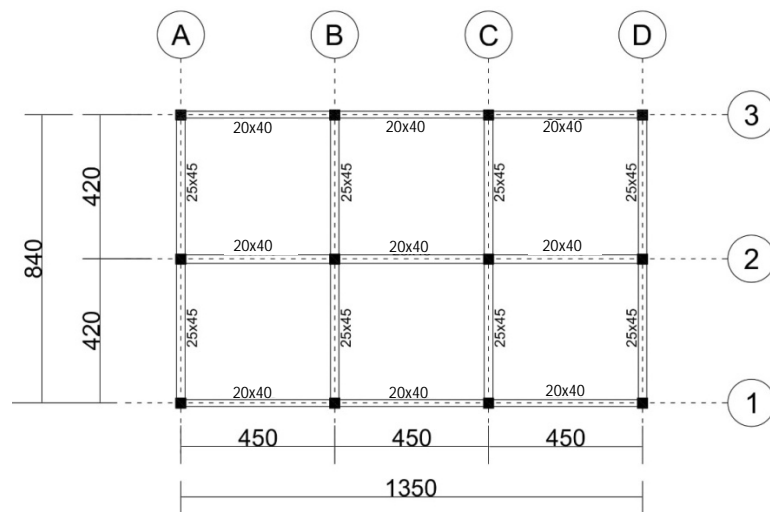
$$b = 1/2 \times h = 1/2 \times 45 = 22,5 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

Tabel 4.1 Rekapitulasi Dimensi Balok Rencana

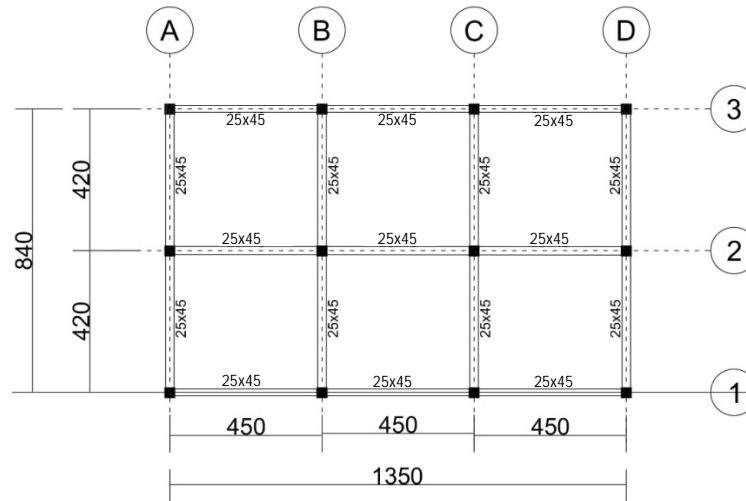
Lantai	Balok	Melintang	Memanjang
Atap	Ring Balok	20 x 30	20 X 30
	Balok Pada Plat Atap	20 x 30	20 X 30
Lantai 2&3	Balok Induk Tepi	25 x 45	20 X 40
	Blok Induk	25 x 45	20 x 40
Sloof	Balok Sloof Tepi	25 x 45	25 x 45
	Balok Sloof	25 x 45	25 x 45



Gambar 4. 2 Pradesain Dimensi Balok Atap



Gambar 4. 3 Pradesain Dimensi Balok Lantai 2&3



Gambar 4. 4 Pradesain Dimensi Sloof

4.4.2 Menghitung Pembebanan

1. Data Pembebanan

A. Menghitung Berat Sendiri Balok

- Atap

1) Balok Ring

Arah Melintang → As A12, A23, D12 dan D23

Dimensi = 20/30 cm

$$W = 0,20 \times 0,30 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = \mathbf{2,016 \text{ Kn/m}}$$

Arah Memanjang → As 1AB, 1BC, 1CD & 3AB, 3BC, 3CD

Dimensi = 20/30 cm

$$W = 0,20 \times 0,30 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = \mathbf{2,016 \text{ Kn/m}}$$

2) Balok Pada Pelat Atap

Arah Melintang → As B12, B23, C12 dan C23

Dimensi = 20/30 cm

$$W = 0,20 \times 0,30 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = \mathbf{2,016 \text{ Kn/m}}$$

Arah Memanjang → As 2AB, 2BC, 2CD

Dimensi = 20/30 cm

$$W = 0,20 \times 0,30 \times 24 = 1,44 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = \mathbf{2,016 \text{ Kn/m}}$$

- Lantai 2 dan 3

1) Balok Induk tepi

Arah Melintang → As A12, A23, D12 dan D23

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 2,7 \times 1,4 = \mathbf{3,78 \text{ kN/m}}$$

Arah Memanjang → As 1AB, 1BC, 1CD & 3AB, 3BC, 3CD

Dimensi = 20/40 cm

$$W = 0,2 \times 0,4 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 1,92 \times 1,4 = \mathbf{2,688 \text{ kN/m}}$$

2) Balok Induk

Arah Melintang → As B12, B23, C12 dan C23

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 2,7 \times 1,4 = \mathbf{3,78 \text{ kN/m}}$$

Arah Memanjang → As 2AB, 2BC, 2CD

Dimensi = 20/40 cm

$$W = 0,20 \times 0,40 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 1,92 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 1,92 \times 1,4 = \mathbf{2,688 \text{ kN/m}}$$

- Sloof

1) Balok Sloof tepi

Arah Melintang → As A12, A23, D12 dan D23

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 2,7 \times 1,4 = \mathbf{3,78 \text{ kN/m}}$$

Arah Memanjang → As 1AB, 1BC, 1CD & 3AB, 3BC, 3CD

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,700 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 2,700 \times 1,4 = \mathbf{3,780 \text{ kN/m}}$$

2) Balok Sloof Tengah

Arah Melintang → As B12, B23, C12 dan C23

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 2,7 \times 1,4 = \mathbf{3,78 \text{ kN/m}}$$

Arah Memanjang → As 2AB, 2BC, 2CD

Dimensi = 25/45 cm

$$W = 0,25 \times 0,45 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 2,7 \text{ kN/m}$$

$$WD = W \times 1,4 = 2,7 \times 1,4 = \mathbf{3,78 \text{ kN/m}}$$

B. Pembebanan pada Plat Lantai

Berdasarkan pada perhitungan sebelumnya, yaitu pada Bab III Perhitungan Pelat Lantai Sub Bab 3.5.3 didapatkan beban berfaktor (W_u) = **8,128 KN/m²**

C. Pembebanan Pada Plat Atap

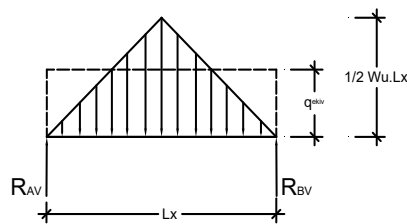
Berdasarkan pada perhitungan sebelumnya, yaitu pada Bab III Perhitungan Pelat Atap Sub Bab 3.6.3 didapatkan beban berfaktor (W_u) = **4,816 KN/m²**

2. Analisa Pemerataan Beban Pelat

Pemerataan beban pelat dilakukan dengan menggunakan metode amplop. Metode amplop merupakan metode yang digunakan sebagai pendistribusian beban gravitasi pelat menuju balok. Prinsip

penggunaannya adalah reaksi dengan perletakan trapesium digunakan untuk tepi bentang panjang sedangkan reaksi perletakan segitiga digunakan untuk tepi bentang pendek. Berikut merupakan analisisnya:

A. Pembebanan Segitiga



Gambar 4.5 Ilustrasi Pembebanan Segitiga

$$\begin{aligned}
 R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}) + (q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2})] \\
 &= \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{4}) + (q \cdot l_x \cdot \frac{1}{4})] \\
 &= \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x
 \end{aligned}$$

Jika $q = \frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l_x$, maka:

$$R_A = R_B = \frac{1}{4} (\frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l_x) \cdot l_x = \frac{1}{8} \cdot W_U \cdot l_x^2$$

M_{\max} segitiga ditengah bentang :

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= R_A \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}) \cdot (l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3})] \\
 &= R_A \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - [(\frac{q \cdot l_x^2}{24})]
 \end{aligned}$$

Jika $R_A = \frac{1}{8} \cdot W_U \cdot l_x^2$ dan $q = \frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l_x$, Maka :

$$M_{\max} = \left(\frac{1}{8} \cdot W_U \cdot l x^2 \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot l x - \left(\frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l x - l x^2 / 24 \right)$$

$$= \frac{1}{16} \cdot W_U \cdot l x^3 - \frac{1}{48} \cdot W_U \cdot l x^3$$

$$M_{\max} = \frac{1}{24} \cdot W_U \cdot l x^3$$

Beban segitiga tersebut diekuivalensikan menjadi beban persegi sehingga:

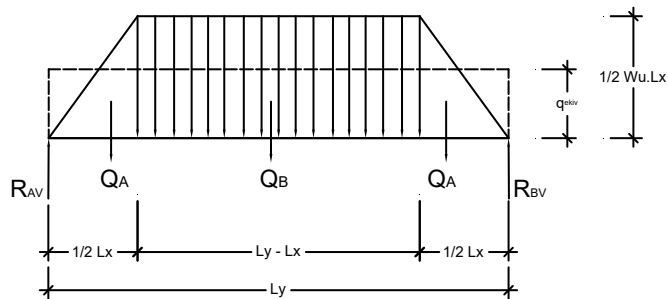
$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q_{\text{eq}} \cdot l x^2$$

$$M_{\max} \text{ segitiga} = M_{\max} \text{ persegi}$$

$$\frac{1}{24} \cdot W_U \cdot l x^3 = \frac{1}{8} \cdot q_{\text{eq}} \cdot l x^2$$

$$q_{\text{ekuivalen}} = \frac{1}{3} \cdot W_U \cdot l x$$

B. Pembebanan Trapesium



Gambar 4.6 Ilustrasi Pembebanan Trapesium

Dimana:

$$R_{AV} = R_{BV} = q \cdot (l - a) / 2 \quad q = \frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l x$$

$$l = l_y \quad a = \frac{1}{2} \cdot l x$$

maka :

$$R_A = R_B = \frac{\frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (l_y - \frac{1}{2} l_x)}{2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (2l_y - l_x)$$

$$M_{\max} = \frac{1}{24} \cdot W_u \cdot (3 \cdot l_y^2 - 4 a^2)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (3 \cdot l_y^2 - 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x^2) / 24$$

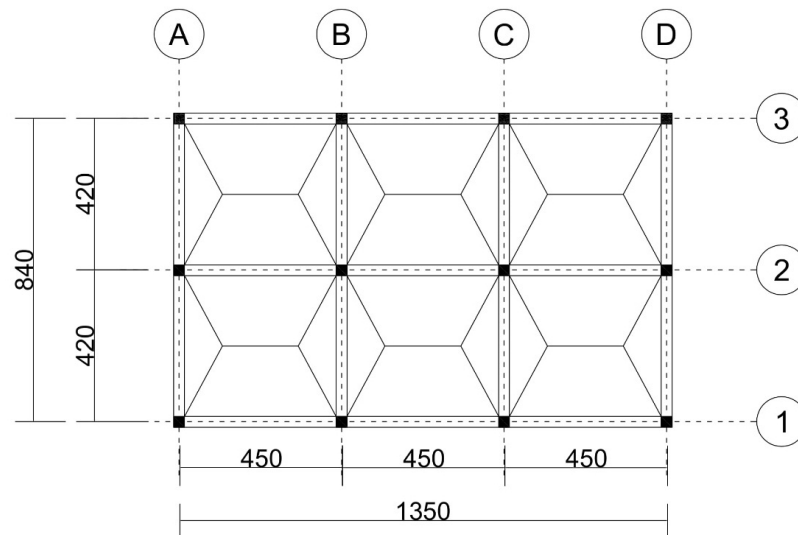
$$= \frac{1}{48} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (3 \cdot l_y^2 - l_x^2)$$

$$M \text{ max persegi} = M \text{ max Trapesium}$$

$$\frac{1}{8} \cdot Q_{ek} \cdot l_y^2 = \frac{1}{48} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (3 \cdot l_y^2 - l_x^2)$$

$$q_{ek} = \frac{1}{6} \cdot W_u \cdot l_x \cdot (3 - (l_x / l_y)^2)$$

Bedasarkan analisa diatas, maka dapat dihitung pemerataan beban pelat pada denah berikut ini.



Gambar 4. 7 Denah plat lantai dengan ilustrasi metode amplop

Pemerataan pembebanan pelat atap

a. Pembebanan Segitiga

Balok As A12, A23, B12, B23, C12, C23, D12 dan D23.

$$W_{Uatap} = 4,816 \text{ kN/m}^2, Lx = 4,2 \text{ m}$$

$$Q_{ekuiivlen} = 1/3 \cdot Wu \cdot Lx = 1/3 \cdot 4,816 \times 4,2 = \mathbf{6,742 \text{ kN/m}}$$

b. Pembebanan Trapesium

Balok As 1AB, 1BC, 1CD, 2AB, 2BC, 2CD, 3AB, 3BC dan 3CD.

$$W_{Uatap} = 4,816 \text{ kN/m}^2, Lx = 4,2 \text{ m}, Ly = 4,5 \text{ m}$$

$$Q_{ekuiivlen} = 1/6 \cdot Wu \cdot Lx \cdot (3 - (Lx/Ly)^2)$$

$$= 1/6 \cdot (4,816) \cdot (4,2) \cdot (3 - (4,2/4,50)^2) = \mathbf{9,414 \text{ kN/m}}$$

Pemerataan pembebanan pelat lantai

a. Pembebanan segitiga

Balok As A12, A23, B12, B23, C12, C23, D12 dan D23.

$$W_{Uantai} = 8,128 \text{ kN/m}, Lx = 4,20 \text{ m}$$

$$Q_{ekuiivlen} = 1/3 \cdot Wu \cdot Lx = 1/3 \cdot (8,128) \cdot 4,20 = \mathbf{11,379 \text{ kN/m}}$$

b. Pembebanan trapesium

Balok As 1AB, 1BC, 1CD, 2AB, 2BC, 2CD, 3AB, 3BC, dan 3CD.

$$W_{Uantai} = 8,128 \text{ kN/m}, Lx = 4,20 \text{ m}, Ly = 4,50 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ekuivalen}} &= 1/6 \cdot W_u \cdot L_x \cdot (3 - (L_x/L_y)^2) \\
 &= 1/6 \cdot (8,128) \cdot (4,20) \cdot (3 - (4,20/4,50)^2) = \mathbf{15,889 \text{ kN/m}}
 \end{aligned}$$

3. Analisa Berat yang Diterima Balok

A. Arah Melintang Balok

Berat yang diterima Balok pada Pelat Atap → As B1-2, B2-3

$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (6,742) = 13,485 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (1,44) = \underline{2,016 \text{ kN/m}} +$$

$$Q = \mathbf{15,501 \text{ kN/m}}$$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As B1-2, B2-3 (Lt.2&3)

$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (11,379) = 22,758 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (2,700) = \underline{3,78 \text{ kN/m}} +$$

$$Q = \mathbf{26,538 \text{ kN/m}}$$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As B1-2, B2-3 (Lt.1)

$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (11,379) = 22,758 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (2,700) = \underline{3,78 \text{ kN/m}} +$$

$$Q = \mathbf{26,538 \text{ kN/m}}$$

B. Arah Memanjang Balok

Berat yang diterima Balok pada Pelat Atap → As 2A – D (L_{atap})

$$\text{Beban trapesium} = 2 \times (9,414) = 18,829 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (1,44) = \underline{2,016 \text{ kN/m}} +$$

$$Q = 20,845 \text{ kN/m}$$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As 2A – D (L2&L3)

$$\text{Beban trapesium} = 2 \times (15,889) = 31,777 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (1,92) = \underline{2,688 \text{ kN/m} +}$$

$$Q = 34,465 \text{ kN/m}$$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As 2A-D, (L1)

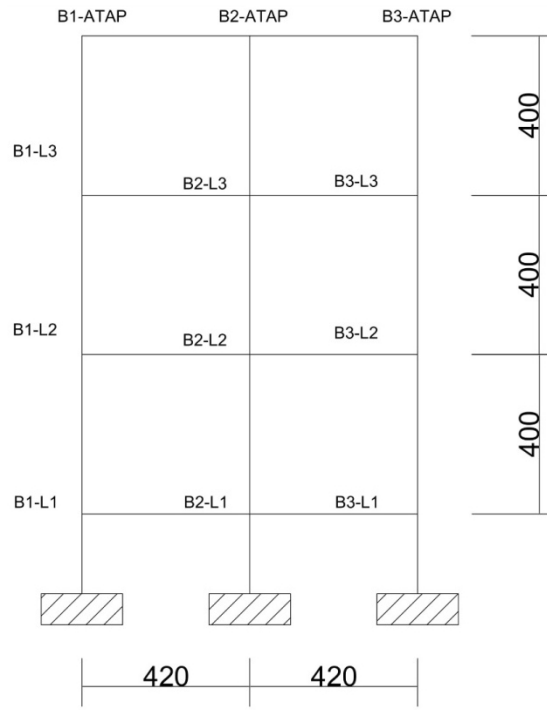
$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (15,889) = 31,777 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat sendiri balok} = 1,4 \times (2,700) = \underline{3,78 \text{ kN/m} +}$$

$$Q = 35,557 \text{ kN/m}$$

4.4.3 Menghitung Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang

1. Arah Melintang Balok Portal



Gambar 4.8 Potongan Melintang Portal As B

Menghitung Modulus Elastisitas (E) Arah Melintang

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 Pasal 10.5

$$E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa} \approx 23,5 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

Menghitung Momen Inersia Arah Melintang

a. Kolom 20/20 cm → Lantai 3

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,20 \cdot (0,20)^3 = 1,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

b. Kolom 25/25 cm → Lantai 2

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,25)^3 = 3,252 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

c. Kolom 25/30 cm → Lantai 1

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,30)^3 = 5,625 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

d. Balok 20/30 cm → As B1-2 dan B2-3 Atap

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,2 \cdot (0,30)^3 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

e. Balok 25/45 cm → As B1-2 dan B2-3 lantai 2&3

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,45)^3 = 1,898 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

f. Balok Induk 25/45 cm → As B1-2 dan B2-3 Lantai 1

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,45)^3 = 1,898 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Menghitung Nilai EI/L Arah Melintang

a. Kolom 20/20 cm → Lantai 3 (H = 4 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 1,072 \cdot 10^{-3}) / 4 = 783,333 \text{ kNm}^3$$

b. Kolom 25/25 cm → Lantai 2 (H = 4 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 1,60 \cdot 10^{-3}) / 4 = 1912,435 \text{ kNm}^3$$

c. Kolom 25/30 cm → Lantai 1 (H = 4 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 3,125 \cdot 10^{-3}) / 4 = 3304,688 \text{ kNm}^3$$

d. Balok 20/30 cm (L = 4,2 m)

As → B1-2 dan B2-3 Atap

$$EI_{\text{balok}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 4,5 \cdot 10^{-4}) / 4,2 = 2517,857 \text{ kNm}^3$$

e. Balok 25/45 cm (L = 4,2 m)

As → B1-2 dan B2-3 Lantai 2,3

$$EI_{\text{balok}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 1,898 \cdot 10^{-3}) / 4,2 = 10622,21 \text{ kNm}^3$$

f. Balok 25/45 cm (L = 4,50 m)

As → B1-2 dan B2-3 Lantai 1

$$EI_{\text{balok}}/L = (25,743 \cdot 10^6 \times 1,898 \cdot 10^{-3}) / 4,2 = 10622,21 \text{ kNm}^3$$

Menghitung Faktor Distribusi (DF) Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan faktor distribusi yang dimulai dari titik B1-L1.

$$\begin{aligned}
 DF_{(B1-L1 - B1-L2)} &= EI/L_{(B1-L1 - B1-L2)} / \{ (EI/L_{(B1-L1 - B1-L2)}) + (EI/L_{(B1-L1 - B2-L1)}) \} \\
 &= 3304,688 / \{ (3304,688) + (10622,21) \} \\
 &= 0,237
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DF_{(B1-L1 - B2-L1)} &= (EI/L_{(B1-L1 - B2-L1)}) / \{ (EI/L_{(B1-L1 - B1-L2)}) + (EI/L_{(B1-L1 - B2-L1)}) \} \\
 &= (10622,21) / \{ (10622,21) + (3304,688) \} \\
 &= 0,763
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} \rightarrow DF_{(B1-L1 - B1-L2)} + DF_{(B1-L1 - B2-L1)} = 1$$

$$0,153 + 0,847 = 1$$

$$1 = 1 \dots \dots \dots \text{(OK)}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan Tabel 4.1

Rekapitulasi Faktor.

Tabel 4.2 Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Melintang.

BUHUL	BATANG	DF	CEK	BUHUL	BATANG	DF	CEK
-------	--------	----	-----	-------	--------	----	-----

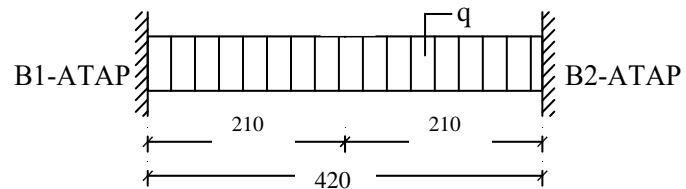
B1-L1	B1-L1 - B1-L2	0,237	1,00	
	B1-L1 - B2-L1	0,763		
B2-L1	B2-L1 - B2-L2	0,135	1,00	
	B2-L1 - B1-L1	0,433		
	B2-L1 - B3-L1	0,433		
B3-L1	B3-L1 - B3-L2	0,237	1,00	
	B3-L1 - B2-L1	0,763		
B1-L2	B1-L2 - B1-L3	0,121	1,00	
	B1-L2 - B1-L1	0,209		
	B1-L2 - B2-L2	0,671		
B2-L2	B2-L2 - B2-L3	0,072	1,00	
	B2-L2 - B2-L1	0,125		
	B2-L2 - B1-L2	0,401		
	B2-L2 - B3-L2	0,401		
B3-L2	B3-L2 - B3-L3	0,121	1,00	
	B3-L2 - B3-L1	0,209		
	B3-L2 - B2-L2	0,671		
B1-L3	B1-L3 - B1-LATAP	0,059	1,00	
	B1-L3 - B1-L2	0,144		
	B1-L3 - B2-L3	0,798		
B2-L3	B2-L3 - B2-LATAP	0,033	1,00	
	B2-L3 - B2-L2	0,080		
	B2-L3 - B1-L3	0,444		
	B2-L3 - B3-L3	0,444		
B3-L3	B3-L3 - B3-LATAP	0,059	1,00	
	B3-L3 - B3-L2	0,144		
	B3-L3 - B2-L3	0,798		
B1-LATAP	B1-LATAP - B1-L3	0,237	1,00	
	B1-LATAP - B2-LATAP	0,763		
B2-LATAP	B2-LATAP - B2-L3	0,135	1,00	
	B2-LATAP - B1-LATAP	0,433		
	B2-LATAP - B3-LATAP	0,433		
B3-LATAP	B3-LATAP - B3-L3	0,237	1,00	
	B3-LATAP - B2-LATAP	0,763		

Menghitung Momen Ujung Jepit (FEM) Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen ujung jepit (FEM) pada pelat atap As B1-2.

Data :

$$Q = 15,501 \text{ kN/m}, L = 4,2 \text{ m}$$



Gambar 4.9 Momen Ujung Jepit pada Balok As B1-2 Pelat Atap

Sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned} M_{B1-ATAP - B2-ATAP} &= (1/12 \cdot Q \cdot L^2) \\ &= (1/12 \cdot 15,501 \cdot 4,2^2) \\ &= 22,786 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{B2-ATAP - B1-ATAP} &= -(1/12 \cdot Q \cdot L^2) \\ &= -(1/12 \cdot 15,501 \cdot 4,2^2) \\ &= -22,786 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan tabel rekapitulasi momen ujung jepit As B.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As B Portal Arah Melintang

BATANG	M (kNm)	BATANG	M (kNm)
B1-L1 - B2-L1	39,011	B1-L3 - B2-L3	39,011
B2-L1 - B1-L1	-39,011	B2-L3 - B1-L3	-39,011
B2-L1 - B3-L1	39,011	B2-L3 - B3-L3	39,011
B3-L1 - B2-L1	-39,011	B3-L3 - B2-L3	-39,011
B1-L2 - B2-L2	39,011	B1-ATAP - B2-ATAP	22,786
B2-L2 - B1-L2	-39,011	B2-ATAP - B1-ATAP	-22,786
B2-L2 - B3-L2	39,011	B2-ATAP - B3-ATAP	22,786
B3-L2 - B2-L2	-39,011	B3-ATAP - B2-ATAP	-22,786

Menghitung Distribusi Momen (Metode Cross) Arah Melintang

Metode distribusi momen atau metode *cross* merupakan metode yang dipakai untuk analisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu. Dalam proses analisis, metode ini melakukan distribusi momen dan induksi

(*Carry Over*) terhadap momen primer (*Fixed End Moment*) sebanyak beberapa putaran guna mendapatkan keseimbangan disetiap titik simpul dengan cara momen-momen primer ditiap simpul melakukan distribusi (pembagian) sampai jumlah momen primer dimasing-masing simpul sama dengan nol. Hal ini dilakukan karena momen-momen primer yang bekerja disetiap tumpuan maupun simpul suatu struktur tidak sama besarnya, sehingga simpul tidak seimbang. Perhitungan distribusi momen arah melintang ini dapat dilihat pada Lampiran. Berikut merupakan tabel rekapitulasi distribusi momen.

Tabel 4.4 Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (*Metode Cross*) Portal Arah Melintang.

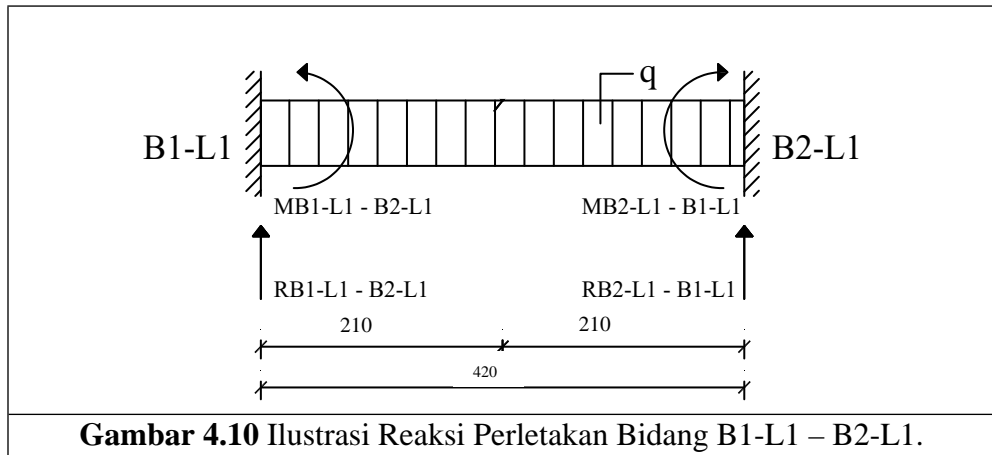
BATANG			M (kNm)	BATANG			M (kNm)
MB1-L1	-	B1-L2	11,827	MB1-L3	-	B1-ATAP	4,611
MB1-L1	-	B2-L1	-11,827	MB1-L3	-	B1-L2	6,901
MB2-L1	-	B2-L2	0,000	MB1-L3	-	B2-L3	-11,512

MB2-L1	-	B1-L1	52,603	M B2-L3	-	B2-ATAP	0,000
MB2-L1	-	B3-L1	-52,603	M B2-L3	-	B2-L2	0,000
MB3-L1	-	B3-L2	-11,827	M B2-L3	-	B1-L3	52,760
MB3-L1	-	B2-L1	11,827	M B2-L3	-	B3-L3	-52,760
MB1-L2	-	B1-L3	6,376	M B3-L3	-	B3-ATAP	-4,611
MB1-L2	-	B1-L1	10,969	M B3-L3	-	B3-L2	-6,901
MB1-L2	-	B2-L2	-17,345	M B3-L3	-	B2-L3	11,512
MB2-L2	-	B2-L3	0,000	M B1-ATAP	-	B1-L3	6,180
MB2-L2	-	B2-L1	0,000	M B1-ATAP	-	B2-ATAP	-6,180
MB2-L2	-	B1-L2	49,844	M B2-ATAP	-	B2-L3	0,000
MB2-L2	-	B3-L2	-49,844	M B2-ATAP	-	B1-ATAP	31,090
MB3-L2	-	B3-L3	-6,376	M B2-ATAP	-	B3-ATAP	-31,090
MB3-L2	-	B3-L1	-10,969	M B3-ATAP	-	B3-L3	-6,180
MB3-L2	-	B2-L2	17,345	M B3-ATAP	-	B2-ATAP	6,180

Menghitung Reaksi Perletakan Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan reaksi perletakan pada bidang B1-L1

– B2-L1.



Data :

$$q = 26,538 \text{ kNm} \quad M_{B1-L1 - B2-L1} = -11,827 \text{ kNm}$$

$$L = 4,20 \text{ m} \quad M_{B2-L1 - B1-L1} = 52,603 \text{ kNm}$$

Menurut Teori dari Mekanika Rekayasa 1, perhitungan reaksi tumpuan $R_{B1-L1-B2-L1}$ pada balok B1-L1- B2-L1 dapat dicari dengan memisalkan $\sum M_{B2-L1} = 0$. Syaratnya, gaya-gaya yang bekerja pada balok tersebut bernilai positif (+) untuk searah jarum jam dan negatif (-) untuk gaya yang berlawanan arah jarum jam. Sehingga dengan demikian dapat dicapai keseimbangan reaksi pada portal.

$$\sum M_{B2-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow (R_{B1-L1-B2-L1} \cdot L) - (0,5 \cdot q \cdot L^2) + M_{B1-L1-B2-L1} + M_{B2-L1-B1-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B1-L1-B2-L1} \cdot 4,2 - (0,5 \cdot 26,538 \cdot 4,2^2) + (-11,837) + 52,603 = 0$$

$$\Leftrightarrow 4,2 R_{B1-L1-B2-L1} - 234,065 + (-11,837) + 52,603 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B1-L1-B2-L1} = 46,021 \text{ kN}$$

$$\sum M_{B1-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow -(R_{B2-L1-B1-L1} \cdot L) + (0,5 \cdot q \cdot L^2 + M_{B2-L1-B1-L1} + M_{B1-L1-B2-L1}) = 0$$

$$\Leftrightarrow -R_{B2-L1-B1-L1} \cdot 4,2 + 0,5 \cdot 26,538 \cdot 4,2^2 + (-11,837) + 52,603 = 0$$

$$\Leftrightarrow -4,2 R_{B2-L1-B1-L1} + 234,065 + (-11,837) + 52,603 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B2-L1-B1-L1} = 65,438 \text{ kN}$$

Cek :

$$-(q \cdot L) + R_{B1-L1-B2-L1} + R_{B2-L1-B1-L1} = 0$$

$$-(26,538 \cdot 4,2) + 46,021 + 65,438 = 0$$

$$-111,460 + 111,460 = 0 \dots\dots\dots (OK)$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan reaksi perletakan (R1 dan R2) yang terlampir pada tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Portal Arah Melintang.

BIDANG <i>FREE BODY</i>	L	q	Q	M1	M2	R1	R2	CEK
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kN	
B1-L1 - B2-L1	4,20	26,538	111,460	-11,827	52,603	46,021	65,438	0,00

B2-L1	-	B3-L1	4,20	26,538	111,460	-52,603	11,827	65,438	46,021	0,00
B1-L2	-	B2-L2	4,20	26,538	111,460	-17,345	49,844	47,992	63,468	0,00
B2-L2	-	B3-L2	4,20	26,538	111,460	-49,844	17,345	63,468	47,992	0,00
B1-L3	-	B2-L3	4,20	26,538	111,460	-11,512	52,760	45,909	65,551	0,00
B2-L3	-	B3-L3	4,20	26,538	111,460	-52,760	11,512	65,551	45,909	0,00
B1-ATAP	-	B2-ATAP	4,20	15,501	65,104	-6,180	31,090	26,621	38,483	0,00
B2-ATAP	-	B3-ATAP	4,20	15,501	65,104	-31,090	6,180	38,483	26,621	0,00

Menghitung Momen Maksimal (Mlap) dan Gaya Lintang Arah

Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen maksimal dan gaya lintang pada bidang B1-L1 – B2-L1.

$$\text{Data } q = 26,538 \text{ kNm} \quad M_{B1-L1 - B2-L1} = -11,827 \text{ kNm}$$

$$L = 4,20 \text{ m} \quad M_{B2-L1 - B1-L1} = 52,603 \text{ kNm}$$

$$R_{B1-L1-B2-L1} = 46,021 \text{ kN}$$

$$M_{lap} = R_{B1-L1-B2-L1} \cdot 0,5 \cdot L - 0,125 \cdot q \cdot L^2 + M_{B1-L1 - B2-L1} + M_{B2-L1 - B1-L1}$$

$$= 46,021 \cdot 0,5 \cdot 4,20 - 0,125 \cdot 26,538 \cdot 4,2^2 + (-11,827) + 52,603$$

$$= 78,904 \text{ kNm}$$

$$V_n = 0,5 \cdot W_u \cdot L \Leftrightarrow 0,5 (q \cdot L) L$$

$$= 0,5 (26,538 \cdot 4,2) 4,2$$

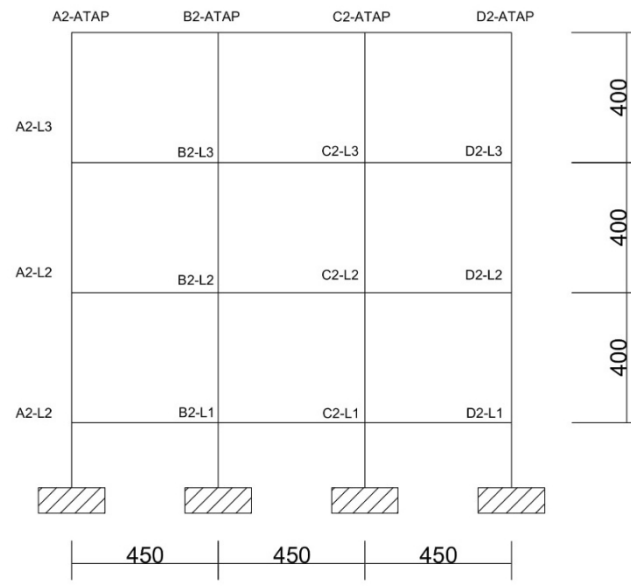
$$= 234,065 \text{ kN.}$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan momen maksimal (M_{lap}) dan gaya lintang seperti yang Tertera di tabel.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang Portal
Arah Melintang.

BALOK	L	q	Wu	M1	M2	R _v	M _{LAP}	Vn
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kN
B1-L1 - B2-L1	4,20	26,538	111,460	-11,827	52,603	46,021	78,904	234,065
B2-L1 - B3-L1	4,20	26,538	111,460	-52,603	11,827	65,438	38,129	234,065
B1-L2 - B2-L2	4,20	26,538	111,460	-17,345	49,844	47,992	74,766	234,065
B2-L2 - B3-L2	4,20	26,538	111,460	-49,844	17,345	63,468	42,267	234,065
B1-L3 - B2-L3	4,20	26,538	111,460	-11,512	52,760	45,909	79,140	234,065
B2-L3 - B3-L3	4,20	26,538	111,460	-52,760	11,512	65,551	37,892	234,065
B1-ATAP - B2-ATAP	4,20	15,501	65,104	-6,180	31,090	26,621	46,634	136,719
B2-ATAP - B3-ATAP	4,20	15,501	65,104	-31,090	6,180	38,483	21,725	136,719

2. Arah Memanjang Balok



Gambar 4.11 Potongan Memanjang Portal As 2

Menghitung Modulus Elastisitas (E) Arah Memanjang

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 Pasal 10.5

$$E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{25} = 23500 \text{ Mpa} \approx 23,5 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

Menghitung Momen Inersia Arah Memanjang

- a. Kolom 20/20 cm → Lantai 3

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,20 \cdot (0,20)^3 = 1,333 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- b. Kolom 25/25 cm → Lantai 2

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,25)^3 = 3,255 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- c. Kolom 25/30 cm → Lantai 1

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,35 \cdot (0,35)^3 = 5,625 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

- d. Balok 20/30 cm → As 2A-D Atap

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,2 \cdot (0,30)^3 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

e. Balok 25/45 cm → As 2A-D lantai 2&3

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,45)^3 = 1,898 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

f. Balok 25/45 cm → As 2A-D Lantai 1

$$I_{\text{balok}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,25 \cdot (0,45)^3 = 1,898 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

Menghitung Nilai EI/L Arah Memanjang

a. Kolom 20/20 cm → Lantai 3 (H = 4,0 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (23,5 \cdot 10^6 \times 1,60 \cdot 10^{-3}) / 4,0 = 783,333 \text{ kNm}^3$$

b. Kolom 25/25 cm → Lantai 2 (H = 4,0 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (23,500 \cdot 10^6 \times 1,60 \cdot 10^{-3}) / 4,0 = 1912,435 \text{ kNm}^3$$

c. Kolom 25/30 cm → Lantai 1 (H = 4,0 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (23,500 \cdot 10^6 \times 3,125 \cdot 10^{-3}) / 4,0 = 3304,688 \text{ kNm}^3$$

d. Balok 20/30 cm (L = 4,50 m)

As → B1-2 dan B2-3 Atap

$$EI_{\text{balok}}/L = (23,500 \cdot 10^6 \times 4,500 \cdot 10^{-4}) / 4,50 = 2350,00 \text{ kNm}^3$$

e. Balok 25/45 cm (L = 4,50 m)

As → B1-2 dan B2-3 Lantai 2,3

$$EI_{\text{balok}}/L = (23,500 \cdot 10^6 \times 1,898 \cdot 10^{-4}) / 4,50 = 9914,06 \text{ kNm}^3$$

f. Balok 25/45 cm (L = 4,50 m)

As → B1-2 dan B2-3 Lantai 1

$$EI_{\text{balok}}/L = (23,500 \cdot 10^6 \times 1,898 \cdot 10^{-4}) / 4,50 = 9914,06 \text{ kNm}^3$$

Menghitung Faktor Distribusi (DF) Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan faktor distribusi yang dimulai dari titik B1-L1.

$$\begin{aligned}
 DF_{(A2-L1 - A2-L2)} &= (EI/L_{(A2-L1 - A2-L2)}) / \{ (EI/L_{(A2-L1 - A2-L2)}) + (EI/L_{(A2-L1 - B2-L1)}) \} \\
 &= (3304,688 / \{ (3304,688) + (9914,06) \}) \\
 &= 0,250
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 DF_{(A2-L1 - B2-L1)} &= (EI/L_{(A2-L1 - B2-L1)}) / \{ (EI/L_{(A2-L1 - A2-L2)}) + (EI/L_{(A2-L1 - B2-L1)}) \} \\
 &= (9914,06) / \{ (3304,688) + (9914,06) \} \\
 &= 0,750
 \end{aligned}$$

$$\text{Cek} \rightarrow DF_{(A2-L1 - A2-L2)} + DF_{(A2-L1 - B2-L1)} = 1$$

$$0,250 + 0,750 = 1$$

$$1 = 1 \dots \dots \dots \text{(OK)}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan Tabel 4.7

Rekapitulasi Faktor.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Memanjang

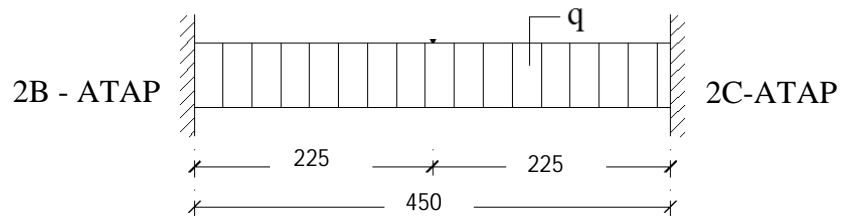
BUHUL	BATANG	DF	CEK
A2-L1	A2-L1 - A2-L2	0,250	1,00
	A2-L1 - B2-L1	0,750	
B2-L1	B2-L1 - B2-L2	0,143	1,00
	B2-L1 - A2-L1	0,429	
	B2-L1 - C2-L1	0,429	
C2-L1	C2-L1 - C2-L2	0,143	1,00
	C2-L1 - B2-L1	0,429	
	C2-L1 - D2-L1	0,429	
D2-L1	D2-L1 - D2-L2	0,250	1,00
	D2-L1 - C2-L1	0,750	
A2-L2	A2-L2 - A2-L3	0,177	1,00
	A2-L2 - A2-L1	0,306	
	A2-L2 - B2-L2	0,516	
B2-L2	B2-L2 - B2-L3	0,117	1,00
	B2-L2 - B2-L1	0,202	
	B2-L2 - A2-L2	0,341	
	B2-L2 - C2-L2	0,341	
C2-L2	C2-L2 - C2-L3	0,117	1,00
	C2-L2 - C2-L1	0,202	
	C2-L2 - B2-L2	0,341	
	C2-L2 - D2-L2	0,341	
D2-L2	D2-L2 - D2-L3	0,177	1,00
	D2-L2 - D2-L1	0,306	
	D2-L2 - C2-L2	0,516	

BUHUL	BATANG	DF	CEK
A2-L3	A2-L3 - A2-ATAP	0,095	1,00
	A2-L3 - A2-L2	0,231	
	A2-L3 - B2-L3	0,674	
B2-L3	B2-L3 - B2-ATAP	0,057	1,00
	B2-L3 - B2-L2	0,138	
	B2-L3 - A2-L3	0,403	
C2-L3	B2-L3 - C2-L3	0,403	1,00
	C2-L3 - C2-ATAP	0,057	
	C2-L3 - C2-L2	0,138	
D2-L3	C2-L3 - B2-L3	0,403	1,00
	C2-L3 - D2-L3	0,403	
	D2-L3 - D2-ATAP	0,095	
A2-ATAP	D2-L3 - D2-L2	0,231	1,00
	D2-L3 - C2-L3	0,674	
	A2-ATAP - A2-L3	0,250	
B2-ATAP	A2-ATAP - B2-ATAP	0,750	1,00
	B2-ATAP - B2-L3	0,143	
	B2-ATAP - A2-ATAP	0,429	
C2-ATAP	B2-ATAP - C2-ATAP	0,429	1,00
	C2-ATAP - C2-L3	0,143	
	C2-ATAP - B2-ATAP	0,429	
D2-ATAP	C2-ATAP - D2-ATAP	0,429	1,00
	D2-ATAP - D2-L3	0,250	
	D2-ATAP - C2-ATAP	0,750	

Menghitung Momen Ujung Jepit (FEM) Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen ujung jepit (FEM) pada pelat atap As 2B-C.

Data : $Q = 20,845 \text{ kN/m}$, $L = 4,50 \text{ m}$



Gambar 4.12 Momen Ujung Jepit pada Balok As 2C-D Pelat Atap

Sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned} M_{B2-ATAP - C2-ATAP} &= (1/12 \cdot Q \cdot L^2) \\ &= (1/12 \cdot 20,845 \cdot 4,50^2) \\ &= 35,176 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{C2-ATAP - B2-ATAP} &= -(1/12 \cdot Q \cdot L^2) \\ &= -(1/12 \cdot 20,845 \cdot 4,50^2) \\ &= -35,176 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan tabel rekapitulasi momen ujung jepit As B.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As 2 Portal Arah Memanjang

BATANG	M (kNm)	BATANG	M (kNm)
A2-L1 - B2-L1	60,002	A2-L3 - B2-L3	58,160
B2-L1 - A2-L1	-60,002	B2-L3 - A2-L3	-58,160
B2-L1 - C2-L1	60,002	B2-L3 - C2-L3	58,160
C2-L1 - B2-L1	-60,002	C2-L3 - B2-L3	-58,160
C2-L1 - D2-L1	60,002	C2-L3 - D2-L3	58,160
D2-L1 - C2-L1	-60,002	D2-L3 - C2-L3	-58,160
A2-L2 - B2-L2	58,160	A2-ATAP - B2-ATAP	35,176
B2-L2 - A2-L2	-58,160	B2-ATAP - A2-ATAP	-35,176
B2-L2 - C2-L2	58,160	B2-ATAP - C2-ATAP	35,176
C2-L2 - B2-L2	-58,160	C2-ATAP - B2-ATAP	-35,176
C2-L2 - D2-L2	58,160	C2-ATAP - D2-ATAP	35,176
D2-L2 - C2-L2	-58,160	D2-ATAP - C2-ATAP	-35,176

Menghitung Distribusi Momen (Metode Cross) Arah Memanjang

Metode distribusi momen atau metode *cross* merupakan metode yang dipakai untuk analisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu. Dalam proses analisis, metode ini melakukan distribusi momen dan induksi (*Carry Over*) terhadap momen primer (*Fixed End Moment*) sebanyak beberapa putaran guna mendapatkan keseimbangan disetiap titik simpul dengan cara momen-momen primer ditiap simpul melakukan distribusi (pembagian) sampai jumlah momen primer dimasing-masing simpul sama dengan nol. Hal ini dilakukan karena momen-momen primer yang bekerja disetiap tumpuan maupun simpul suatu struktur tidak sama besarnya, sehingga simpul tidak seimbang.

Perhitungan distribusi momen arah melintang ini dapat dilihat pada Lampiran.

Berikut merupakan tabel rekapitulasi distribusi momen.

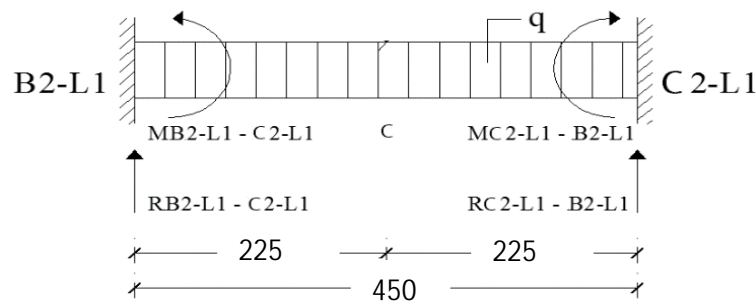
Tabel 4.9 Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (*Metode Cross*) Portal Arah

Memanjang

BATANG	M (kNm)	BATANG	M (kNm)
A2-L1 - A2-L2	21,759	A2-L3 - A2-ATAP	9,604
A2-L1 - B2-L1	-21,759	A2-L3 - A2-L2	16,521
B2-L1 - B2-L2	-4,859	A2-L3 - B2-L3	-26,125
B2-L1 - A2-L1	70,567	B2-L3 - B2-ATAP	-2,335
B2-L1 - C2-L1	-65,707	B2-L3 - B2-L2	-3,428
C2-L1 - C2-L2	4,859	B2-L3 - A2-L3	68,024
C2-L1 - B2-L1	65,707	B2-L3 - C2-L3	-62,262
C2-L1 - D2-L1	-70,567	C2-L3 - C2-ATAP	2,335
D2-L1 - D2-L2	-21,759	C2-L3 - C2-L2	3,428
D2-L1 - C2-L1	21,759	C2-L3 - B2-L3	62,262
A2-L2 - A2-L3	14,431	C2-L3 - D2-L3	-68,024
A2-L2 - A2-L1	21,543	D2-L3 - D2-ATAP	-9,604
A2-L2 - B2-L2	-35,974	D2-L3 - D2-L2	-16,521
B2-L2 - B2-L3	-2,630	D2-L3 - C2-L3	26,125
B2-L2 - B2-L1	-4,013	A2-ATAP - A2-L3	11,585
B2-L2 - A2-L2	66,583	A2-ATAP - B2-ATAP	-11,585
B2-L2 - C2-L2	-59,939	B2-ATAP - B2-L3	-2,939
C2-L2 - C2-L3	2,630	B2-ATAP - A2-ATAP	41,657
C2-L2 - C2-L1	4,013	B2-ATAP - C2-ATAP	-38,719
C2-L2 - B2-L2	59,939	C2-ATAP - C2-L3	2,939
C2-L2 - D2-L2	-66,583	C2-ATAP - B2-ATAP	38,719
D2-L2 - D2-L3	-14,431	C2-ATAP - D2-ATAP	-41,657
D2-L2 - D2-L1	-21,543	D2-ATAP - D2-L3	-11,585
D2-L2 - C2-L2	35,974	D2-ATAP - C2-ATAP	11,585

Menghitung Reaksi Perletakan Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan reaksi perletakan pada bidang B2-L1 – C2-L1.



Gambar 4.13 Ilustrasi Reaksi Perletakan Bidang B2-L1 – C2-L1

Data :

$$q = 35,557 \text{ kNm} \qquad M_{B2-L1 - C2-L1} = -65,707 \text{ kNm}$$

$$L = 4,50 \text{ m} \qquad M_{C2-L1 - B2-L1} = 65,707 \text{ kNm}$$

Menurut Teori dari Mekanika Rekayasa 1, perhitungan reaksi tumpuan $R_{B2-L1 - C2-L1}$ pada balok B2-L1–C2-L1 dapat dicari dengan memisalkan $\sum M_{B2-L1} = 0$. Syaratnya, gaya-gaya yang bekerja pada balok tersebut bernilai positif (+) untuk searah jarum jam dan negatif (-) untuk gaya yang berlawanan arah jarum jam. Sehingga dengan demikian dapat dicapai keseimbangan reaksi pada portal.

$$\sum M_{C2-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow (R_{B2-L1-C2-L1} \cdot L) - (0,5 \cdot q \cdot L^2) - (0,5 \cdot P \cdot L) + M_{B2-L1-C2-L1} + M_{C2-L1-B2-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{A2-L1-B2-L1} \cdot 4,50 - 0,5 \cdot 35,557 \cdot 4,50^2 + (-65,707) + 65,707 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{B2-L1-C2-L1} = 80,003 \text{ kN}$$

$$\sum M_{B2-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow -(R_{C2-L1-B2-L1} \cdot L) + (0,5 \cdot q \cdot L^2) + M_{B2-L1-C2-L1} + M_{C2-L1-B2-L1} = 0$$

$$\Leftrightarrow -R_{B2-L1-A2-L1} \cdot 4,50 + 0,5 \cdot 35,557 \cdot 4,50^2 + (-65,707) + 65,707 = 0$$

$$\Leftrightarrow -4,50 R_{B2-L1-A2-L1} + 360,015 + (-65,707) + 65,707 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{C2-L1-B2-L1} = 80,003 \text{ kN}$$

Cek :

$$-(q \cdot L) + R_{B2-L1-C2-L1} + R_{C2-L1-B2-L1} = 0$$

$$-(35,557 \cdot 4,50) + 80,003 + 80,003 = 0 \dots\dots\dots(OK)$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan reaksi perletakan (R1 dan R2) yang terlampir pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Arah Portal Memanjang

BIDANG <i>FREE BODY</i>	L	q	Q	M1	M2	R1	R2	CEK
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kN	
A2-L1 - B2-L1	4,50	35,557	160,007	-21,759	70,567	69,157	90,850	0,00
B2-L1 - C2-L1	4,50	35,557	160,007	-65,707	65,707	80,003	80,003	0,00
C2-L1 - D2-L1	4,50	35,557	160,007	-70,567	21,759	90,850	69,157	0,00
A2-L2 - B2-L2	4,50	34,465	155,093	-35,974	66,583	70,744	84,348	0,00
B2-L2 - C2-L2	4,50	34,465	155,093	-59,939	59,939	77,546	77,546	0,00
C2-L2 - D2-L2	4,50	34,465	155,093	-66,583	35,974	84,348	70,744	0,00
A2-L3 - B2-L3	4,50	34,465	155,093	-26,125	68,024	68,235	86,857	0,00
B2-L3 - C2-L3	4,50	34,465	155,093	-62,262	62,262	77,546	77,546	0,00
C2-L3 - D2-L3	4,50	34,465	155,093	-68,024	26,125	86,857	68,235	0,00
A2-ATAP - B2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-11,585	41,657	40,219	53,584	0,00
B2-ATAP - C2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-38,719	38,719	46,901	46,901	0,00
C2-ATAP - D2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-41,657	11,585	53,584	40,219	0,00

Menghitung Momen Maksimal (Mlap) dan Gaya Lintang Arah

Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen maksimal dan gaya lintang pada bidang B2-L1 – C2-L1.

Data : $R_{B2-L1-C2-L1} = 80,003 \text{ kN}$

$q = 35,557 \text{ kNm}$

$M_{B2-L1-C2-L1} = -65,707 \text{ kNm}$

$L = 4,50 \text{ m}$

$M_{C2-L1-B2-L1} = 65,707 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
 M_{lap} &= R_{B2-L1-C2-L1} \cdot 0,5 \cdot L - 0,125 \cdot q \cdot L^2 + M_{B2-L1-C2-L1} + M_{C2-L1-B2-L1} \\
 &= 80,003 \cdot 0,5 \cdot 4,50 - 0,125 \cdot 35,557 \cdot 4,50^2 + (-65,707) + 65,707 \\
 &= 90,004 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0,5 \cdot W_u \cdot L = 0,5 (q \cdot L) L \\
 &= 0,5(35,557 \cdot 4,50) \cdot 4,50 \\
 &= 360,015 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan momen maksimal (M_{lap}) dan gaya lintang seperti yang terlampir pada tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.11 Rekapitulasi Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang Portal Arah Memanjang.

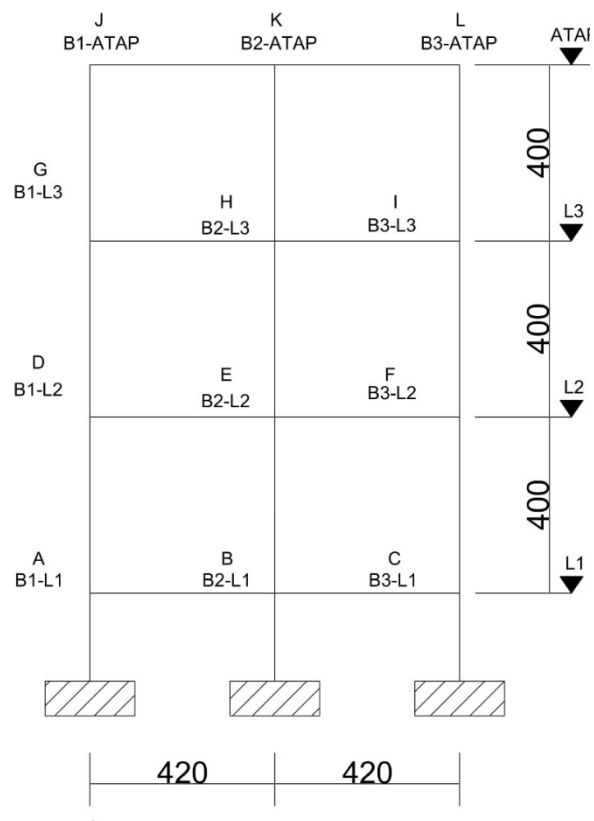
BALOK	L	q	Wu	M1	M2	R _v	M _{LAP}	V _n
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kN
A2-L1 - B2-L1	4,50	35,557	160,007	-21,759	70,567	69,157	114,408	360,015
B2-L1 - C2-L1	4,50	35,557	160,007	-65,707	65,707	80,003	90,004	360,015
C2-L1 - D2-L1	4,50	35,557	160,007	-70,567	21,759	90,850	65,600	360,015
A2-L2 - B2-L2	4,50	34,465	155,093	-35,974	66,583	70,744	102,544	348,958
B2-L2 - C2-L2	4,50	34,465	155,093	-59,939	59,939	77,546	87,240	348,958
C2-L2 - D2-L2	4,50	34,465	155,093	-66,583	35,974	84,348	71,935	348,958
A2-L3 - B2-L3	4,50	34,465	155,093	-26,125	68,024	68,235	108,189	348,958
B2-L3 - C2-L3	4,50	34,465	155,093	-62,262	62,262	77,546	87,240	348,958
C2-L3 - D2-L3	4,50	34,465	155,093	-68,024	26,125	86,857	66,290	348,958
A2-ATAP - B2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-11,585	41,657	40,219	67,800	211,056
B2-ATAP - C2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-38,719	38,719	46,901	52,764	211,056
C2-ATAP - D2-ATAP	4,50	20,845	93,803	-41,657	11,585	53,584	37,728	211,056

4.4.1 Menghitung Penulangan Balok

1. Perhitungan Tulangan Balok Atap

Arah Melintang

Berikut merupakan perhitungan pada balok B1 Atap – B2 Atap dengan data berikut:



Gambar 4.14 Posisi Balok B1 Atap – B2 Atap

Direncanakan:

Dimensi balok = 20/30 cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$$\begin{aligned}
 d_{\text{eff}} &= h - p - \emptyset \text{ tul. Sengkang} - 0,5 \emptyset \text{ tul. Utama} \\
 &= 300 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16) \\
 &= 264 \text{ mm} = 0,264 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan analisa perhitungan tulangan pada ring balok B1Atap – B2Atap.

Menghitung Tulangan Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u &= 6,180 \text{ kNm} \\
 k &= M_u / \phi b d^2 \\
 &= 6,180 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,264^2 \\
 &= 554 \text{ kN/m}^2 = 0,554 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-17 Rasio Penulangan (ρ) vs Koefisien Tahanan (k) berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$, jika ρ perlu $< \rho_{\text{min}}$ maka dipakai $\rho_{\text{min}} = 0,0040$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0040 \times 200 \times 264 = 211,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **2D16** $\rightarrow A_s = 402,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$M_u = 46,634 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= M_U / \phi b d^2 \\ &= 46,634 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,264^2 \\ &= 4181 \text{ kN/m}^2 = 4,181 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menurut tabel A-17 Rasio Penulangan (ρ) vs Koefisien Tahanan (k) berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$,

$$k = 4,181 \text{ Mpa} \text{ didapatkan nilai } \rho = 0,0135$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0135 \times 200 \times 264 \\ &= 712,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **4D16** $\rightarrow A_s = 804,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 65,104 \text{ kN}$$

$$V_n = 136,719 \text{ kN}$$

Untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$, $\phi = 0,8$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 200 \cdot 0,262 = 42,240 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_U = (136,719 - 42,240) / 65,104 = 1,451 \text{ m} \approx 1451 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (200 \cdot 1451) / (3 \cdot 350) = 276,381 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 276,381 / 1,451 = 190,476 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 190,476 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\emptyset 8$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\emptyset 8-150$ dengan $A_s = 335,1 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\emptyset 8-200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$.**

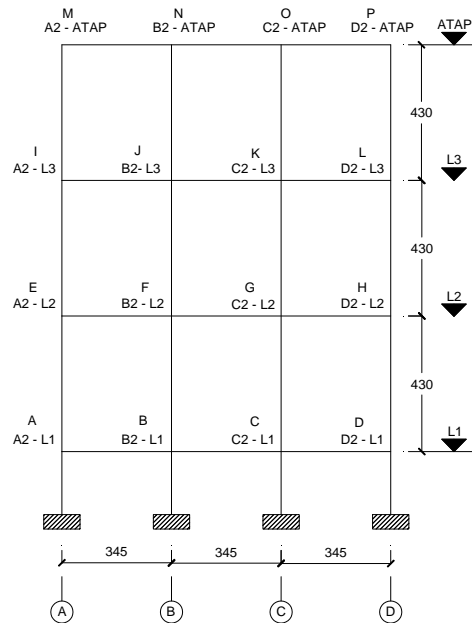
Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari $2/3$ dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 30 = 20 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu **$\emptyset 8-150$ dengan $A_s = 335,1 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\emptyset 8-200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$**

Arah Memanjang

Berikut merupakan perhitungan pada balok B2Atap – C2Atap dengan data berikut.



Gambar 4.15 Posisi Balok B2-Atap – C2-Atap

Direncanakan:

Dimensi balok = 20/30 cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$d_{eff} = h - p - \varnothing \text{ tul. Sengkang} - 0,5 \varnothing \text{ tul. Utama}$

$$= 300 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 264 \text{ mm}$$

$$= 0,264 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Tumpuan

$$M_u = 38,719 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= M_U / \phi b d^2 \\ &= 38,719 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,264^2 \\ &= 3472 \text{ kN/m}^2 = 3,472 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 3,472 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0110$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0110 \times 200 \times 264 \\ &= 580,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **3D16** $\rightarrow A_s = 603,2\text{mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$M_u = 52,764 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= M_U / \phi b d^2 \\ &= 52,764 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,264^2 \\ &= 4731 \text{ kN/m}^2 = 4,731 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 4,731 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0156$

$$\text{Sehingga } A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0156 \times 200 \times 264$$

$$= 823,63 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **5D16** → **As = 1005,3 mm²**.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 93,803 \text{ kN}$$

$$V_n = 211,056 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } f_c' = 25 \text{ Mpa, } \phi = 0,8$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 200 \cdot 0,264 = 42,240 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_u = (211,056 - 42,240) / 93,803 = 1,786 \text{ m} \approx 1786,5 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (200 \cdot 1786) / (3 \cdot 350) = 340,361 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 340,361 / 1,786 = 190,476 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 190,476 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama Ø8, maka dicari luas yang mendekati yaitu **Ø8-150 dengan $A_s = 335,1 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan Ø8-200 dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$** .

Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari 2/3 dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 30 = 20 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu $\text{Ø}8\text{-}150$ dengan $A_s = 335,1 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\text{Ø}8\text{-}200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$

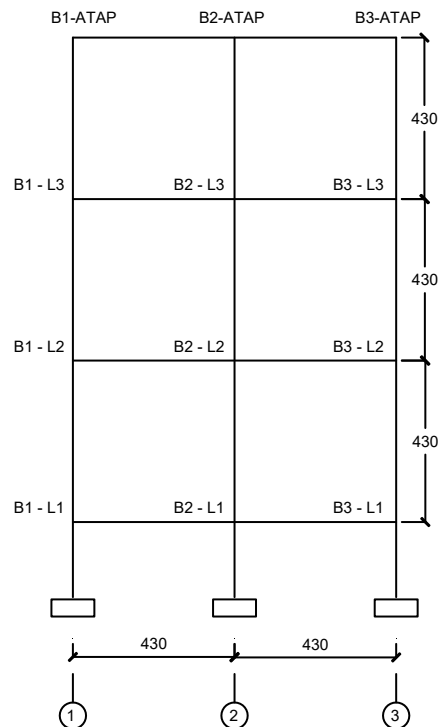
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Penulangan Balok Atap

Balok Atap Melintang	Dimensi			20 x 30
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	2D16
			Bawah	2D16
		Lapangan	Atas	2D16
			Bawah	4D16
		Tumpuan Kanan	Atas	2D16
			Bawah	2D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		$\text{Ø}8\text{-}150$
		Lapangan		$\text{Ø}8\text{-}200$
		Tumpuan Kanan		$\text{Ø}8\text{-}150$
Balok Atap Memanjang	Dimensi			20 x 30
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	3D16
			Bawah	2D16
		Lapangan	Atas	3D16
			Bawah	5D16
		Tumpuan Kanan	Atas	3D16
			Bawah	2D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		$\text{Ø}8\text{-}150$
		Lapangan		$\text{Ø}8\text{-}200$
		Tumpuan Kanan		$\text{Ø}8\text{-}150$

2. Perhitungan Tulangan pada Balok Lantai 2 dan 3

Arah Melintang

Berikut merupakan perhitungan pada balok B1-L3 – B2-L3 dengan data berikut:



Gambar 4.16 Posisi Balok B1-L3 – B2-L3

Direncanakan:

Dimensi balok = 25/45 cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$d_{eff} = h - p - \varnothing \text{ tul. Sengkang} - 0,5 \varnothing \text{ tul. Utama}$

$$= 450 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 414 \text{ mm} = 0,414 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Tumpuan

$M_u = 11,512 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
 k &= M_U / \phi b d^2 \\
 &= 11,512 / 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,414^2 \\
 &= 335 \text{ kN/m}^2 = 0,335 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 0,335 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0040$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0040 \times 250 \times 414 \\
 &= 414,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **3D16** $\rightarrow A_s = 603,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_u &= 79,140 \text{ kNm} \\
 k &= M_U / \phi b d^2 \\
 &= 79,140 / 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,414^2 \\
 &= 2308 \text{ kN/m}^2 = 2,308 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 2,308 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0070$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0070 \times 250 \times 414
 \end{aligned}$$

$$= 724,5 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **4D16** → **As = 804,2 mm²**.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 111,460 \text{ kN}$$

$$V_n = 234,065 \text{ kN}$$

Untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$, $\phi = 0,8$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 250 \cdot 0,414 = 82,800 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_u = (234,065 - 82,800) / 111,460 = 1,3571 \text{ m} \approx 1357,1 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (250 \cdot 1357,1) / (3 \cdot 350) = 323,119 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 323,119 / 1,3571 = 238,095 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 238,095 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\emptyset 8$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\emptyset 8-200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\emptyset 8-250$ dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$** .

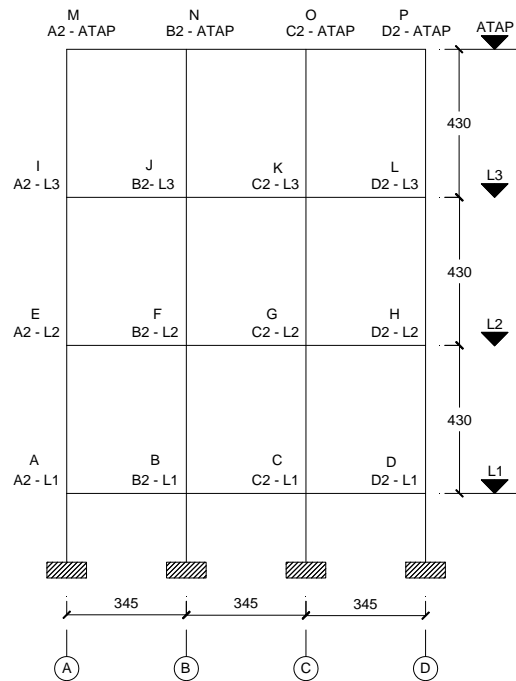
Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari $2/3$ dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 45 = 30 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu **Ø8-200 dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan** sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan **Ø8-250 dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$**

Arah Memanjang

Berikut merupakan perhitungan pada balok B2-L3 – C2-L3 dengan data berikut:



Gambar 4.17 Posisi Balok B2-L3 – C2-L3

Direncanakan:

Dimensi balok = 20/40 cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$d_{\text{eff}} = h - p - \text{Ø tul. Sengkang} - 0,5 \text{ Ø tul. Utama}$

$$= 400 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 364 \text{ mm} = 0,364 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Tumpuan

$$M_u = 62,262 \text{ kNm}$$

$$k = M_u / \phi b d^2$$

$$= 62,262 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,364^2$$

$$= 2936 \text{ kN/m}^2 = 2,936 \text{ Mpa}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 2,936 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0091$.

Sehingga $A_s = \rho \times b \times d$

$$= 0,0091 \times 200 \times 364$$

$$= 662,48 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-

15-1991-03 dipilih tulangan **4D16** $\rightarrow A_s = 804,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$M_u = 87,240 \text{ kNm}$$

$$k = M_u / \phi b d^2$$

$$= 87,240 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,364^2$$

$$= 4115 \text{ kN/m}^2 = 4,115 \text{ Mpa}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 4,115 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0132$

Sehingga $A_s = \rho \times b \times d$

$$= 0,0132 \times 200 \times 364$$

$$= 960,96 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **5D16** → **As = 1005,3 mm²**.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 155,093 \text{ kN}$$

$$V_n = 348,958 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } f_c' = 25 \text{ Mpa, } \phi = 0,8$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 200 \cdot 0,364 = 58,240 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_u = (348,958 - 58,240) / 155,093 = 1,8744 \text{ m} \approx 1874,475 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (250 \cdot 1874,475) / (3 \cdot 350) = 446,303 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang / m} = A_s \text{ sengkang} / y = 446,303 / 1,8744 = 238,104 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 238,104 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\emptyset 8$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\emptyset 8-200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\emptyset 8-250$ dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$.**

Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari $2/3$ dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 40 = 26,6 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu $\text{Ø}8\text{-}200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\text{Ø}8\text{-}250$ dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$

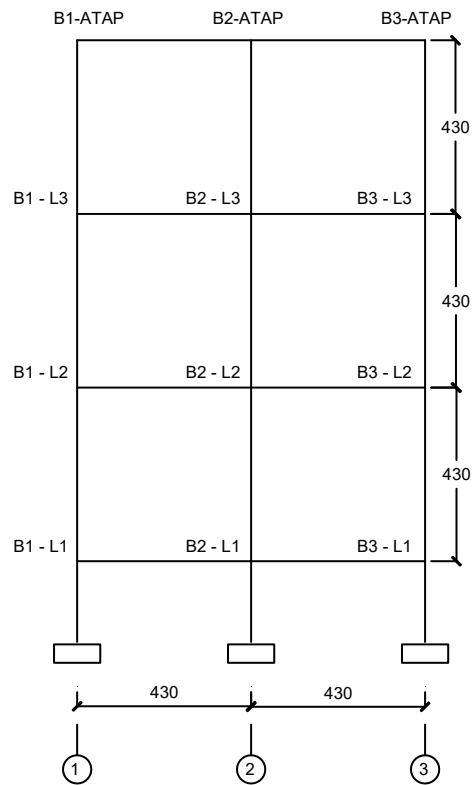
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Penulangan Balok Lantai 2 dan 3

Balok Lantai 2 dan 3 Melintang	Dimensi			25 x 45
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	3D16
			Bawah	2D16
		Lapangan	Atas	3D16
			Bawah	4D16
		Tumpuan Kanan	Atas	3D16
			Bawah	2D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		$\text{Ø}8\text{-}200$
		Lapangan		$\text{Ø}8\text{-}250$
		Tumpuan Kanan		$\text{Ø}8\text{-}200$
Balok Lantai 2 dan 3 Memanjang	Dimensi			20 x 40
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	4D16
			Bawah	3D16
		Lapangan	Atas	4D16
			Bawah	5D16
		Tumpuan Kanan	Atas	4D16
			Bawah	3D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		$\text{Ø}8\text{-}200$
		Lapangan		$\text{Ø}8\text{-}250$
		Tumpuan Kanan		$\text{Ø}8\text{-}200$

3. Perhitungan Tulangan Sloof

Arah Melintang

Berikut merupakan perhitungan pada sloof B1-L1 – B2-L1 dengan data berikut:



Gambar 4.18 Posisi Balok B1-L1 – B2-L1

Direncanakan:

Dimensi balok = 25/45 cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$d_{eff} = h - p - \text{Ø tul. Sengkang} - 0,5 \text{ Ø tul. Utama}$

$$= 450 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 414 \text{ mm} = 0,414 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Tumpuan

$$M_u = 11,827 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= M_U / \phi b d^2 \\ &= 11,827 / 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,414^2 \\ &= 345,019 \text{ kN/m}^2 = 0,345 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menurut tabel A-6 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03

untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan

$k_{\min} = 0,345 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0040$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0040 \times 250 \times 414 \\ &= 414,0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-

15-1991-03 dipilih tulangan **3D16** $\rightarrow A_s = 603,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$M_u = 78,904 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 k &= M_U / \phi b d^2 \\
 &= 78,904 / 0,8 \cdot 0,25 \cdot 0,414^2 \\
 &= 2301 \text{ kN/m}^2 = 2,301 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-22 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 350 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan $k_{\min} = 2,301 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,0070$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0070 \times 250 \times 414 \\
 &= 724,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **4D16** $\rightarrow A_s = 804,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 111,460 \text{ kN}$$

$$V_n = 234,065 \text{ kN}$$

Untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$, $\phi = 0,8$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 250 \cdot 0,414 = 82,800 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_u = (234,065 - 82,800) / 111,460 = 1,3571 \text{ m} \approx 1357 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (250 \cdot 1357) / (3 \cdot 350) = 323,095 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / m = A_s \text{ sengkang} / y = 323,095 / 1,357 = 238,095 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 238,095 \text{ mm}^2$ dengan diameter

tulangan utama Ø8, maka dicari luas yang mendekati yaitu **Ø8-200 dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan Ø8-250 dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$.**

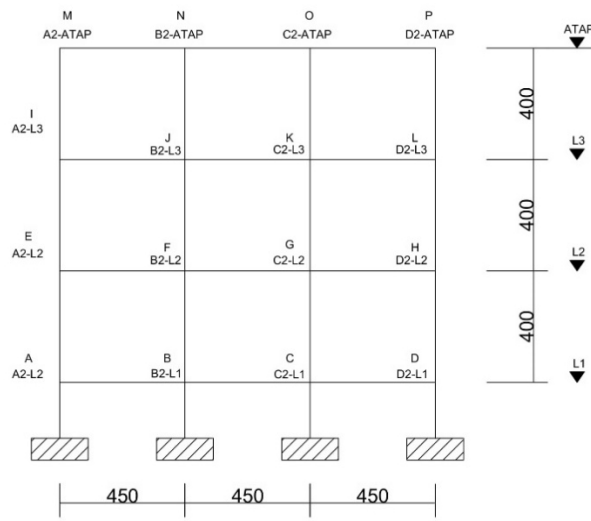
Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari $2/3$ dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 45 = 30 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu **Ø8-200 dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan Ø8-250 dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$**

Arah Memanjang

Berikut merupakan perhitungan pada sloof B2-L1 – C2-L1 dengan data berikut:



Gambar 4.19 Posisi Balok B2-L1 – C2-L1

Direncanakan:

Dimensi balok = 25/45cm Diameter tul. utama = 16 mm

Beton *decking* = 20 mm Diameter tul. sengkang = 8 mm

$d_{eff} = h - p - \varnothing \text{ tul. Sengkang} - 0,5 \varnothing \text{ tul. Utama}$

$$= 450 - 20 - 8 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 414 \text{ mm} = 0,414 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Tumpuan

$$M_u = 65,707 \text{ kNm}$$

$$k = M_U / \phi b d^2$$

$$= 65,707 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,414^2$$

$$= 2396 \text{ kN/m}^2 = 2,396 \text{ Mpa}$$

Menurut tabel A-22 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 25$ Mpa dan $f_y = 350$ Mpa didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan $k_{\min} = 2,396$ Mpa didapatkan nilai $\rho = 0,0073$.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0073 \times 250 \times 414 \\ &= 755,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **4D16** $\rightarrow A_s = 804,2 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned} M_u &= 90,004 \text{ kNm} \\ k &= M_u / \phi b d^2 \\ &= 90,004 / 0,8 \cdot 0,2 \cdot 0,414^2 \\ &= 3282 \text{ kN/m}^2 = 3,282 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menurut tabel A-22 Konstanta Perencanaan berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 25$ Mpa dan $f_y = 350$ Mpa didapatkan nilai $\rho_{\min} = 0,0040$ dan $k_{\min} = 3,282$ Mpa didapatkan nilai $\rho = 0,0103$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0103 \times 250 \times 414 \\ &= 1066,05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 dipilih tulangan **6D16** $\rightarrow A_s = 1206,4 \text{ mm}^2$.

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_u = 160,007 \text{ kN}$$

$$V_n = 360,015 \text{ kN}$$

Untuk $f_c' = 25 \text{ Mpa}$, $\phi = 0,8$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,8 \cdot 250 \cdot 0,414 = 82,800 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_u = (360,015 - 82,8) / 160,007 = 1,7325 \text{ m} \approx 1732 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (250 \cdot 1732) / (3 \cdot 350) = 412,381 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 412,381 / 1,732 = 238,095 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 238,1 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\text{Ø}8$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\text{Ø}8\text{-}200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\text{Ø}8\text{-}250$ dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$.**

Menurut aturan SNI 2847:2013 Bab 7.6 yang menyebutkan bahwa jarak sengkang-sengkang tidak boleh diambil lebih dari $2/3$ dari tinggi balok. Jadi jika dihitung batas maksimal jarak sengkang didapat :

$$2/3 \times 45 = 30 \text{ cm}$$

Maka diambil perhitungan kembali dengan jarak menyesuaikan batas maksimal yaitu **$\text{Ø}8\text{-}200$ dengan $A_s = 251,3 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang tumpuan sedangkan untuk tulangan sengkang lapangan digunakan $\text{Ø}8\text{-}250$ dengan $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$**

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Penulangan Balok Sloof

Balok Sloof Melintang	Dimensi			25 x 45
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	3D16
			Bawah	2D16
		Lapangan	Atas	3D16
			Bawah	4D16
		Tumpuan Kanan	Atas	3D16
			Bawah	2D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		Ø8 - 200
		Lapangan		Ø8 - 250
		Tumpuan Kanan		Ø8 - 200
Balok Sloof Memanjang	Dimensi			25 x 45
	Tulangan Utama	Tumpuan Kiri	Atas	4D16
			Bawah	2D16
		Lapangan	Atas	4D16
			Bawah	6D16
		Tumpuan Kanan	Atas	4D16
			Bawah	2D16
	Tulangan Sengkang	Tumpuan Kiri		Ø8 - 200
		Lapangan		Ø8 - 250
		Tumpuan Kanan		Ø8 - 200

4.5. Ajnalisa Perhitungan Kolom

4.5.1. Menghitung Pembebanan Kolom

1. Pembebanan Kolom Lantai 3 (K3)

Dimensi rencana kolom 20 x 20 cm

W pelat atap	= 0,11 x 4,2 x 4,50 x 24	= 49,896 kN
W balok (20/30)	= 0,20 x 0,30 x 4,50 x 24	= 6,48 kN
W balok (20/30)	= 0,20 x 0,30 x 4,20 x 24	= 6,048 kN
W kolom (20/20)	= 0,20 x 0,20 x 4 x 24	= 3,84 kN
W hidup atap	= 4,20 x 4,5 x 1	= 18,9 kN
W plafond	= 4,20 x 4,5 x 0,11	= 2,079 kN
W penggantung	= 4,20 x 4,5 x 0,07	= 1,323 kN
W mortar (2cm)	= 4,20 x 4,5 x 0,42	= <u>7,938 kN</u> +
	P_{total} (K3)	= 96,504 kN

2. Pembebanan Kolom Lantai 2 (K2)

Dimensi rencana kolom 25 x 25 cm

W pelat lantai	= 0,11 x 4,20 x 4,50 x 24	= 49,896 kN
W balok (20/40)	= 0,20 x 0,40 x 4,50 x 24	= 8,64 kN
W balok (25/45)	= 0,25 x 0,45 x 4,20 x 24	= 11,340 kN
W kolom (25/25)	= 0,25 x 0,25 x 4 x 24	= 6,000 kN
W dinding I	= 0,15 x 4,50 x 4 x 2,5	= 6,750 kN
W dinding II	= 0,15 x 4,20 x 4 x 2,5	= 6,300 kN

W plafond	= 4,20 x 4,5 x 0,11	= 2,079 kN
W penggantung	= 4,20 x 4,5 x 0,07	= 1,323 kN
W hidup lantai	= 4,20 x 4,5 x 2,5	= 47,250 kN
W keramik	= 4,20 x 4,5 x 0,24	= 4,536 kN
W mortar (2cm)	= 4,20 x 4,5 x 0,42	= 7,938 kN
Total P3		= <u>96,504 kN +</u>

$$\mathbf{P_{total} (K2) = 248,556 kN}$$

3. Pembebanan Kolom Lantai 1 (K1)

Dimensi rencana kolom 25 x 30 cm

W pelat lantai	= 0,11 x 4,50 x 4,20 x 24	= 49,896 kN
W balok (20/40)	= 0,20 x 0,40 x 4,50 x 24	= 8,64 kN
W balok (25/45)	= 0,25 x 0,45 x 4,20 x 24	= 11,340 kN
W kolom (25/30)	= 0,25 x 0,30 x 4 x 24	= 7,2000 kN
W dinding I	= 0,15 x 4,50 x 4 x 2,5	= 6,750kN
W dinding II	= 0,15 x 4,20 x 4 x 2,5	= 6,300 kN
W plafond	= 4,20 x 4,50 x 0,11	= 2,079 kN
W penggantung	= 4,20 x 4,50 x 0,07	= 1,323 kN
W hidup lantai	= 4,20 x 4,50 x 2,5	= 47,250 kN
W keramik	= 4,20 x 4,50 x 0,24	= 4,536 kN
W mortar (2cm)	= 4,20 x 4,50 x 0,42	= 7,938 kN
Total P2		= <u>248,556 kN +</u>

$$\mathbf{P_{total} (K1) = 401,808 kN}$$

4.5.2. Menghitung Penulangan Kolom

1. Penulangan Kolom Lantai 3 (K3)

Data :

$$P_{\text{total}} (\text{K3}) = 96,504 \text{ kN} \quad M_u = 31,090 \text{ kNm}$$

$$\text{Dimensi } 20 \times 20 \text{ cm} \quad \text{Beton } \textit{decking} = 20 \text{ mm}$$

$$e = M_u \cdot (10)^3 / P_U = 31,090 \cdot (10)^3 / 96,504 = 322,158 \text{ mm}$$

Direncanakan dengan :

$$\text{Dia. Tul. Utama} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Dia. Tul. Sengkang} = 8 \text{ mm}$$

Berdasarkan SK-SNI-T-15-1991-03, jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan (ρ_g) antara 1% s/d 8%. Maka untuk perencanaan kolom K3 digunakan $\rho_g = 1\%$

$$d' = t_{\text{decking}} + \frac{1}{2} D \text{ tul.} + \phi = 40 + (0,5 \cdot 12) + 8 = 34,0 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 400 - 34,0 = 166,0 \text{ mm}$$

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d} = 1\%$$

$$A_s = A_s' = 0,01 b \cdot d = 0,01 \cdot 200 \cdot 166,0 = 332,000 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 3D13 pada masing-masing sisi kolom ($A_s = 397,995 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{397,995}{200 \times 166,0} = 0,0120$$

Pemeriksaan Pu Terhadap Beban Seimbang Pub

$$\begin{aligned} C_b &= (600 \cdot d) / (600 + F_y) \\ &= (600 \cdot 166,0) / (600 + 350) \\ &= 104,842 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan Pasal 3.3.2 ayat 7 SK-SNI-T-15-1991-03, faktor reduksi β_1 harus diambil sebesar 0,80 untuk kuat tekan f_c' hingga atau sama dengan 25 Mpa. Untuk kekuatan di atas 25 Mpa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap 1 MPa diatas 25 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = 0,80 \cdot 104,842 = 89,116 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{(c_b - d')}{c_b} \cdot \epsilon_{cu} < \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{104,842 - 34,0}{104,842} \cdot 0,003 < \frac{350}{200000} \\ &= 0,00203 < 0,00175 \end{aligned}$$

Karena $0,00203 > 0,00175$, maka tulangan mencapai luluh ketika beton hancur.

$$\begin{aligned} f_s' &= E_s \cdot \epsilon_s' = 200000 \cdot (0,00203) \\ &= 405,422 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$f_s' > f_y \Leftrightarrow 405,422 > 350 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
P_{ub} &= 0,65.(0,85.fc'.ab.b + As'.fs' - As'.fy) \\
&= 0,65.(0,85 . 30 .89,116 . 200 + 397,995 . 405,422 - 397,995. 350) \\
&= 260520 / 1000 \\
&= 260,520 > P_U \\
&= 260,520 > 96,504 \dots\dots\dots(\text{AMAN})
\end{aligned}$$

Pemeriksaan Kekuatan Penampang

Digunakan persamaan empiris Whitney untuk penampang kolom persegi dengan hancur tekan menentukan.

$$\begin{aligned}
P_n &= \frac{As'.fy}{\frac{e}{(d-d')} + 0,5} + \frac{b.h.fc'}{\frac{3.h.e}{d^2} + 1,18} \\
&= \frac{397,995 . 350}{\frac{322,158}{(166,0-34,0)} + 0,5} + \frac{200.200.25}{\frac{3.200. 322,158}{166,0^2} + 1,18} \\
&= 47370,8093 + 122031,25 \\
&= 169402,06 \text{ N} \\
&= 169,40206 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_{nb} &= 0,65.(169,40206) > P_u \\
&= 110,111 > 97,827 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{AMAN})
\end{aligned}$$

Berdasarkan analisa diatas, tulangan utama kolom K3 digunakan 3D13 pada masing-masing sisi kolom.

- Perhitungan tulangan sengkang kolom

Perhitungan tulangan sengkang kolom didasarkan kepada SK-SNI-T15-1991-03 Pasal 3.16.10 Ayat 5 dengan penjelasan berikut :

- a. Semua batang tulangan non-pratekan harus dilingkup dengan sengkang dan kait ikat lateral, paling sedikit ukuran D10
- b. Spasi vertikal dari sengkang dan kait ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang dan kait-ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tekan tersebut.

Sehingga dari penjelasan tersebut direncanakan :

Tulangan sengkang = 8 mm

Spasi vertikal atau jarak antar sengkang :

$16 \times D \text{ utama} = 16 \times 12 \text{ mm} = 192 \text{ mm}$

$48 \times D \text{ sengkang} = 48 \times 8 \text{ mm} = 384 \text{ mm}$

Dimensi terkecil kolom = 200 mm

Berdasarkan analisa diatas, tulangan sengkang kolom K3 digunakan

D8-250 , $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$

2. Penulangan Kolom Lantai 2 (K2)

Data :

$$P_{\text{total}} (\text{K2}) = 248,556 \text{ kN} \quad M_u = 49,844 \text{ kNm}$$

$$\text{Dimensi } 25 \times 25 \text{ cm} \quad \text{Beton } \textit{decking} = 20 \text{ mm}$$

$$e = M_u \cdot (10)^3 / P_U = 49,844 \cdot (10)^3 / 248,556 = 200,533 \text{ mm}$$

Direncanakan dengan :

$$\text{Dia. Tul. Utama} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Dia. Tul. Sengkang} = 8 \text{ mm}$$

Berdasarkan SK-SNI-T-15-1991-03, jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan (ρ_g) antara 1% s/d 8%. Maka untuk perencanaan kolom K3 digunakan $\rho_g = 1\%$

$$d' = t_{\text{decking}} + \frac{1}{2} D \text{ tul.} + \phi = 40 + (0,5 \cdot 12) + 8 = 34,0 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 250 - 34,0 = 216 \text{ mm}$$

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d} = 1\%$$

$$A_s = A_s' = 0,01 b \cdot d = 0,01 \cdot 250 \cdot 216,0 = 540,0 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 5D13 pada masing-masing sisi kolom ($A_s = 663,325 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{663,325}{250 \times 216,0} = 0,0123$$

Pemeriksaan Pu Terhadap Beban Seimbang Pub

$$C_b = (600 \cdot d) / (600 + F_y)$$

$$= (600 \cdot 216) / (600 + 350)$$

$$= 136,421 \text{ m}$$

Berdasarkan Pasal 3.3.2 ayat 7 SK-SNI-T-15-1991-03, faktor reduksi β_1 harus diambil sebesar 0,80 untuk kuat tekan f_c' hingga atau sama dengan 25 Mpa. Untuk kekuatan di atas 25 Mpa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap 1 MPa diatas 25 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = 0,85 \cdot 136,421 = 115,958 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{(c_b - d')}{c_b} \cdot \epsilon_{cu} < \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{136,421 - 34,0}{136,421} \cdot 0,003 < \frac{350}{200000}$$

$$= 0,00225 < 0,00175$$

Karena $0,00225 > 0,00175$, maka tulangan mencapai luluh ketika beton hancur.

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' = 200000 \cdot (0,00225)$$

$$= 450,463 \text{ Mpa}$$

$$f_s' > f_y \Leftrightarrow 450,463 > 350 \text{ Mpa}$$

$$P_{ub} = 0,65 \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y)$$

$$= 0,65 \cdot (0,85 \cdot 25 \cdot 192,95 \cdot 250 + 663,325 \cdot 450,463 - 663,325 \cdot 350)$$

$$\begin{aligned}
 &= 443732,824 / 1000 \\
 &= 443,733 > P_U \\
 &= 443,733 > 248,556 \dots\dots\dots(\text{AMAN})
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan Kekuatan Penampang

Digunakan persamaan empiris Whitney untuk penampang kolom persegi dengan hancur tekan menentukan.

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{(d - d')} + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,18} \\
 &= \frac{663,325 \cdot 350}{\frac{195,687}{(216,0 - 34,0)} + 0,5} + \frac{250 \cdot 250 \cdot 25}{\frac{3 \cdot 250 \cdot 200,533}{216^2} + 1,18} \\
 &= 144936,542 + 354824,09 \\
 &= 499760,629 \text{ N} \\
 &= 499,760629 \text{ kN} \\
 \phi P_{nb} &= 0,65 \cdot (499,761) > P_u \\
 &= 324,844 > 248,556 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{AMAN})
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa diatas, tulangan utama kolom K2 digunakan 5D13 pada masing-masing sisi kolom.

- Perhitungan tulangan sengkang kolom

Perhitungan tulangan sengkang kolom didasarkan kepada SK-SNI-T15-1991-03 Pasal 3.16.10 Ayat 5 dengan penjelasan berikut :

- c. Semua batang tulangan non-pratekan harus dilingkup dengan sengkang dan kait ikat lateral, paling sedikit ukuran D10
- d. Spasi vertikal dari sengkang dan kait ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang dan kait-ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tekan tersebut.

Sehingga dari penjelasan tersebut direncanakan :

Tulangan sengkang = 8 mm

Spasi vertikal atau jarak antar sengkang :

$16 \times D \text{ utama} = 16 \times 12\text{mm} = 192 \text{ mm}$

$48 \times D \text{ sengkang} = 48 \times 8\text{mm} = 384 \text{ mm}$

Dimensi terkecil kolom = 250 mm

Berdasarkan analisa diatas, tulangan sengkang kolom K2 digunakan D8-250 , $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$

3. Penulangan Kolom Lantai 1 (K1)

Data :

$P_{\text{total}} (\text{K1}) = 401,808 \text{ kN}$ $M_u = 52,603 \text{ kNm}$

Dimensi 25 x 30 cm Beton *decking* = 20 mm

$$e = M_U \cdot (10)^3 / P_U = 52,603 \cdot (10)^3 / 401,808 = 130,915 \text{ mm}$$

Direncanakan dengan :

$$\text{Dia. Tul. Utama} = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Dia. Tul. Sengkang} = 8 \text{ mm}$$

Berdasarkan SK-SNI-T-15-1991-03, jumlah luas penampang tulangan pokok memanjang kolom dibatasi dengan rasio penulangan (ρ_g) antara 1% s/d 8%. Maka untuk perencanaan kolom K3 digunakan $\rho_g = 1\%$

$$d' = t_{\text{decking}} + \frac{1}{2} D \text{ tul.} + \phi = 40 + (0,5 \cdot 12) + 8 = 34,0 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 300 - 34,0 = 266,0 \text{ mm}$$

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d} = 1\%$$

$$A_s = A_s' = 0,01 b \cdot d = 0,01 \cdot 300 \cdot 266,0 = 665,00 \text{ mm}^2$$

Dicoba dengan tulangan 6D13 pada masing-masing sisi kolom ($A_s = 795,990 \text{ mm}^2$)

$$\rho = \frac{795,990}{250 \times 266,0} = 0,0120$$

Pemeriksaan Pu Terhadap Beban Seimbang Pub

$$\begin{aligned} C_b &= (600 \cdot d) / (600 + F_y) \\ &= (600 \cdot 266) / (600 + 350) \\ &= 168,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan Pasal 3.3.2 ayat 7 SK-SNI-T-15-1991-03, faktor reduksi β_1 harus diambil sebesar 0,8 untuk kuat tekan f_c' hingga atau sama dengan 25 Mpa. Untuk kekuatan di atas 25 Mpa, β_1 harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap 1 MPa diatas 25 Mpa, tetapi β_1 tidak boleh diambil kurang dari 0,65

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b = 0,85 \cdot 168,0 = 142,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s' &= \frac{(c_b - d')}{c_b} \cdot \epsilon_{cu} < \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{168,0 - 34}{168,0} \cdot 0,003 < \frac{350}{200000} \\ &= 0,00239 < 0,0015 \end{aligned}$$

Karena $0,00239 > 0,0015$, maka tulangan mencapai luluh ketika beton hancur.

$$\begin{aligned} f_s' &= E_s \cdot \epsilon_s' = 200000 \cdot (0,00239) \\ &= 478,571 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$f_s' > f_y \Leftrightarrow 478,571 > 350 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} P_{ub} &= 0,65 \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_y) \\ &= 0,65 \cdot (0,85 \cdot 25 \cdot 142,8 \cdot 250 + 795,990 \cdot 478,571 - 795,990 \cdot 350) \\ &= 559628,271 / 1000 \\ &= 559,628 > P_U \end{aligned}$$

$$= 559,628 > 401,808 \dots\dots\dots(\text{AMAN})$$

Pemeriksaan Kekuatan Penampang

Digunakan persamaan empiris Whitney untuk penampang kolom persegi dengan hancur tekan menentukan.

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_s \cdot f_y}{\frac{e}{(d-d')} + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,18} \\ &= \frac{795,990 \cdot 350}{\frac{127,430}{(266-34)} + 0,5} + \frac{250 \cdot 300 \cdot 25}{\frac{3 \cdot 300 \cdot 130,915}{266^2} + 1,18} \\ &= 261767,924 + 659003,14 \\ &= 920771,078 \text{ N} \\ &= 920,771 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi P_{nb} &= 0,65 \cdot (920,771) > P_u \\ &= 598,501 > 401,808 \text{ kN} \dots\dots\dots(\text{AMAN}) \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa diatas, tulangan utama kolom K1 digunakan 6D13 pada masing-masing sisi kolom.

- Perhitungan tulangan sengkang kolom

Perhitungan tulangan sengkang kolom didasarkan kepada SK-SNI-T15-1991-03 Pasal 3.16.10 Ayat 5 dengan penjelasan berikut :

- e. Semua batang tulangan non-pratekan harus dilingkup dengan sengkang dan kait ikat lateral, paling sedikit ukuran D10

- f. Spasi vertikal dari sengkang dan kait ikat tidak boleh melebihi 16 kali diameter tulangan longitudinal, 48 kali diameter batang atau kawat sengkang dan kait-ikat, atau ukuran terkecil dari komponen struktur tekan tersebut.

Sehingga dari penjelasan tersebut direncanakan :

Tulangan sengkang = 10 mm

Spasi vertikal atau jarak antar sengkang :

$16 \times D \text{ utama} = 16 \times 12\text{mm} = 192 \text{ mm}$

$48 \times D \text{ sengkang} = 48 \times 8 \text{ mm} = 384 \text{ mm}$

Dimensi terkecil kolom = 250 mm

Berdasarkan analisa diatas, tulangan sengkang kolom K1 digunakan

D10-250 , $A_s = 201,1 \text{ mm}^2$

Tabel 4.15 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Lantai	Tipe Kolom	Dimensi	Tul. Utama	Tul. Sengkang
1.	K1	25 x 30	12D13	D8 – 250
2.	K2	25 x 25	10D13	D8 – 250
3.	K3	20 x 20	6D13	D8 – 250

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perhitungan Struktur Atas Pembangunan Gedung Berlantai 3 didesain dengan menggunakan pedoman-pedoman perhitungan gedung bertingkat. Secara garis besar, perhitungan struktur atas dari perhitungan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Atap

Jenis struktur untuk atap digunakan beton cor (pelat beton) dengan $f_c' 25$ Mpa dan $f_y 350$ MPa, dengan tebal plat atap 11 cm. Untuk penggunaan tulangan $\emptyset 10-200$ pada arah Lx dan penggunaan tulangan $\emptyset 10-250$ pada arah Ly.

2. Pelat

Jenis struktur untuk pelat lantai digunakan beton cor dengan $f_c' 25$ Mpa dan $f_y 350$ MPa, dengan tebal 11 cm. Untuk penggunaan tulangan $\emptyset 10-200$ pada arah Lx dan penggunaan tulangan $\emptyset 10-250$ pada arah Ly.

3. Balok

Semua tipe balok menggunakan $f_c' 25$ Mpa dan $f_y 350$ MPa, dimensi balok yang digunakan adalah 20/30, 20/40, dan 25/45. Tulangan balok yang digunakan adalah $\emptyset 8-150$, $\emptyset 8-200$ dan $\emptyset 8-250$ untuk tulangan

sengkang (begel) , serta D16 untuk tulangan pokok balok arah melintang dan untuk tulangan pokok balok arah memanjang.

4. Kolom

Semua tipe kolom menggunakan $f_c' 25$ Mpa dan $f_y 350$ MPa, dimensi kolom yang digunakan adalah 20/20, 25/25 dan 25/30. Tulangan kolom yang digunakan adalah adalah D8-250 untuk tulangan sengkang, dan D13 untuk tulangan pokok.

5.2 Saran

Beberapa saran dari penulis yang perlu diperhatikan dalam perhitungan suatu konstruksi struktur adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan struktur gedung tidak hanya berpedoman secara teori tetapi dipertimbangkan pula pada kondisi *real* di lapangan.
2. Kelengkapan data mutlak diperlukan dalam perhitungan suatu bangunan bertingkat, sehingga perhitungan bisa lebih mendekati kondisi sebenarnya.
3. Ikuti ketentuan dalam peraturan-peraturan perhitungan struktur, sehingga didapat nilai yang paling ekonomis.
4. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, maka dibutuhkan pemahaman yang menyeluruh tentang tahap-tahap dalam proses perhitungan, dan teori-teori yang didapat dibangku kuliah harus selalu dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim (2002). SNI 03-2847-2002. “Tata cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung”.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847- 2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 02-2052-2002 Baja Tulangan Beton*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI-2*. Bandung: Yayasan Badan Penerbit Departemen PU

Dipohusodo, Istiawan, 1994, *Struktur Beton Berdasarkan SK-SNI T 15-1991-03*, Jakarta; Gramedia Pustaka Utama.

Dipohusodo, Istimawan. 1996. “*Manajemen Proyek dan Konstruksi Jilid II*”. Yogyakarta: Kanisius.

Dipohusodo, Istimawan. 2002. “*Struktur Beton Bertulang*”. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

Gurki, J. Thambah Sembiring (2007). “*Beton Bertulang*”. Bandung. Rekayasa Sains.

Kusuma, Gideon, 1997, “*Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*”. Jakarta; Erlangga.

Mulyono, Tri (2005). “*Teknologi Beton*”. Yogyakarta. Andi Offset.

Nawi G. Edward. (1998). “*Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*”. Bandung: Penerbit PT. Rafika Aditama.

S. Barrie, Boyd C, Paulson, 1995, “*Manajemen Konstruksi*”, Jakarta; Erlangga.

Schuler, Wolfgang (1989). “*Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*”. Bandung. Eresco.

Soegihardjo & Soedibjo (1977). “*Ilmu Bangunan Gedung*”. Depdikbud. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan.

Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa. 1994, “*Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*”. PT Pradya Paramita, Semarang