

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Dari studi pustaka yang telah dilakukan oleh penulis, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang penulis lakukan seperti pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian dengan penelitian sebelumnya

No	Penelitian	Tahun	Bukti Terdaftar	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
					Terdahulu	Sekarang
	Nama Jurnal	Jurnal Teknik Sipil Vol. 7 No 1				
1	Universitas	Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya				
	Penulis	Moch. Chairul Munawar				
	Kajian Struktur Bangunan Gedung Politeknik Perkapalan ITS Dengan Sistem Pelat Dan Balok Biasa Konvensional Dibandingkan Sistem Struktur <i>Flat slab</i> Dengan <i>Drop panel</i> Ditinjau Dari Estetika, Biaya Dan Waktu	2014	ISSN: 1693-8259	Penelitian kuantitatif	Perencanaan Struktur menggunakan peraturan SNI 03-2847-2002 dan pada analisa struktur menggunakan <i>software</i> SAP 8.42 objek gedung politeknik perkapalan ITS	Perencanaan Struktur menggunakan SNI 03-2847-2013 dan pada analisa kedua struktur menggunakan metode yang sama yaitu metode langsung dengan objek kajian gedung Jogja <i>Apartment</i>

Tabel 2. 1 Lanjutan

No	Penelitian	Tahun	Bukti Terdaftar	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
					Terdahulu	Sekarang
	Nama Jurnal	Jurnal Teknik Sipil Vol. 6 No 1				
2	Universitas	Universitas Sumatera Utara				
	Penulis	Aulia Rahman Asy-Syifa dan Johannes Tarigan				
	Analisa <i>Flat slab</i> dengan Memakai <i>Drop panel</i> Kolom Persegi Dengan Variasi Pembebanan <i>Life Load</i>	2017		Penelitian kuantitatif	Penelitian ini menganalisis <i>flat slab-drop panel</i> kolom persegi dengan variasi pembebanan dengan menggunakan 2 model dengan ukuran luas bangunan yang berbeda	Penelitian ini membandingkan 2 sistem struktur yaitu sistem <i>flat slab - drop panel</i> dengan sistem balok pelat dengan metode yang sama.
No	Nama Jurnal	Jurnal Teknik Sipil Vol. 1 No 1				
3	Universitas	Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda				
	Penulis	Aloysius Hario Widhi Pratomo				
	Studi Efisiensi Penggunaan <i>Flat slab-drop panel</i> Terhadap Pelat Konvensional pada Gedung 5 Lantai	2018		Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan material antara sistem <i>flat slab-drop panel</i> dan pelat konvensional dengan metode portal ekuivalen.	Penelitian ini membandingkan sistem struktur <i>Flat slab-drop panel</i> dan sistem struktur balok pelat dengan segi biaya, waktu dan desain strukturnya dengan metode langsung.

Tabel 2. 1 Lanjutan

No	Penelitian	Tahun	Bukti Terdaftar	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
					Terdahulu	Sekarang
	Nama Jurnal	Jurnal Teknik Sipil Vol. 2 , No 1				
4	Universitas	Universitas Tarumanagara				
	Penulis	Handaya dan Arianti Sutandi				
	Perbandingan Slab dengan <i>Drop panel</i> dan Slab dengan Balok Ditinjau dari Volume Beton dan Biaya	2019	ISSN: 2622- 545X	Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini bertujuan mencari pebandingan antara Slab dengan <i>Drop panel</i> dan Slab dengan Balok dengan menghitung volume beton dan biaya beton.	Penelitian ini selain untuk mencari perbedaan dari segi biaya juga mencari perbedaan dari segi waktu pelaksanaan dan segi desain strukturnya
	Nama Jurnal	Jurnal Teknik Sipil Vol. 6 , No 1				
5	Universitas	Universitas Sumatera Utara				
	Penulis	Daniel Rumbi Teruna dan Stanley Prawira				
	Studi Perbandingan Penggunaan Flat Pelate dan <i>Flat slab</i> dengan <i>Drop panel</i> pada Struktur Bangunan Ditinjau dari Segi Volume.	2017		Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini membandingkan sistem struktur Flat Pelate dan <i>Flat slab-drop panel</i> dengan 4 jenis ukuran pelat dari segi volume	Penelitian ini membanding kan sistem struktur <i>Flat slab-drop panel</i> dan sistem struktur balok – pelat dari segi biaya , waktu dan desain strukturnya

Tabel 2. 1 Lanjutan

No	Penelitian	Tahun	Bukti Terdaftar	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
					Terdahulu	Sekarang
6	Nama Jurnal	International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET) Vol. 7 Issue 1				
	Universitas	Walchand College of Engineering, Sangli, Maharashtra, India				
	Penulis	Gaurav Ravindra Chavan dan S. N. Tande				
	Analysis and Design of <i>Flat slab</i>	2016	ISSN: 2278-621X	Penelitian kuantitatif	Penelitian ini menganalisis dan mendesain <i>flat slab</i> dengan menggunakan 2 metode yaitu finite element analysis dan Equivalent frame analysis dengan <i>software</i> SAFE	Penelitian ini membandingkan dua sistem struktur yaitu sistem <i>flat slab-drop</i> dan sistem balok pelat dengan menggunakan metode langsung.
7	Nama Jurnal	International Journal of Scientific Development and Research (IJSDR) Vol. 2 Issue 5				
	Universitas	M.S Bidve Engineering College, Latur, Maharashtra, India.				
	Penulis	Kaulkhere R.V dan Prof G. N. Shete				
	Analysis and Design of <i>Flat slab</i> with various shapes	2017	ISSN: 2455-2631	Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini menganalisis dan mendesain <i>flat slab-drop</i> dan <i>flat slab</i> tanpa <i>drop panel</i> dengan masing – masing ukuran yang menggunakan <i>software</i> ETABS 2015	Penelitian ini membandingkan dua sistem struktur yaitu sistem <i>flat slab-drop</i> dan sistem balok pelat dengan menggunakan metode langsung.

Tabel 2. 1 Lanjutan

No	Penelitian	Tahun	Bukti Terdaftar	Jenis Penelitian	Substansi Materi Penelitian	
					Terdahulu	Sekarang
8	Nama Jurnal	International Journal of Engineering Research and Applications Vol. 1 Issue 3				
	Universitas	YCCE, Nagpur-441110, Maharashtra, India				
	Penulis	Amit A. Sathawane dan R.S. Deotale				
	Analysis And Design Of <i>Flat slab</i> And Grid Slab And Their Cost Comparison	2011	ISSN: 2248- 9622	Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini menganalisis perbandingan dari segi biaya antara sistem <i>flat slab</i> dan grid slab	Penelitian ini menganalisis perbandingan selain dari segi biaya pelaksanaan tetapi juga dari segi waktu pelaksanaan dan desain strukturnya antara sistem balok-pelat dan <i>flat slab</i> – <i>drop panel</i>
No	Nama Jurnal	International Journal of Science and Research (IJSR) Vol. 4 Issue 7				
9	Universitas	Savitribai Phule University of Pune, Maharashtra, India				
	Penulis	R.S.More dan V. S. Sawant				
	Analysis of <i>Flat slab</i>	2015	ISSN: 2319- 7064	Penelitian Kualitatif	Penelitian ini menganalisa dan menjelaskan metode yang digunakan untuk mendesain <i>flat slab</i>	Penelitian ini menganalisa perbandingan sistem <i>flat slab-drop panel</i> dan sistem balok dengan pelat dari segi biaya, waktu, dan desain strukturnya.

Tabel 2. 1 Lanjutan

No	Nama Jurnal	International Journal of Science and Research (IJSR) Vol. 4 Issue 7				
10	Universitas	Savitribai Phule University of Pune				
	Penulis	R.S.More, V. S. Sawant dan Y. R. Suryawanshi				
	Analytical Study of Different Types of Flat slab Subjected to Dynamic Loading	2015	ISSN: 2319-7064	Penelitian Kuantitatif	Penelitian ini menganalisis tentang perbedaan perilaku flat slab terhadap beban dinamik, beban lateral jumlah lantai, zona dan keadaan tanah yang berbeda.	Penelitian ini menganalisis tentang perbedaan sistem flat slab – drop panel dan balok – pelat pada gedung dari biaya, waktu, dan desain strukturnya.

Dari 10 penelitian diatas ada 3 penelitian yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan penulis yaitu pertama pada penelitian yang dilakukan oleh Munawar (2014) dengan penelitiannya juga menganalisa perbandingan dari sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok yang dibandingkan dari aspek biaya dan waktu pelaksanaan. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil dimana sistem *flat slab* lebih murah dibandingkan dengan sistem pelat balok dan untuk waktu pelaksanaan sistem *flat slab* lebih cepat 1 hari dibandingkan dengan sistem pelat-balok. Perbedaan penelitian yang dilakukan tersebut dengan penelitian penulis adalah aturan SNI yang digunakan penelitian sebelumnya menggunakan aturan SNI 2847-2002 sedangkan penelitian sekarang menggunakan aturan SNI 2847-2013 dengan metode desain langsung, selain itu tipe dan luas objek kajian pada penelitian sekarang juga berbeda dimana tipe bangunan penelitian sebelumnya berupa sekolahan dengan luas denah pelat 1 lantai sebesar 519 m² sedangkan penelitian sekarang berupa apartemen dengan luas denah 1 lantai sebesar 2354 m².

Penelitian yang kedua yaitu penelitian yang dilakukan oleh Pratomo (2018), penelitiannya tersebut juga menganalisis efisiensi *flat slab-drop panel* terhadap pelat konvensional. Dari hasil penelitiannya didapat bahwa sistem *flat slab-drop*

panel memiliki volume beton yang justru lebih kecil dibandingkan dengan sistem pelat konvensional. Perbedaan penelitian yang dilakukan penulis dengan penelitian sebelumnya adalah pada penelitian sebelumnya menggunakan metode portal ekuivalen sedangkan penelitian sekarang menggunakan metode desain langsung. Selain itu pada penelitian sebelumnya hanya membandingkan dari segi volume beton saja sedangkan pada penelitian sekarang membandingkan dari segi biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan desain strukturnya.

Penelitian yang ketiga yaitu penelitian yang dilakukan oleh Handaya dan Sutandi (2019), pada penelitiannya membandingkan sistem *flat slab-drop panel* dan pelat-balok. Dari hasil penelitiannya didapat bahwa sistem *flat slab-drop panel* memiliki volume beton lebih besar dibandingkan dengan sistem pelat-balok. Perbedaan penelitian yang dilakukan penulis adalah pada penelitian sebelumnya dimensi *flat slab-drop panel* tidak didesain ulang dan dibandingkan dengan dimensi pelat dan balok yang dihitung menggunakan batasan-batasan *Preliminary Design For Construction*. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis sistem *flat slab-drop panel* dan sistem pelat-balok didesain ulang dengan pembebanan dan metode desain yang sama yaitu metode desain langsung. Perbedaan selanjutnya adalah penelitian sebelumnya hanya membandingkan dari segi volume beton dan biayanya saja, sedangkan pada penelitian penulis membandingkan dari segi biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan desain strukturnya.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Beban Struktur

Dalam mendesain suatu struktur bangunan ada tiga hal pokok yang harus diperhatikan yaitu struktur yang direncanakan harus kuat, tahan lama dan mudah dalam pengerjaannya. Struktur harus menjamin bahwa dibawah pembebanan yang terburuk konstruksi masih aman. Dalam memberikan pembebanan dalam perencanaan desain struktur ada beberapa acuan yang dapat digunakan antara lain:

- a. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013).
- b. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987).

Bangunan harus dirancang dan dibangun untuk dapat menahan segala kemungkinan jenis beban yang akan dialami bangunan tersebut. Ada beberapa jenis-jenis beban struktur seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

a. Beban Mati

Menurut PPURG 1987, beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Besarnya berat sendiri bahan bangunan dapat dilihat pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Berat sendiri bahan bangunan (PPURG,1987)

Baja	7.850 kg/m ³
Batu Alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton (¹)	2.200 kg/m ³
Beton bertulang (²)	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I) (³)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembap, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu belat, batu gunung	2.200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2.200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1.450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembap)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembap)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembap)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Tanah hitam	11.400 kg/m ³

Sedangkan nilai besarnya berat bahan dan komponen gedung dapat dilihat pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Bahan dan komponen gedung (PPURG,1987)

Adukan, per cm tebal :	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral tambahan, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding Pas. Bata merah :	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	11 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3 – 4 mm	10 kg/m ²
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5m dan jarak s.k.s minimum 0,8 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ²	50 kg/m ²
Bidang atap	
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m ²	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²
Catatan :	
(1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi	
(2) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan sendiri.	
(3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis kayu tertentu lihat Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia.	

b. Beban Hidup

Menurut PPURG 1987, beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Berat beban hidup pada lantai dapat dilihat pada Tabel 2. 4

Tabel 2. 4 Beban hidup pada lantai gedung (PPURG,1987)

No	Material	Berat	Keterangan
1.	Lantai dan tangga rumah tinggal	200 kg/m ²	kecuali yang disebut no.2
2.	Lantai & tangga rumah tinggal sederhana dan udang-gudang selain untuk toko, pabrik, bengkel	125 kg/m ²	
3.	Sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit	250 kg/m ²	
4.	Ruang olahraga	400 kg/m ²	
5.	Ruang dansa	500 kg/m ²	
6.	Lantai dan balkon dalam dari ruang pertemuan	400 kg/m ²	masjid, gereja, ruang pagelaran/rapat, bioskop dengan tempat duduk tetap
7.	Panggung penonton	500 kg/m ²	tempat duduk tidak tetap/penonton yang berdiri
8.	Tangga, bordes tangga dan gang	300 kg/m ²	no.3
9.	Tangga, bordes tangga dan gang	300 kg/m ²	no. 4, 5, 6, 7
10.	Ruang pelengkap	250 kg/m ²	no. 3, 4, 5, 6, 7
11.	Pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang alat dan mesin	400 kg/m ²	minimum
12.	Gedung parkir bertingkat:		
	-Lantai bawah	800 kg/m ²	
	-Lantai tingkat lainnya	400 kg/m ²	
13.	Balkon menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan	300 kg/m ²	minimum

c. Beban Angin

Menurut PPURG 1987, beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (hisap) yang tegak lurus pada bisang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif yang dinyatakan dalam kg/m^2 ini ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup dengan koefisien-koefisien angin. Tekan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 , kecuali untuk daerah di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari tepi pantai. Pada daerah tersebut tekanan hisap diambil minimum 40 kg/m^2 .

d. Beban Gempa

Menurut PPURG 1987, beban gempa ialah semua beban statik ekivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan gempa ini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

e. Kombinasi Pembebanan

Keadaan paling berbahaya (maksimum) harus dijadikan acuan dalam perencanaan pembebanan. Berdasarkan SNI 2847-2013 kombinasi pembebanan yang digunakan sebagai berikut:

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2. 1)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2. 2)$$

$$U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \dots\dots\dots (2. 3)$$

$$U = 1,2 D + 1 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2. 4)$$

$$U = 1,2 D + 1 E + 1 L \dots\dots\dots (2. 5)$$

$$U = 0,9 D + 1 W \dots\dots\dots (2. 6)$$

$$U = 0,9 D + 1 E \dots\dots\dots (2. 7)$$

Dari persamaan kombinasi diatas, jika semakin banyak kombinasi yang digunakan maka semakin bagus perencanaan, karena memperhitungkan jenis beban yang lebih banyak artinya memperhitungkan segala kemungkin beban yang diterima oleh struktur yang didesain.

2.2.2. Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*)

Menurut More *at al* (2015) ada beberapa metode yang bisa digunakan dalam mendesain *flat slab* yaitu *Direct Design Method* (DDM), *Equivalent Frame Method* (EFM), dan *Finite Element Method* (FEM).

Menurut Setiawan (2016), Metode Desain Langsung (*Direct Design Method*) adalah prosedur pendekatan untuk analisis dan desain pelat dua arah. Metode ini dibatasi untuk sistem pelat yang dibebani oleh beban merata, serta tertumpu oleh kolom-kolom dalam jarak yang sama atau hampir sama. Metode desain langsung ini menggunakan sejumlah koefisien untuk menentukan besarnya momen rencana pada lokasi kritis.

Metode desain langsung adalah metode yang sangat sederhana dan terukur untuk analisis flat slab. Dalam metode ini momen total (M_o) dihitung dan kemudian didistribusikan ke momen negatif dan momen positif. Semua momen negatif dan positif didistribusikan di lajur kolom dan lajur tengah (Chavan dan tande, 2016).

Pada penelitian ini kedua jenis pelat yaitu jenis *flat slab-drop panel* dan pelat-balok didesain menggunakan metode ini.

- a. Batasan-batasan metode desain langsung berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 13.6.11 :
 - 1) Minimum harus ada tiga bentang menerus dalam masing-masing arah.
 - 2) Panel pelat harus berbentuk persegi dengan rasio antara bentang yang lebih panjang terhadap bentang yang lebih pendek tidak lebih dari 2.
 - 3) Panjang bentang yang berurutan pusat ke pusat tumpuan dalam masing-masing tidak boleh berbeda dengan lebih dari sepertiga bentang yang lebih panjang.
 - 4) Pergeseran (*offset*) kolom maksimum sebesar 10 persen dari bentangnya (dalam arah pergeseran) dari sumbu antara garis-garis pusat kolom yang berurutan diizinkan.
 - 5) Semua beban harus akibat gravitasi saja dan didistribusikan merata pada panel keseluruhan. Beban hidup tak terfaktor tidak boleh melebihi 2 kali beban mati tak terfaktor.

- 6) Untuk suatu panel pelat dengan balok di antara tumpuan pada semua sisinya, persamaan 2. 8 harus dipenuhi untuk balok dalam dua arah yang tegak lurus.

$$0,2 \leq \frac{\alpha_1 \ell_2^2}{\alpha_2 \ell_1^2} \leq 0,5 \dots\dots\dots (2. 8)$$

dimana α_1 dan α_2 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} I_b}{E_{cs} I_{s1}} \dots\dots\dots (2. 9)$$

Keterangan :

α_1 = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat dalam arah l_1 .

α_2 = Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat dalam arah l_2 .

E_{cb} = Modulus elastisitas beton balok.

E_{cs} = Modulus elastisitas beton balok.

b. Momen statis terfaktor total

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.2, jumlah mutlak momen terfaktor positif dan negative dalam setiap arah tidak kurang dari persamaan berikut:

$$M_o = \frac{1}{8} Q_u L_2 L_n^2 \dots\dots\dots (2. 10)$$

Dengan nilai Q_u dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L \dots\dots\dots (2. 11)$$

Keterangan :

M_o = Momen statis terfaktor total (kNm)

L_n = Bentang bersih dalam arah momen-momen yang ditentukan dengan syarat nilai L_n tidak boleh kurang dari $0,65L_2$ (m)

L_2 = Panjang bentang dari pusat ke pusat dari tumpuan dalam (m)

Q_u = Berat terfaktor total per satuan luas (kN/m^2)

c. Momen terfaktor negatif dan positif

Berdasarkan SNI 2847-2103 pasal 13.6.3, momen terfaktor negatif harus terletak pada muka tumpuan persegi. Pendukung bulat atau berbentuk polygon harus diperlakukan sebagai tumpuan bujur sangkar dengan luas

yang sama. Pada bentang interior, momen statis total, M_o , harus didistribusikan sebagai berikut :

- 1) Momen terfaktor negatif , $0,65 M_o$
- 2) Momen terfaktor positif, $0,35 M_o$

Pada bentang ujung, momen statis terfaktor total, M_o , harus didistribusikan seperti Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Distribusi momen total terfaktor (SNI 2847-2013)

	Tepi eksterior tak-terkekang	Slab dengan balok diantara semua tumpuan	Slab tanpa balok diantara tumpuan interior		Tepi eksterior tak terkekang penuh
			Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
Momen terfaktor negatif interior	0,75	0,70	0,7	0,7	0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,5	0,35
Momen terfaktor negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,3	0,65

d. Momen terfaktor pada lajur kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.4 nilai koefisien momen rencana negatif interior dan momen rencana eksterior pada lajur kolom didapat dari Tabel 2. 6 dan Tabel 2. 7.

Tabel 2. 6 Persentase Momen Rencana Negatif Interior yang Ditahan oleh Lajur Kolom (SNI 2847-2013)

l_2/l_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	90	75	45

Tabel 2. 7 Persentase Momen Rencana Negatif Eksterior yang Ditahan oleh Lajur Kolom (SNI 2847-2013)

l_2/l_1		0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 l_2/l_1) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	75	75	75
$(\alpha_1 l_2/l_1) \geq 1$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t \geq 2,5$	90	75	45

Interpolasi linier harus dilakukan antara nilai-nilai yang ditunjukkan dimana nilai dapat dihitung dalam persamaan sebagai berikut:

$$\beta_f = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} \dots\dots\dots (2. 12)$$

Dengan nilai C dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$C = \sum \left((1 - 0,63 \frac{x}{y}) \right) \frac{x^3 y}{3} \dots\dots\dots (2. 13)$$

Untuk nilai koefisien momen rencana positif pada lajur kolom dapat dilihat pada Tabel 2. 8.

Tabel 2. 8 Persentase Momen Rencana Positif yang Ditahan oleh Lajur Kolom (SNI 2847-2013)

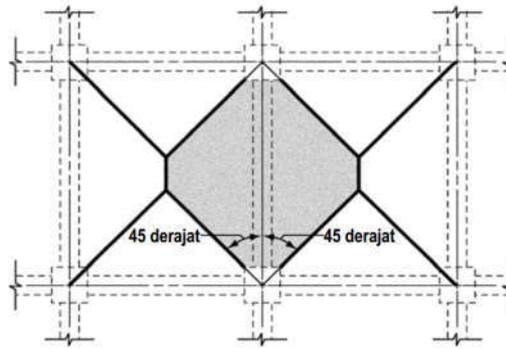
ℓ_2/ℓ_1	0,5	1,0	2,0
$(\alpha_1 \ell_2/\ell_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha_1 \ell_2/\ell_1) \geq 1$	90	75	45

e. Momen terfaktor pada balok

Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.5 balok di antara tumpuan harus diproporsikan untuk menahan 85 persen momen lajur kolom bila $\alpha_1 \ell_2/\ell_1 \geq 1$. Untuk nilai $\alpha_1 \ell_2/\ell_1$ antara 1 dan nol, proporsi momen lajur kolom yang ditahan oleh balok harus diperoleh dengan interpolasi linier antara 85 dan nol persen.

f. Geser terfaktor pada sistem pelat dan balok

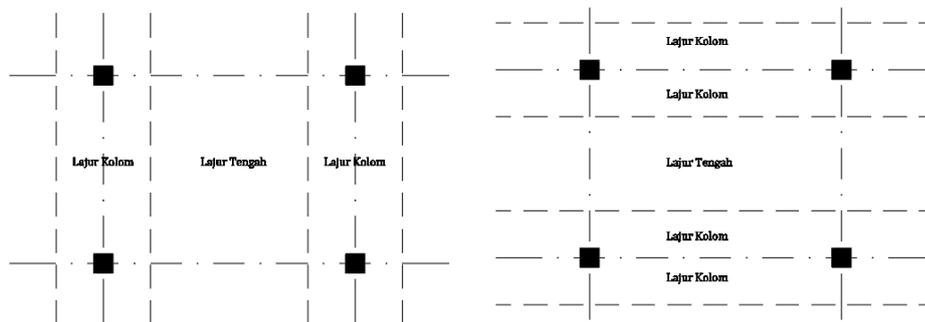
Menurut SNI 2847-2013 pasal 13.6.8.1 balok dengan nilai $\alpha_1 \ell_2/\ell_1 \geq 1$ harus diproporsikan untuk menahan geser yang diakibatkan oleh beban terfaktor pada daerah tributari yang dibatasi oleh garis 45 derajat yang ditarik dari sudut-sudut panel dan garis-garis pusat panel-panel bersebelahan yang sejajar dengan sisi panjangnya. Untuk gambar daerah *tributary* dapat dilihat pada Gambar 2. 1.



Gambar 2. 1 Daerah tributari untuk geser pada balok (SNI 2847-2013)

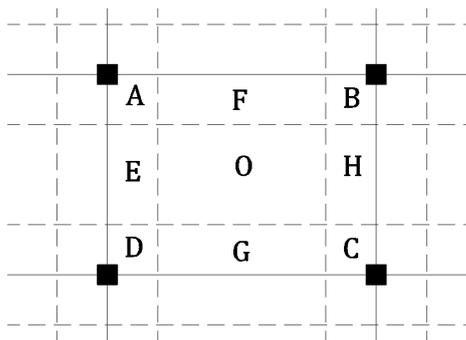
g. Lajur kolom dan lajur tengah

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 13.2.1, lajur kolom adalah suatu lajur rencana dengan lebar pada masing-masing sisi sumbu kolom sebesar nilai yang terkecil antara $0,25l_1$ dan $0,25l_2$, termasuk balok didalamnya jika ada. Sedangkan lajur tengah adalah lajur yang terbentuk diantara dua buah lajur kolom. Lajur kolom dan lajur tengah dapat dilihat pada Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Lajur kolom dan lajur tengah

Menurut Setiawan (2016), jika suatu pelat dua arah yang ditopang oleh kolom A, B, C, dan D seperti terlihat pada Gambar 2. 3, apabila pelat dibebani secara merata, maka pelat akan mengalami lendutan dalam kedua arah arah, dengan lendutan terbesar terjadi di tengah pelat, pada daerah O. Bagian O, E, F, G, dan H mengalami momen positif, sedangkan daerah sekitar kolom akan mengalami momen negatif maksimum.



Gambar 2. 3 Daerah momen pada pelat dua arah

2.2.3. Sistem Struktur *Flat slab – Drop panel*

Menurut Munawar (2014), *flat slab-drop panel* adalah sistem pelat beton bertulang yang langsung ditumpu oleh kolom-kolom tanpa adanya balok di sepanjang garis kolom dalam, namun untuk balok tepi luar boleh ada atau tidak sesuai dengan kebutuhan.

Perancangan dan perilaku struktur *flat slab* terbukti baik untuk menerima beban gravitasi. Tetapi ada kekurangan dari struktur *flat slab* yaitu dalam menerima beban lateral (gempa) yang belum terbukti ketepatan dan keakuratannya (Burhanuddin dkk., 2018)

Kekurangan lain dari sistem struktur flat slab ini yaitu berupa resiko keruntuhan *punching shear* yang sering terjadi didaerah sekitar sambungan pelat-kolom (Kurniawan dkk., 2014)

Lubis dan Sitorus (2019) mengatakan pada perencanaan bangunan tinggi yang tidak menggunakan balok, geseran merupakan pertimbangan kritis terutama pada bagian pertemuan antara pelat dan kolom. Apabila bagian pertemuan pada struktur tersebut tidak kuat, maka kolom-kolom penyangga pada pelat akan memberikan tekanan pons yang hendak menembus pelat ke atas yang dapat mengakibatkan timbulnya tegangan geser cukup besar pada area sekitar kolom yang dapat menimbulkan keruntuhan pons. Keruntuhan pons ditandai dengan timbulnya retak-retak pada pelat atau bahkan tertembus oleh kolom. Antisipasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi keruntuhan pons ini adalah dengan memberikan perkuatan geser yang cukup pada daerah pertemuan antara pelat dan kolom yaitu dengan pemasangan *drop panel* seperti terlihat pada Gambar 2. 4.



Gambar 2. 4 Struktur *Drop panel*

Dalam beberapa kondisi, bagian *drop panel* diperbesar untuk meningkatkan garis keliling bagian kritis untuk gaya geser sehingga meningkatkan kapasitas pelat untuk menahan geser dua arah dan mengurangi momen lentur negatif di sekitar kolom (Sathawane dan Deotale, 2011).

Menurut Kaulkhere dan Shete (2017), *flat slab* cocok digunakan untuk beban yang besar dan bentang yang panjang, karena mempunyai kapasitas yang besar dalam menahan geser dan momen disekitar kolom. Dengan ketebalan pelat bervariasi dari 125 mm hingga 300 mm untuk rentang 4 hingga 9 m.

Menurut Asroni (2010), ada beberapa keuntungan jika menggunakan sistem *flat slab* yaitu fleksibilitasnya terhadap tata ruang; waktu pengerjaannya relatif lebih pendek, hal ini dapat dilihat dari proses pembuatan bekisting pelat yang langsung dapat dibuat merata secara keseluruhan tanpa harus membuat bekisting balok baloknya terlebih dahulu; kemudahan dalam pemasangan instalasi mekanikal dan elektrik; menghemat tinggi bangunan (tinggi ruang bebas lebih besar dikarenakan tidak adanya pengurangan ketinggian akibat balok dan komponen pendukung struktur lainnya); pemakaian tulangan pelat bisa dengan tulangan fabrikasi (*welded wire mesh*).

Perancangan dan perilaku struktur *flat slab* terbukti baik untuk menerima beban gravitasi. Tetapi ada kekurangan dari struktur *flat slab* yaitu dalam menerima beban lateral (gempa) yang belum terbukti ketepatan dan keakuratannya (Burhanuddin dkk., 2018).

Salah satu kelemahan dari sistem *flat slab* dengan *drop panel* adalah tentang daktilitas struktur, karena sistem struktur *flat slab* mempunyai parameter aktual daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem struktur balok kolom karena jumlah sendi plastis yang terjadi di *flat slab* lebih sedikit dibandingkan dengan

sistem struktur balok kolom. Hal ini menyebabkan proses disipasi energi (penyerapan energi gempa) pada sistem struktur flat slab lebih terbatas bila dibandingkan dengan balok kolom (Dewi dan Sudrajat, 2007).

a. Syarat desain *drop panel*

Drop panel merupakan penambahan tebal pelat di dalam daerah kolom yang berfungsi sebagai penahan gaya geser utama yang menjadi bidang kontak antara pelat dan kolom (Constantine dkk., 2019).

Menurut SNI 2847-2013 pada pasal 13.2.5 dan pasal 13.3.7, bila digunakan penebalan setempat untuk mereduksi jumlah tulangan momen negatif di daerah kolom maka dimensi penebalan panel setempat harus sesuai dengan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Penebalan panel setempat disediakan pada kedua arah dari pusat tumpuan sejarak tidak kurang dari seperenam jarak pusat ke pusat tumpuan pada arah yang ditinjau.
- 2) Tebal penebalan panel setempat tidak boleh kurang dari seperempat tebal pelat diluar daerah penebalan panel setempat
- 3) Pada perhitungan tulangan pelat yang diperlukan, tebal penebalan pelat panel setempat tidak boleh diambil lebih dari seperempat jarak dari tepi panel setempat ke tepi kolom atau tepi kepala kolom.

b. Tebal minimum *flat slab*

Tebal pelat dan kebutuhan tulangan pada sistem *flat slab* dihitung berdasarkan nilai-nilai ultimit gaya dalam hasil analisis struktur. Tulangan yang akan dirancang harus kuat untuk menahan besarnya momen positif dan momen negatif, sehingga terdapat dua bagian perancangan yaitu perancangan tulangan momen positif dan tulangan momen negatif (Dian dkk., 2018)

Menurut SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.2 menyatakan bahwa untuk pelat tanpa balok interior yang menghubungkan tumpuan-tumpuannya dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2, tebal minimum harus memenuhi nilai pada Tabel 2. 9 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut ini :

- 1) Tanpa *drop panel* : 125 mm
- 2) Dengan *drop panel* : 100 mm

Tabel 2. 9 Tebal minimum pelat tanpa balok interior (SNI 2847-2013)

	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		interior Panel
Tegangan leleh, f_y Mpa	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

*Untuk konstruksi dua arah, ℓ_n adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain

*Untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

*Panel drop didefinisikan dalam SNI 2847-2013 pasal 13.2.5.

*Pelat dengan balok diantara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior, Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

c. Penulangan lentur flat slab

Setelah nilai momen nominal untuk lajur kolom dan lajur tengah diketahui dengan menggunakan perhitungan metode desain langsung langkah selanjutnya adalah merencanakan penulangan lentur pelat. Penulangan lentur pelat dihitung sebagai berikut :

- 1) Menghitung nilai A_s dari persamaan momen nominal

Nilai A_s dihitung dengan menaksir nilai lengan momen $(d - \frac{1}{2} a) = 0,9d$

$$M_n = A_s \cdot f_y \left(d - \frac{1}{2} a \right) \dots\dots\dots (2. 14)$$

Dengan nilai tinggi efektif penampang yang diukur dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal dengan persamaan berikut:

$$d = \text{tinggi pelat} - t.\text{selimut} - \frac{1}{2}. \text{ diameter tulangan} \dots\dots\dots (2. 15)$$

Nilai a (tinggi blok tegangan) dihitung dengan persamaan berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots (2. 16)$$

- 2) Menghitung batasan tulangan minimum dan tulangan maksimum

Batasan tulangan minimum diberikan agar tulangan yang digunakan tidak terlalu sedikit atau rasio tulangan tidak terlalu kecil maka diberikan syarat

$$A_s \geq A_{s \min} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\min} \dots \dots \dots (2. 17)$$

Dengan nilai $A_{s \min}$ dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A_{s \min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2. 18)$$

dengan nilai ρ_{\min} dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots \dots \dots (2. 19)$$

Agar penampang beton dapat mendekati keruntuhan seimbang diberikan syarat batasan tulangan maksimum :

$$A_s \geq A_{s \min} \text{ atau } \rho \geq \rho_{\min} \dots \dots \dots (2. 20)$$

Dengan nilai $A_{s \max}$ dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A_{\max} = \rho_{\max} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2. 21)$$

dan nilai ρ_{\max} dihitung dengan persamaan seperti berikut ini :

$$\rho_{\max} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{(600 + f_y) f_y} \dots \dots \dots (2. 22)$$

3) Menentukan tulangan yang akan didesain

Sebelum menentukan tulangan yang akan digunakan cek rasio tulangan sudah memenuhi syarat

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} \dots \dots \dots (2. 23)$$

jika nilai $\rho < \rho_{\min}$, maka digunakan nilai ρ_{\min}

Setelah nilai ρ ditentukan maka dapat menghitung luas tulangan yang diperlukan dengan persamaan berikut:

$$A_{s, \text{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2. 24)$$

Perhitungan jarak tulangan pada pelat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$s = \frac{A_{s \text{ tul}} \cdot 1000}{A_{s, \text{perlu}}} \dots \dots \dots (2. 25)$$

dengan nilai jarak maksimum, $s_{\max} = 2 \cdot h$

Setelah diameter tulangan dan jarak tulangan ditentukan, kemudian hitung luas tulangan yang digunakan dengan persamaan berikut :

$$A_{s \text{ pakai}} = n \times 0,25 \times \pi \times D^2 \dots \dots \dots (2. 26)$$

Pastikan luas tulangan yang digunakan memenuhi persyaratan penulangan berikut :

$$A_s \text{ min} < A_s \text{ pakai} < A_s \text{ maks} \dots \dots \dots (2. 27)$$

d. Kuat geser beton pada flat slab-drop panel

Besarnya gaya geser beton pada keruntuhan geser pada sistem *flat slab-drop panel* ditentukan dari nilai terkecil persamaan berikut:

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{6} \dots \dots \dots (2. 28)$$

$$V_{c2} = \left(\frac{a_s \times d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d}{12} \dots \dots \dots (2. 29)$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b_o \cdot d \dots \dots \dots (2. 30)$$

e. Desain penulangan serat bawah *drop panel*

Serat bawah *drop panel* akan diberikan tulangan susut dan rangkai sesuai dengan SNI-2847-2013 Pasal 7.12. Tulangan akan diberikan terhadap arah x maupun y dengan rasio penulangan terhadap luas *drop panel* sebesar 0,0018. Dengan jarak antar tulangan tidak lebih dari 450 mm.

f. Lentutan izin

Peraturan SNI-2847-2013 memberikan syarat lentutan maksimum dari komponen struktur lentur akibat dari pembebanan yang terjadi. Adapun syarat-syarat lentutan izin yang dimaksud seperti pada Tabel 2. 10.

Tabel 2. 10 Lentutan izin maksimum (SNI 2847-2013)

Jenis komponen struktur	Lentutan yang diperhitungkan	Batas lentutan
Atap datar yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup L	$l/180^*$
Lantai yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lentutan yang besar	Lentutan seketika akibat beban hidup L	$l/360$

Tabel 2. 10 Lanjutan

Jenis komponen struktur	Lendutan yang diperhitungkan	Batas Lendutan
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ⁺	$l/480\Delta$
Konstruksi atap atau lantai yang menumpu atau disatukan dengan komponen nonstruktural yang mungkin tidak akan rusak oleh lendutan yang besar	Bagian dari lendutan total yang terjadi setelah pemasangan komponen nonstruktural (jumlah dari lendutan jangka panjang, akibat semua beban tetap yang bekerja, dan lendutan seketika, akibat penambahan beban hidup) ⁺	$l/240\text{\textcircled{S}}$

*Batasan ini tidak dimaksudkan untuk mencegah kemungkinan penggenangan air. Kemungkinan penggenangan air harus diperiksa dengan melakukan perhitungan lendutan, termasuk lendutan tambahan akibat adanya penggenangan air tersebut, dan mempertimbangan pengaruh jangka panjang dari beban yang selalu bekerja, lawan lendut (camber), toleransi konstruksi, dan keandalan sistem draenase.

⁺Lendutan jangka panjang harus dihitung berdasarkan ketentuan SNI-2847-2013 Pasal 9.5.2.5 atau Pasal 9.5.4.3, tetapi boleh dikurangi dengan nilai lendutan yang terjadi sebelum penambahan komponen nonstruktural. Besarnya nilai lendutan ini harus ditentukan berdasarkan data teknis yang dapat diterima berkenaan dengan karakteristik hubungan waktu dan lendutan dari komponen struktur yang serupa dengan komponen struktur yang ditinjau.

^{\Delta} Batasan lendutan boleh dilampui bila langkah pencegah kerusakan terhadap komponen yang ditumpu atau yang disatukan telah dilakukan.

^{\textcircled{S}}Batas lendutan tidak boleh lebih besar dari toleransi yang disediakan untuk komponen non struktur. Batasan ini boleh dilampui bila ada lawan lendut yang disediakan sedemikian hingga lendutan total dikurangi lawan lendut tidak melebihi batas lendut yang ada.

2.2.4. Sistem Struktur Pelat-balok

Sistem pelat-balok merupakan sistem pelat yang sering digunakan, kuat dan sering digunakan untuk menunjang lantai yang tidak beraturan. Sistem pelat ini bertumpu pada balok-balok. Pelat bersifat sangat kaku dan arahnya horizontal, sehingga pada bagian gedung, plat berfungsi sebagai pengaku horizontal yang bermanfaat mendukung ketegaran balok portal (Kembuan dkk., 2018)

Sistem ini terdiri atas pelat dengan balok beton bertulang yang dicor ditempat secara monolit. Beban terpusat yang besar juga dapat dipikul apabila bekerja langsung di atas balok. Pada sistem ini selalu digunakan kolom sebagai penumpu vertikal.

a. Tebal pelat minimum

Untuk pelat dengan balok yang membentang diantara tumpuan pada semua sisinya, berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 9.5.3.3 tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk a_m yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan persyaratan tebal minimum pelat tanpa balok seperti yang sudah dijelaskan diatas.
- 2) Untuk a_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2, h tidak boleh kurang dari persamaan 2. 31.

$$h = \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 5\beta(a_m - 0,2)} l_n \geq 125 \text{ mm} \dots\dots\dots (2. 31)$$

- 3) Untuk a_m lebih besar dari 2 ketebalan minimum tidak boleh kurang dari persamaan 2. 32.

$$h = \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} l_n \geq 90 \text{ mm} \dots\dots\dots (2. 32)$$

Keterangan :

a_m = Nilai rata-rata kekakuan balok dengan pelat untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel.

β = Rasio bentang bersih dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah

l_n = Panjang bentang bersih dalam arah memanjang

b. Penulangan lentur pelat

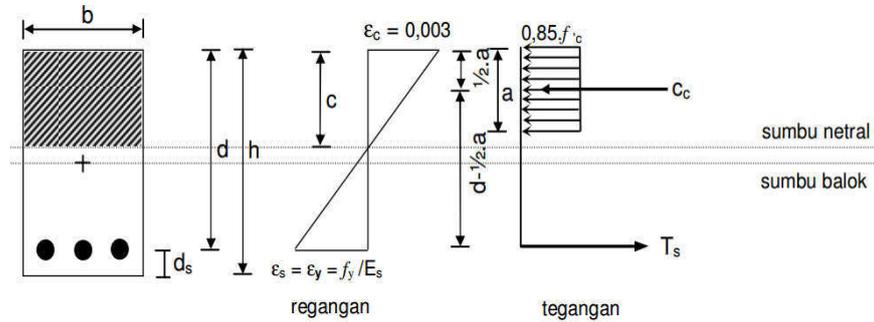
Penulangan lentur pada pelat sama dengan penulangan lentur pada flat slab. Untuk penulangan lentur pada flat slab dapat dilihat pada sub bab 2.2.3. pada poin c.

c. Perencanaan tulangan lentur balok

Perencanaan balok diusahakan untuk dapat masuk pada kondisi *underreinforced design* yaitu kondisi yang terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi seimbang. Keruntuhan ditandai dengan lelehnya tulangan baja. Regangan baja melebihi regangan lelehnya (Dipohusodo, 1999).

Balok dapat dirancang menggunakan dua kondisi, yaitu menggunakan tulangan tunggal maupun tulangan rangkap. Saat melakukan perancangan, balok dibuat menggunakan tulangan tunggal dan bila terdapat kekurangan

kemampuan untuk menahan beban yang diterima balok, maka balok dapat dibuat menggunakan tulangan rangkap (Setiawan, 2016).



Gambar 2. 5 Diagram regangan dan tegangan balok

$$C_c = T_s \dots \dots \dots (2. 33)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b \dots \dots \dots (2. 34)$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = A_s \cdot f_y \dots \dots \dots (2. 35)$$

$$c_b = 0,003 \cdot d / (0,003 + \epsilon_s) \dots \dots \dots (2. 36)$$

$$\epsilon_s = f_y / E_s \dots \dots \dots (2. 37)$$

$E_s = 200.000 \text{ MPa}$, maka :

$$c_b = 600 \cdot d / (600 + f_y) \dots \dots \dots (2. 38)$$

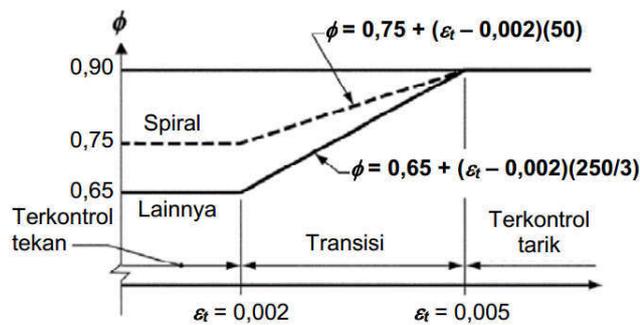
$$a_b = \beta_1 \cdot C_b \dots \dots \dots (2. 39)$$

Koefisien β_1 ,

Untuk $17 \leq f'_c \leq 28 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85$

Untuk $f'_c > 28 \text{ MPa}$ maka $\beta_1 = 0,85 - 0,05 (f'_c - 28) / 7$ dan $\beta_1 \geq 0,65$

Untuk kapasitas lentur, elemen struktur balok direduksi menggunakan faktor reduksi sesuai grafik pada SNI 2847-2013 berikut ini :



Gambar 2. 6 Grafik faktor reduksi (SNI 2847-2013)

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam desain tulangan balok bertulang rangkap :

- 1) Menghitung rasio tulangan seimbang (ρ_b) dan rasio tulangan maksimum (ρ_{maks}) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.40)$$

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y / Es}{0,008} \right) \rho_b \dots\dots\dots (2.41)$$

- 2) Menghitung $R_{u\ maks}$ menggunakan ρ_{maks} ($\phi = 0,9$)

$$R_{u\ maks} = \phi \rho_{maks} \times f_y \left(1 - \frac{\rho_{maks} \cdot f_y}{1,7 f'_c} \right) \dots\dots\dots (2.42)$$

- 3) Menghitung kuat momen rencana balok bertulangan tunggal (M_{u1}), menggunakan ρ_{maks} dan $R_{u\ maks}$.

$$M_{u1} = R_{u\ maks} b d^2 \dots\dots\dots (2.43)$$

Jika $M_{u1} < M_u$, maka diperlukan tulangan tekan dan dilanjutkan ke perhitungan selanjutnya.

Jika $M_{u1} > M_u$, maka tidak perlu dipasang tulangan tekan, Gunakan persamaan berikut untuk mencari ρ :

$$\rho = \frac{f'_c}{f_y} \left(0,85 - \sqrt{0,85^2 - Q} \right) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$Q = \left(\frac{1,7}{\phi f'_c} \right) \frac{M_u}{b d^2} \dots\dots\dots (2.45)$$

Kemudian untuk mencari nilai A_s menggunakan persamaan berikut:

$$A_s = \rho b d \dots\dots\dots (2.46)$$

- 4) Menghitung kuat momen rencana yang dipikul oleh tulangan tekan (M_{u2})

$$M_{u2} = M_u - M_{u1} \dots\dots\dots (2.47)$$

- 5) Menghitung nilai A_{s1} , A_{s2} dan luas tulangan Tarik (A_s).

$$A_{s1} = \rho_{maks} b d \dots\dots\dots (2.48)$$

$$A_{s2} = \frac{M_{u2}}{\phi f_y (d - d')} \dots\dots\dots (2.49)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots (2. 50)$$

- 6) Periksa tulangan tekan dan tarik sudah leleh.

Tegangan pada tulangan tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon_s = 0,003 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \dots\dots\dots (2. 51)$$

Jika nilai $\varepsilon_s > \varepsilon_y = f_y/E_s$ maka tulangan tekan sudah leleh sehingga luas tulangan tekan, $A_s' = A_{s2}$

Regangan tulangan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon_t = 0,003 \left(\frac{d - c}{c} \right) \dots\dots\dots (2. 52)$$

Jika nilai $\varepsilon_t \geq 0,005$ maka tulangan tarik sudah leleh

- 7) Pilih tulangan yang akan digunakan sebagai luas tulangan tarik (A_s) dan luas tulangan tekan (A_s') yang mencukupi lebar balok. Pada beberapa kondisi A_s dapat disusun dua baris.

- 8) Periksa bahwa $(\rho - \rho') < \rho_{maks}$

Jika $(\rho - \rho') < \rho_{maks}$ artinya penampang pada kondisi terkendali tarik dengan nilai $\phi = 0,9$

- 9) Periksa $\phi M_n > M_u$ dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\phi M_n = \phi \left[(A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right] \dots\dots\dots (2. 53)$$

d. Perancangan tulangan geser balok

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.1.1 dasar untuk perhitungan tulangan geser seperti persamaan berikut :

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (2. 54)$$

$$\phi = 0,75$$

Dimana V_u adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau dan adalah kuat geser nominal yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2. 55)$$

V_c adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton dan adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

Pada perancangan, yang dihitung adalah jumlah tulangan geser yang diperlukan sehingga yang dicari adalah V_s . Akan tetapi, pada Pasal 11.4.7.9., kuat geser V_s tidak boleh melebihi kuat geser maksimum $V_{s maks}$, yaitu dirumuskan pada persamaan berikut :

$$V_{s maks} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{3} b_w d \quad \dots\dots\dots (2. 56)$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1. untuk komponen struktur non prategang yang hanya dibebani oleh geser dan lentur berlaku:

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots\dots\dots (2. 57)$$

dengan $\lambda = 1$ untuk penggunaan beton normal sesuai Pasal 8.6.1.

Kekuatan geser sengkang dapat dihitung dengan menggunakan Pasal 11.4.7.2. sebagai berikut:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots (2. 58)$$

$$S_{perlu} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \dots\dots\dots (2. 59)$$

$$V_r = \phi (V_s + V_c) \dots\dots\dots (2. 60)$$

Keterangan :

V_u = Gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau (kN)

V_r = Kuat geser tereduksi (kN)

A_v = Luas tulangan geser tegak lurus dengan tulangan lentur tarik (mm^2)

f_y = Kuat leleh baja (Mpa)

s = Jarak dari serat tekan beton terluar ke titik berat tulangan (mm)

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam desain tulangan geser balok:

- 1) Menghitung nilai kuat geser beton (V_c) dengan persamaan 2. 57
- 2) Menghitung nilai tahanan geser beton (ϕV_c) dengan nilai faktor reduksi kekuatan geser, $\phi = 0,75$
- 3) Menghitung nilai tulangan geser sengkang (ϕV_s), dengan persamaan berikut:

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c \dots\dots\dots (2. 61)$$

- 4) Luas tulangan geser sengkang (A_v), dengan menggunakan persamaan berikut :

$$A_v = n \times \pi/4 \times D^2 \dots \dots \dots (2. 62)$$

- 5) Jarak sengkang yang diperlukan (S_1), dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S_1 = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \dots \dots \dots (2. 63)$$

- 6) Jarak sengkang maksimum (S_{maks}) diambil dari nilai minimal antara S_2 dan S_3 , nilai S_2 dihitung dengan memperhitungkan nilai V_s terhadap nilai V_{c1} dan V_{c2} yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots \dots \dots (2. 64)$$

$$V_{c2} = 0,66 \sqrt{f'_c} \times b \times d \dots \dots \dots (2. 65)$$

- Nilai S_2 dihitung dengan persyaratan jika nilai $V_s < V_{c1}$, maka S_2 dihitung dengan persamaan berikut :

$$S_2 = d/2 \dots \dots \dots (2. 66)$$

- Jika nilai $V_{c1} < V_s < V_{c2}$, maka nilai S_2 dihitung dengan persamaan:

$$S_2 = d/4 \dots \dots \dots (2. 67)$$

- Kemudian untuk nilai S_3 dihitung dengan persamaan :

$$S_3 = \frac{A_v \times f_y}{0,35b} \dots \dots \dots (2. 68)$$

- 7) Jarak sengkang yang digunakan digunakan nilai minimal antara nilai S_1 dan S_{maks}

- 8) Cek tahanan geser nominal (ϕV_n) dengan persamaan berikut:

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \dots \dots \dots (2. 69)$$

2.2.4. Biaya Pelaksanaan dan Waktu Pelaksanaan

Data volume pekerjaan adalah data utama untuk menghitung biaya pelaksanaan dan waktu pelaksanaan. Data volume pekerjaan yang dihitung pada penelitian ini adalah data volume beton (m^3), luas bekesting (m^2), dan berat tulangan/besi (kg). Untuk menghitung volume-volume pekerjaan tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

a. Volume beton (m^3)

$$\text{Volume beton} = P \times L \times T \dots\dots\dots (2. 70)$$

Keterangan :

P = Panjang beton (m)

L = Lebar beton (m)

T = Tinggi/tebal beton (m)

b. Luas bekesting (m²)

$$\text{Luas bekesting} = P \times L \dots\dots\dots (2. 71)$$

Keterangan :

P = Panjang bekesting (m)

L = Lebar bekesting (m)

c. Berat tulangan/besi (kg)

$$\text{Berat tulangan} = 0,006165 \times D^2 \times P \dots\dots\dots (2. 72)$$

Keterangan :

D = Diameter tulangan (mm)

P = Panjang tulangan (m)

Setelah didapatkan data volume pekerjaan maka biaya pelaksanaan dapat dihitung dengan cara mengkalikan volume pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Kemudian waktu pelaksanaan dapat dihitung durasi pekerjaanya dengan mengkalikan volume pekerjaan dengan koefisien pekerja yang dibagi jumlah pekerja. Perhitungan harga satuan pekerjaan ini menggunakan aturan SNI 7394-2008 dengan data harga bahan dan upah sesuai PERGUB DIY no 40 Tahun 2018 Tentang Standar Harga Barang dan Jasa wilayah kota Yogyakarta.