

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam suatu kegiatan konstruksi, perancangan adalah sebuah kegiatan yang sangat penting sebelum dilakukannya pelaksanaan di lapangan. Kesalahan dalam perancangan akan mengakibatkan terjadinya kerugian secara materil. Perancangan yang baik dan benar bukan hanya mampu mengeliminasi kerugian materil, namun juga mampu menghasilkan hasil konstruksi berupa bangunan yang aman dan nyaman, serta mampu pula mengefisienkan waktu pengerjaan sekaligus efektif dalam pengoperasionalan tenaga kerja serta peralatan kerja sehingga bisa menghemat pembiayaan. Ada tiga aspek yang harus diperhatikan perancang dalam melakukan analisis struktur yakni pembebanan, kekuatan bahan dan pemeriksaan keamanan struktur. Adapun tahapan perancangan sebuah konstruksi bangunan antara lain sebagai berikut:

A. Tahap Pra – Perancangan (*Preliminary Design*)

Pada tahap pra – perancangan ini, ahli sruktur harus mampu membantu arsitek untuk memilih komponen – komponen penting pada struktur bangunan yang akan direncanakan, baik dimensinya maupun posisi struktur tersebut. Dan pada pertemuan pertama biasanya arsitek akan datang dan membawa informasi mengenai sketsa denah, gambar tampak, potongan, penjelasan fungsi setiap lantainya, konsep awal gedung, serta rencana komponen *non – structural*.

B. Tahap Perancangan

Pada tahap ini, kegiatan proyek pembangunan suatu gedung meliputi beberapa kegiatan, yaitu:

1) Perancangan Bentuk Arsitektur Bangunan

Dalam kegiatan perancangan arsitektur bangunan, seorang perancang belum memperhitungkan kekuatan bangunan sepenuhnya, namun perancang telah mencoba merealisasikan keinginan – keinginan dari pemilik bangunan sesuai dengan desain yang diinginkan.

2) Perancangan Struktur Bangunan

Dalam kegiatan perancangan struktur bangunan, perancang mulai melakukan perhitungan komponen – komponen struktur berdasarkan bentuk arsitektur yang di dapat. Perancang mulai mendimensi serta menyesuaikan komponen struktur lebih spesifik agar memenuhi syarat-syarat konstruksi namun masih berdasarkan prinsip – prinsip efisien dan ekonomis.

2.2 Ruang Lingkup Perancangan Struktur

Membangun suatu bangunan pada umumnya diatur oleh aturan tertentu. Pada perencanaan bangunan gedung bertingkat mengacu pada peraturan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan penjelasan. Adapun 2 struktur pendukung bangunan yaitu:

1. Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Struktur bangunan atas merupakan bagian dari struktur gedung yang berada di atas muka tanah. Dari segi arsitektur dan keamanan harus sanggup mewujudkan perencanaan yang mampu menjamin mutu. Dalam perhitungan perancangan untuk struktur bangunan atas tersebut meliputi :

- a. Perhitungan Pelat Atap dan Pelat Lantai
- b. Perhitungan Tangga
- c. Perhitungan Balok Anak
- d. Perhitungan Balok Induk
- e. Perhitungan Kolom

2. Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Struktur bangunan bawah adalah sistem pendukung bangunan yang menerima beban struktur atas diteruskan ke tanah di bawahnya. Perhitungan perencanaan struktur bagian bawah ini meliputi:

- a. Perhitungan sloof
- b. Perhitungan pondasi

2.3 Dasar-Dasar Perhitungan

Dalam perancangan struktur Gedung Laboratorium Terpadu MAN Insan Cendekia Ogan Komering Ilir, Penulis berpedoman pada peraturan-peraturan yang telah ditetapkan dan berlaku di Indonesia. Peraturan-peraturan yang digunakan antara lain:

1. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan penjelasan oleh Badan Standarisasi Nasional, Pedoman ini terdapat persyaratan dan ketentuan dalam teknis perencanaan serta pelaksanaan struktur yang aman.
2. SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain oleh Badan Standarisasi Nasional. Didalamnya memuat peraturan mengenai beban- beban minimum yang digunakan dalam merancang bangunan gedung.
3. Buku desain Struktur Beton Bertulang berdasarkan SNI 2847 : 2019 edisi pertama oleh Yudha Lesmana, digunakan sebagai pedoman perhitungan konstruksi struktur.
4. SNI 8900:2020 tentang panduan desain sederhana untuk bangunan beton bertulang.

2.4 Klasifikasi Pembebanan

Definisi beban menurut SNI 1727:2020 adalah gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada didalam bangunan gedung, efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Besar beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh pembebanan yang berlaku. Adapun jenis pembebanan tersebut yaitu:

A. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, komponen arsitektural dan struktural serta peralatan layan terpasang lain (SNI 1727:2020, hal 21). Dalam menentukan beban mati, berat aktual material dan konstruksi harus digunakan.

Tabel 2. 1 Masa jenis minimum material γ untuk evaluasi beban mati dan hidup

Material	Masa jenis γ , lb/ft ³	Masa jenis μ , kg/m ³	Material	Masa jenis γ , lb/ft ³	Masa jenis μ , kg/m ³
Aluminum	170	2700	Besi		
Produk Aspal			Cetak	450	7200
Aspal dan tar	81	1300	Tempa	480	7700
Bensin	42	700	Timbal	710	11,400
Grafit	135	2160	Kapur		
Parafin	56	900	Terhidrasi, lepas	32	500
Minyak bumi	53	850	Terhidrasi, padat	45	800
Kuningan	526	8430	Pasangan bata, batu bata (padat)	115	1850
Perunggu	552	8850	Pasangan bata, beton (padat)	125	2150
Semen tipe <i>portland</i> , lepas	90	1440	Pasangan bata, graut	140	2250
Ubin keramik	150	2400	Pasangan bata, batu	162	2600
Arang	12	200	Semen mortar atau kapur	130	2100
Cinder fill	57	920	Papan partikel (<i>particleboard</i>)	45	750
Batubara, tumpukan	50	800	Kayu lapis	36	600
Beton, normal	144	2300	Pasir		
Beton, bertulang	150	2400	Bersih dan kering	90	1440
Tembaga	556	9000	Sungai, kering	106	1700
Gabus, terkompresi	14	250	Besi	488	7800
<i>Tanah</i>			Batu		
Tanah lempung, kering	63	1100	<i>Basalt</i> , granit, <i>gneiss</i>	169	2700
Tanah lempung, lembab	110	1750	Batu kapur, marmer, kuarsa	179	2850
Tanah lempung dan kerikil, kering	100	1600	Batu pasir	169	2700
Lumpur, moist, padat	96	1550	Serpih	163	2600
Lumpur, moist, lepas	78	1250	<i>Terra Cotta</i>		
Pasir dan kerikil, kering, lepas	100	1600	Berongga, terisi	120	1950
Pasir dan kerikil, kering, padat	110	1750	Berongga, tidak terisi	72	1150
Pasir dan kerikil, basah	120	1900	Timah	459	7360
Kaca	160	2600	Air		
Kerikil, kering	104	1660	Tawar	62	1000
Gypsum, lepas	70	1150	Laut	64	1030
Gypsum, papan dinding	50	800	Kayu, kering udara (<i>seasoned</i>)	28 to 47	450 to 750
Es	57	920	Seng, gulungan lembaran	449	7200

(Sumber : SNI 8900 : 2020; hal 29)

B. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati (SNI 1727:2020). Berikut beban hidup menurut kegunaan suatu bangunan berdasarkan SNI-1727-2020 pasal 4.3.1 hal 26 dalam tabel berikut.

Tabel 2. 2 Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat psf (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem Lantai Akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang computer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18)	
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Lobi	100 (4,79)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	150 (7,18)	
Lantai podium	100 (4,79)	
Tribun penonton Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)

Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79)	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Dudukan mesin elevator (pada area 50 mm x 50 mm)		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 25 mm x 25 mm)		200 (0,89)
Jalur penyelesaian terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga Permanen		
Garasi/Parkir (Lihat pasal 4.10)		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.10.1
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	Lihat Pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat Pasal 4.5.1	Lihat Pasal 4.5.1
Batang pegangan		Lihat Pasal 4.5.2
Helipad (Lihat Pasal 4.11)		
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.11.1
Helikopter dengan berat lepas landas Lebih dari 3.000 lb (13,35 kN)	60 (2,87)	Lihat Pasal 4.11.2
Rumah sakit		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (Lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)

Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3000 (13,35)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8, 90)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,90)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, billiard, dan penggunaan yang sama	75 (3,59)	
Ruang dansa dan ballroom	100 (4,79)	
Gimnasium	100 (4,79)	
Rumah tinggal		
Hunian satu keluarga dan dua keluarga		
Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa gudang	10 (0,48)	
Loteng yang tidak dapat dihuni dengan gudang	20 (0,96)	
Loteng yang dapat dihuni dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor	40 (1,92)	
Ruang publik	100 (4,79)	
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96)	

Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan pengguna yang dilayani	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,70)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
Atap untuk penggunaan lainnya	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Awning dan kanopi		
Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
	5 (0,24) Berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka	200 (0,89)
Rangka penumpu layar penutup		
Semua konstruksi lainnya		
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja	20 (0,96)	
Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel		2000 (8,90)
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,50)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,50)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,50)

Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97)	8000 (35,60)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga	40 (1,92)	300 (1,33)
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan dan pekerja (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)		
Ringan	125 (6,00)	
Berat	250 (11,97)	
Toko		
Eceran		
Lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai diatasnya	75 (3,59)	1 000 (4,45)
Grosir, di semua Lantai	125 (6,00)	1 000 (4,45)
Penghalang kendaraan		Lihat pasal 4.5.3
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727 : 2020, Tabel 4.3.1, hal 26)

C. Beban Angin

Menurut SNI 1727-2020, beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selesih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan mengagap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 .

D. Beban Hujan

Beban hujan adalah beban struktur bangunan yang berasal dari hujan. Beban ini bekerja pada bagian atap struktur bangunan. Beban hujan ini diakibatkan oleh genangan maupun tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

E. Beban Kombinasi

Beban kombinasi merupakan dua atau lebih jenis beban yang bekerja pada suatu struktur. Beban yang sering digunakan adalah beban mati dan beban hidup, tetapi ada beban tambahan lainnya seperti beban angin, beban hujan, beban gempa. Beban-beban tersebut dapat di perhitungkan dalam analisa stuktur, dengan nilai suatu faktor magnifikasi yang biasa disebut faktor beban, yang bertujuan agar struktur dan komponen lainnya memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap berbagai kombinasi beban.

Tabel 2. 3 Kombinasi Beban

Kombinasi Beban	Beban Utama
$U = 1,4 D$	D
$U = 1,2 D + 1,6 L$	L
$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 R$	R
$U = 1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 R$	W
$U = 1,2 D + 1,0 E + 1,0 L$	E
$U = 0,9 D + 1,0 W$	W
$U = 0,9 D + 1,0 E$	E

L = LL = Beban Hidup

D = DL = Beban Mati

R = Beban Hujan

W = Beban Angin

E = Beban Gempa

(Sumber : SNI 2847 : 2019, Pasal Tabel 5.3.1, hal 84)

2.5 Perancangan Konstruksi

Dalam merancang suatu konstruksi diperlukan beberapa perencanaan perhitungan yang akan digunakan, sesuai kriteria dengan syarat – syarat dasar perencanaan gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia, sehingga suatu konstruksi dapat menahan beban dengan sempurna, baik beban sendiri maupun beban lainnya. Struktur beton bertulang termasuk material yang diizinkan dalam perancangan konstruksi. Tebal selimut beton dan prosedur untuk menentukan kekuatan desain dari komponen yang mengalami lentur, beban aksial dengan atau tanpa lentur, dan geser.

Tabel 2. 4 Ukuran Batang Tulangan Baja Sirip

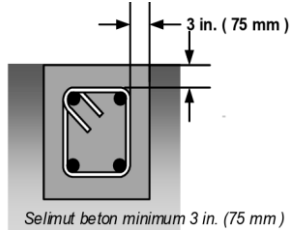
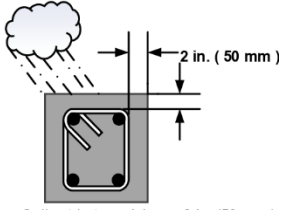
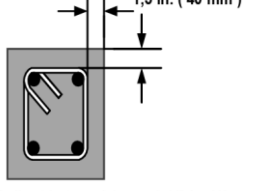
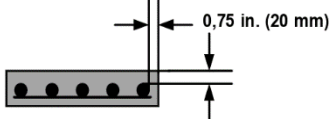
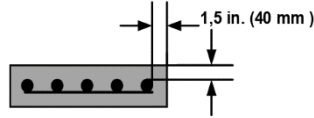
Penamaan Tulangan	uk		
	Diameter, mm	Luas Penampang, mm ²	Berat Nominal per meter, kg/m
S6	6	28	0,222
S8	8	50	0,395
S10	10	79	0,617
S13	13	133	1,042
S16	16	201	1,578
S19	19	284	2,226
S22	22	380	2,984
S25 [‡]	25	491	3,853

* Simbol dan angka pada penamaan tulangan mengindikasikan jenis tulangan adalah tulangan sirip/ulir dan diameter tulangan dalam satuan mm seperti yang ditunjukan di dalam SNI 2052.

‡ Diameter tulangan sirip/ulir maksimum yang diijinkan di dalam panduan ini adalah S25 (1 in. [25 mm]).

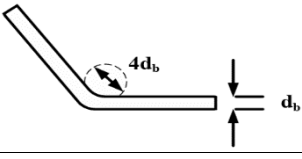
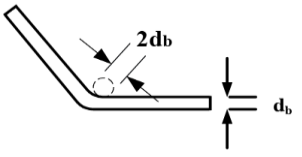
(Sumber : SNI 8900-2020)

Tabel 2. 5 Tebal Minimum Selimut Beton Terhadap Tulangan

Komponen yang dicor di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	 Selimut beton minimum 3 in. (75 mm)
Komponen yang terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah	 Selimut beton minimum 2 in. (50 mm)
Girder, balok, dan kolom yang tidak terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah	 Selimut beton minimum 1-1/2 in. (40 mm)
Slab solid, dinding beton bertulang, atau joist yang tidak terpapar terhadap cuaca atau berhubungan dengan tanah	 Selimut beton minimum 3/4 in. (20 mm)
Slab solid di atas tanah	 Selimut beton minimum 1-1/2 in. (40 mm)

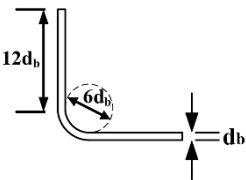
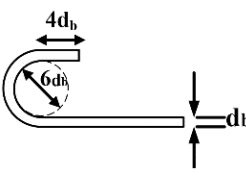
(Sumber : SNI 8900-2020)

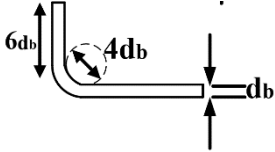
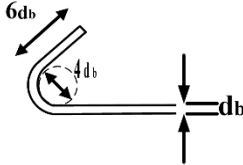
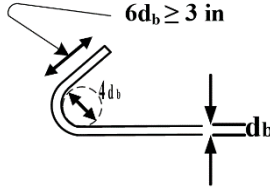
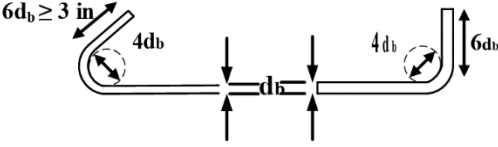
Tabel 2. 6 Diameter bengkokan minimum

Tipe batang tulangan	Diameter bengkokan	
Batang tulangan sirip	$6d_b$	
Batang tulangan untuk sengkang dan kait pengikat	$4d_b$	
Kawat untuk batang tulangan kawat dilas dengan $d_b > 6$ mm	$4d_b$	
Kawat untuk batang tulangan kawat dilas dengan $d_b \leq 6$ mm	$2d_b$	

(Sumber : SNI 8900-2020)

Tabel 2. 7 Deskripsi dan dimensi kait standar

Penunjukan Kait	Deskripsi dan dimensi	
Kait 90°	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum $12d_b$ pada ujung bebas kait	
Kait 180°	Pembengkokan 180° ditambah perpanjangan minimum $4d_b$ pada ujung bebas kait	

Untuk sengkang dan kait pengikat	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum 6db pada ujung bebas kait	
	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum 6db pada ujung bebas kait	
Sengkang tertutup (Sengkang pengekan dan kait pengikat) untuk struktur di daerah seismik	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum 6db pada ujung bebas kait, tetapi tidak kurang dari 75 mm	
Untuk kait pengikat di daerah seismik	Pembengkokan 135° ditambah perpanjangan minimum 6db pada salah satu ujung bebas kait, tetapi tidak kurang dari 75 mm	
	Pembengkokan 90° ditambah perpanjangan minimum 6db pada ujung bebas kait lainnya	

(Sumber : SNI 8900-2020)

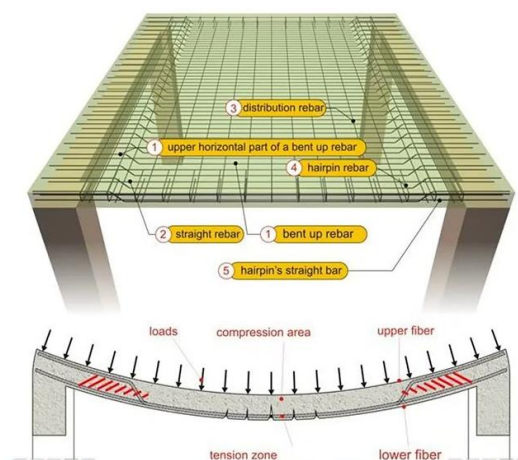
2.5.1 Perancangan Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan elemen struktur yang umumnya difungsikan untuk mendistribusikan beban mati dan beban hidup ke struktur utama lainnya, seperti balok dan kolom. Pada suatu konstruksi bangunan gedung, pelat terdiri dari pelat atap dan pelat lantai. Beban pada pelat atap hanya terdiri dari beban mati sendirinya pelat atap, beban hidup dan beban hujan, sementara pada pelat lantai selain beban mati sendirinya, pelat lantai juga diberi beban dinding dan beban hidup yang sesuai dengan penggunaan ruang yang ada di atasnya.

Pada umumnya struktur pelat lantai beton dalam suatu bangunan gedung dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

a) Pelat satu arah (*one way slab*)

Pelat satu arah (*one way slab*) merupakan jenis pelat yang mengalami lendutan pada satu arah sumbunya. Pelat dikatakan satu arah apabila $L_b/L_a \geq 2$, dimana L_b adalah panjang sisi panjang dan L_a adalah panjang sisi pendek, karena slab ini akan menekuk dalam satu arah yaitu pada arah sepanjang rentang yang lebih pendek.



Gambar 2. 1 Pelat Satu Arah

Untuk menentukan ketebalan minimum pelat satu arah digunakan tabel SNI-2847-2019.

Tabel 2. 8 Ketebalan minimum pelat solid satu arah (non prategang)

Kondisi Tumpuan	$h^{[1]}$ minimum
Tumpuan Sederhana	$\ell/20$
Satu Ujung Menerus	$\ell/24$
Kedua ujung Menerus	$\ell/28$
Kantilever	$\ell/10$
[1]Angka ini berlaku untuk beton berat normal dan $f_y = 420$ MPa.	

(Sumber : SNI 2847-2019)

Nilai yang tertera pada Tabel 2.7 berlaku untuk beton berat normal dan mutu baja 420 Mpa. Untuk F_y lebih dari 420 Mpa, maka persamaan pada tabel 2.3 harus di kalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Tabel 2. 9 Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan

Kondisi Tumpuan	Tebal Minimum h
Tumpuan Sederhana	$\ell_s/20$
Satu Ujung Menerus	$\ell_s/24$
Kedua ujung Menerus	$\ell_s/28$
Kantilever	$\ell_s/10$

(Sumber : SNI 8900 -2020)

Tabel 2. 10 Tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan

Kondisi Tumpuan	Tebal Minimum h
Tumpuan Sederhana	$\ell_s/14$
Satu Ujung Menerus	$\ell_s/16$
Kedua ujung Menerus	$\ell_s/19$
Kantilever	$\ell_s/7$

(Sumber : SNI 8900-2020)

Tabel 2. 11 Kekuatan Momen Perlu untuk Pelat Bentang Tunggal Satu Arah

Momen positif pada batang ujung : $M_u^+ = \frac{q_u l_n^2}{11}$ Bentang Interior : $M_u^+ = \frac{q_u l_n^2}{16}$
Momen negatif ditumpuan pada muka interior tumpuan eksternal : $M_u^- = \frac{q_u l_n^2}{24}$ Muka eskterior tumpuan internal pertama, hanya dua bentang : $M_u^- = \frac{q_u l_n^2}{9}$ Muka tumpuan internal, lebih dari dua bentang : $M_u^- = \frac{q_u l_n^2}{10}$ Muka semua tumpuan untuk pelat dengan bentang tidak melebihi 3m: $M_u^- = \frac{q_u l_n^2}{12}$

(Sumber : SNI 8900 -2020; hal 90)

	Beban Merata w_u ($L/D \leq 3$)				
	Terintegrasi dengan Tumpuan		Satu bentang atau lebih		Tumpuan Sederhana
	$\ell_{n,2} < \ell_{n,1} \leq 1,2\ell_{n,2}$		$\ell_{n,2}$		$\ell_{n,2}$
	$\frac{w_u \ell^2_{n,1}}{14}$		$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{16}$		$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{11}$
					Momen Positif
Tumpuan Balok	$\frac{w_u \ell^2_{n,1}}{24}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,avg}}{10}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,avg}}{11}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{11}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{10}$ 0
Tumpuan Kolom	$\frac{w_u \ell^2_{n,1}}{16}$				
					Momen Negatif
Catatan A	$\frac{w_u \ell^2_{n,1}}{12}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,avg}}{12}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,avg}}{12}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{12}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{12}$ 0
					Geser
	$\frac{w_u \ell^2_{n,1}}{2}$	$\frac{1,15w_u \ell^2_{n,1}}{2}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{2}$	$\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{2}$	$\frac{1,15w_u \ell^2_{n,2}}{2}$ $\frac{w_u \ell^2_{n,2}}{2}$

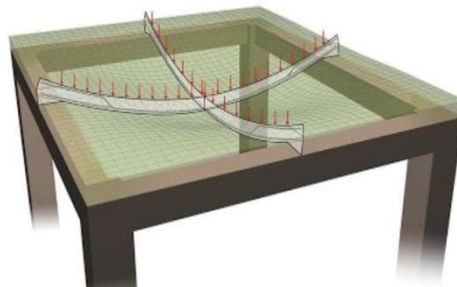
Gambar 2. 2 Momen Lentur dan Gaya Geser Pendekatan Untuk Balok Menerus dan Slab satu Arah
(Sumber : SNI 8900 -2020; hal 90)

b) Pelat dua arah (two way slab)

Pelat dikatakan dua arah apabila $\frac{L_b}{L_a} < 2$, dimana L_b adalah panjang sisi panjang dan L_a adalah Panjang sisi pendek, yang dimana pelat ini akan menekuk dalam dua arah.

Pelat Dua Arah

Ditumpu pada ke-empat sisinya dan $L_y / L_x < 2$



Gambar 2. 3 Pelat Dua Arah

Berikut ini langkah-langkah perhitungan pelat dua arah:

1) Menentukan tebal minimum pelat

Tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Untuk $\alpha f_m \leq 0,2$ harus menggunakan Tabel 2.13 berdasarkan SNI 2847-2019

Tabel 2. 12 Tebal Minimum Pelat Dua Arah Non Prategang Tanpa Balon Interior

f_y Mpa	Tanpa drop panel			Dengan drop panel		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi		Tanpa balok tepi	Dengan balok tepi	
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	$\ell_n/28$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/31$	$\ell_n/34$	$\ell_n/34$
ℓ_n adalah jarak bersih ke arah memanjang, diukur dari muka ke muka tumpuan (mm) - Untuk f_y dengan nilai diantara yang diberikan dalam tabel, ketebalan minimum harus dihitung dengan interpolasi linear						

(Sumber: SNI 2847-2019; hal 134)

- b. Untuk $0,2 < \alpha f_m \leq 0,2$ atau $\alpha f_m > 2,0$ ketebalan pelat minimum harus menggunakan Tabel 2.13 sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2, hal 134, yakni:

Tabel 2. 13 Tebal Minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya

αf_m	h Minimum, mm	
$0,2 < \alpha f_m \leq 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0,2)}$
		125
$\alpha f_m > 2,0$	Terbesar dari :	$\frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$
		90

(Sumber: SNI 2847-2019; hal 134)

2) Menghitung αf_m masing-masing panel

$$\alpha = \frac{I_{Balok}}{I_{pelat}} = \frac{\sum I_o + \sum A_i (y_a - y_i)^2}{\frac{I_n \cdot t^3}{12}}$$

$$\alpha f_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

L_n = Jarak bentang bersih

h = tinggi balok

t = tebal pelat

β = rasio $\left(\frac{\ln b}{\ln a}\right)$ $\ln$ diambil dari $\ln y$ (panjang netto terpanjang)

3) Tebal Selimut Beton Minimum

Tabel 2. 14 Ketebalan selimut beton untuk komponen struktur beton nonprategang yang dicor di tempat

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut, mm
Dicor dan secara permanen kontak dengan tanah	Semua	semua	75
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah		Batang D19 hingga D57	50
		Batang D16, Kawat $\varnothing 13$ atau D13 dan yang lebih kecil	40
Tidak terpapar cuaca atau kontak dengan tanah		Batang D43 dan D57	40
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20
		Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengekang	40

(Sumber: SNI 2847-2019)

4) Menghitung beban yang bekerja (beban mati dan beban hidup) dan beban terfaktor.

Untuk Pelat Atap = $Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L + 0,5 Q_R$

Untuk Pelat Lantai = $Q_u = 1,2 Q_D + 1,6 Q_L$

Dimana :

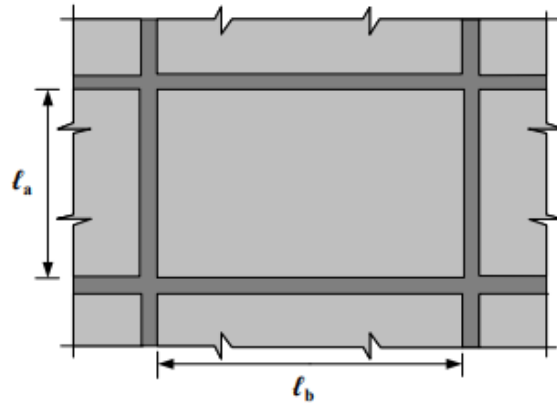
Q_u = beban rencana terfaktor (kN/m)

Q_D = beban mati pelat (kN/m)

Q_L = beban hidup pelat (kN/m)

Q_R = beban hujan pelat (kN/m)

- 5) Menghitung momen rencana (M_u) yang bekerja pada arah a dan b, dengan metode koefisien momen pelat dimana koefisien ini ditentukan berdasarkan jenis panel pelat berdasarkan SNI 8900-2020 sebagai berikut.



Gambar 2. 4 Panel interior pelat dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

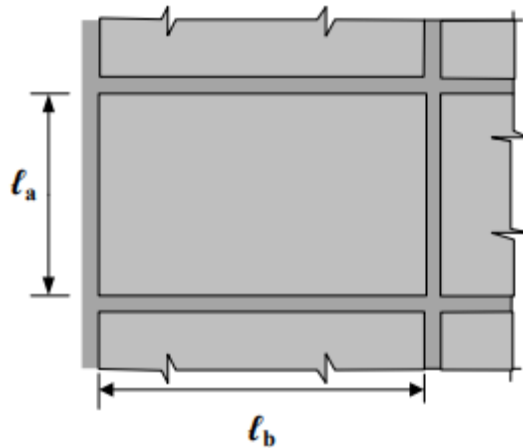
(Sumber : SNI 8900-2020 hal 93)

Tabel 2. 15 Panel interior pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang

$\beta = l_b/l_a$	Arah pendek, l_a			Arah panjang, l_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{22}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{42}$	$\alpha_a = 0,50$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{22}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{42}$	$\alpha_b = 0,50$
1,1	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{18}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{35}$	$\alpha_a = 0,60$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{25}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,40$
1,2	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{30}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{35}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{60}$	$\alpha_b = 0,33$
1,3	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{27}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{75}$	$\alpha_b = 0,26$
1,4	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{14}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{25}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,20$
1,5	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,84$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{65}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{120}$	$\alpha_b = 0,16$

1,6	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{22}$	$\alpha_a = 0,87$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{145}$	$\alpha_b = 0,13$
1,7	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{21}$	$\alpha_a = 0,90$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{110}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{180}$	$\alpha_b = 0,10$
1,8	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{135}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{225}$	$\alpha_b = 0,08$
1,9	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,93$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{160}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{275}$	$\alpha_b = 0,07$
2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{18}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{170}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{340}$	$\alpha_b = 0,06$
>2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

(Sumber : SNI 8900-2020 hal 95)



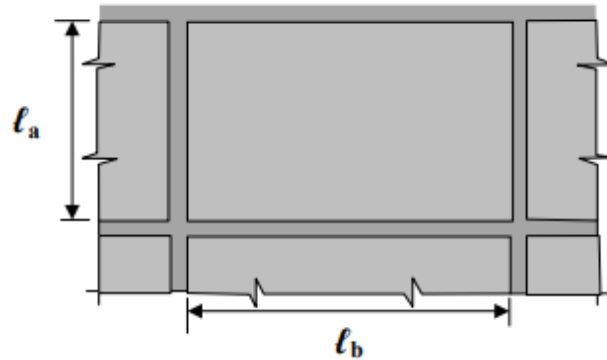
Gambar 2. 5 Panel ujung dengan l_a sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

(Sumber : SNI 8900-2020 hal 94)

Tabel 2. 16 Panel tepi dengan l_a sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang

$\beta = l_b/l_a$	Arah pendek, l_a			Arah panjang, l_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{35}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{33}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$\alpha_b = 0,33$
1,1	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{31}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{35}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,26$
1,2	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{14}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{28}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{65}$	$\alpha_b = 0,20$
1,3	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{25}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{70}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,15$
1,4	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{90}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{110}$	$\alpha_b = 0,12$
1,5	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{22}$	$\alpha_a = 0,91$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{115}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{135}$	$\alpha_b = 0,09$
1,6	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{21}$	$\alpha_a = 0,93$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{135}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{160}$	$\alpha_b = 0,07$
1,7	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{165}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{185}$	$\alpha_b = 0,06$
1,8	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,95$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{200}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{220}$	$\alpha_b = 0,05$
1,9	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,96$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{250}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{270}$	$\alpha_b = 0,04$
2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{18}$	$\alpha_a = 0,97$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{330}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{340}$	$\alpha_b = 0,03$
>2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

(Sumber : SNI 8900-2020 hal 96)



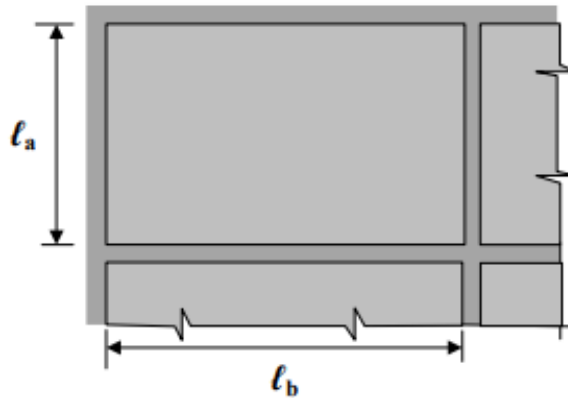
Gambar 2. 6 Panel ujung dengan l_b sejajar tepi slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.
(Sumber : SNI 8900-2020 hal 94)

Tabel 2. 17 Panel tepi dengan l_b sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang

$\beta = \frac{l_b}{l_a}$	Arah pendek, l_a			Arah panjang, l_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{30}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{39}$	$\alpha_a = 0,33$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{16}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{35}$	$\alpha_b = 0,67$
1,1	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{32}$	$\alpha_a = 0,42$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{19}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$\alpha_b = 0,58$
1,2	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{19}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{26}$	$\alpha_a = 0,51$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{22}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,49$
1,3	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{17}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,59$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{27}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{60}$	$\alpha_b = 0,41$
1,4	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,66$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{32}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{70}$	$\alpha_b = 0,34$
1,5	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,72$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,28$
1,6	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{17}$	$\alpha_a = 0,77$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,23$
1,7	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,81$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{60}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{125}$	$\alpha_b = 0,19$

1,8	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{70}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{150}$	$\alpha_b = 0,15$
1,9	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{175}$	$\alpha_b = 0,12$
2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{14}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{200}$	$\alpha_b = 0,08$
>2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{9}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

(Sumber : SNI 8900-2020 hal 97)

**Gambar 2. 7** Panel sudut slab dua arah yang dipikul girder, balok, atau dinding beton bertulang.

(Sumber : SNI 8900-2020 hal 94)

Tabel 2. 18 Panel sudut pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang

$\beta = \frac{l_b}{l_a}$	Arah pendek, l_a			Arah panjang, l_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{31}$	$\alpha_a = 0,50$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{20}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{31}$	$\alpha_b = 0,50$
1,1	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{17}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{26}$	$\alpha_a = 0,59$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{25}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{38}$	$\alpha_b = 0,41$
1,2	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{30}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{45}$	$\alpha_b = 0,33$
1,3	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{55}$	$\alpha_b = 0,26$

1,4	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{70}$	$\alpha_b = 0,20$
1,5	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{17}$	$\alpha_a = 0,84$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{60}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$\alpha_b = 0,16$
1,6	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,87$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{75}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,13$
1,7	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 0,90$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{125}$	$\alpha_b = 0,10$
1,8	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{120}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{150}$	$\alpha_b = 0,08$
1,9	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{145}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{175}$	$\alpha_b = 0,06$
2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{14}$	$\alpha_a = 0,96$	$M_b^- = \frac{q_u l_b^2}{165}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_b^2}{200}$	$\alpha_b = 0,04$
>2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_a^2}{9}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

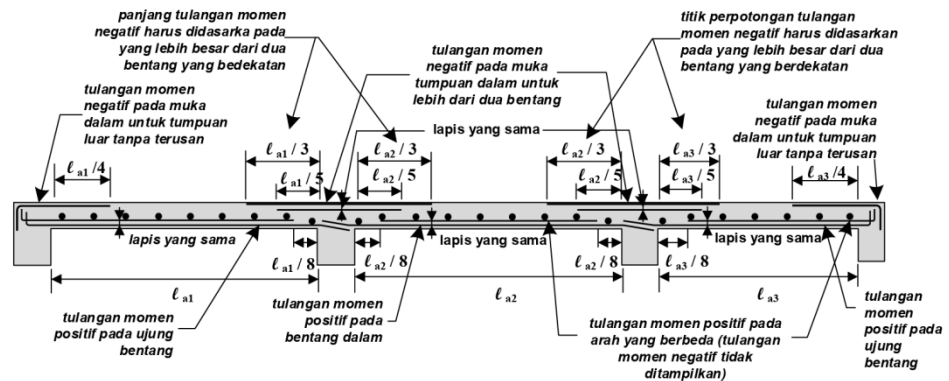
(Sumber : SNI 8900-2020 hal 98)

Penulangan lentur memanjang pada pelat terdiri dari:

a) Tulangan momen positif

Dalam area pusat panel slab, tulangan momen positif harus berdasarkan momen positif terfaktor yang ditentukan dari persamaan-persamaan yang sesuai. Rasio baja momen positif ρ untuk tulangan sejajar bentang pendek l_a atau bentang panjang l_b harus ditentukan dengan nilai M_a^+ atau M_b^+ yang berhubungan.

Sebanyak setengah tulangan momen positif di tengah bentang yang berhubungan boleh dipotong pada jarak $l_a/8$ atau $l_b/8$, diukur dari muka tumpuan interior manapun. Tulangan momen positif yang tegak lurus tepi tak menerus tidak boleh dipotong. Tulangan momen positif di area perbatasan boleh dikurangi dari yang dibutuhkan pada area pusat menjadi sepertiga nilai di tepi panel, tetapi tidak kurang dari luas yang dibutuhkan untuk susut dan temperatur.

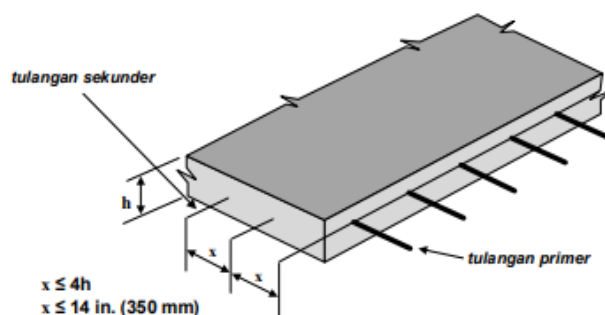


Gambar 2. 8 Tulangan slab dua arah yang dipikul oleh girder, balok, atau dinding beton bertulang
(Sumber : SNI 8900-2020)

b) Tulangan momen negatif

Rasio baja momen negatif ρ untuk tulangan sejajar bentang pendek ℓ_a atau bentang panjang ℓ_b harus ditentukan dengan nilai M_a - atau M_b - yang berhubungan. Diizinkan untuk memotong hingga setengah luas tulangan momen negatif pada tumpuan pada jarak $\ell_a/5$ atau $\ell_b/5$, diukur dari muka tumpuan interior manapun. Diizinkan untuk memotong semua tulangan momen negatif pada tumpuan bentang yang berhubungan pada jarak $\ell_a/3$ atau $\ell_b/3$, diukur dari muka tumpuan interior manapun.

Diizinkan untuk mengurangi secara gradual luas tulangan momen negatif dari tepi area pusat hingga sepertiga nilai di tepi panel, tetapi tidak kurang dari luas yang dibutuhkan untuk susut dan temperatur.



Gambar 2. 9 Spasi maksimum tulangan susut dan temperatur
(Sumber: SNI 8900-2020)

Tabel 2. 19 Persyaratan tulangan susut dan temperatur pada pelat

Jenis Tulangan	Rasio Tulangan Minimum
Pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan mutu $f_y = 280$ atau 350 MPa	0,0020
Pelat yang menggunakan tulangan ulir atau jaringan kawat las dengan mutu $f_y = 420$ MPa.	. 0,0018
Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan luluh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35%	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y}$.

(Sumber : SNI 2847-2019)

6) Menghitung tinggi efektif (d_{eff})

$$d_{eff} a = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. arah a}$$

$$d_{eff} b = h - \text{tebal selimut beton} - \varnothing \text{ tulangan arah a} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. arah b}$$

7) Mencari faktor tahanan momen (R_n)Faktor reduksi $\phi = 0,90$

$$R_n = \frac{Mu \times 10^6}{\phi \times b \times d^2}$$

8) Mencari rasio penulangan

$$\rho = 0.85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f_{c'}}} \right]$$

Dimana:

Mu = Momen rencana terfaktor pada penampang (kN.m)

b = Lebar penampang (mm) diambil tiap 1 meter

 d_{eff} = Tinggi efektif (mm) R_n = Koefisien tahananDalam penggunaan ρ terdapat ketentuan, yakni $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ 1) Jika $\rho_{min} > \rho$, maka pakai ρ_{min} dan As yang digunakan A_{smin} .2) Jika $\rho > \rho_{max}$, maka pakai ρ_{max}

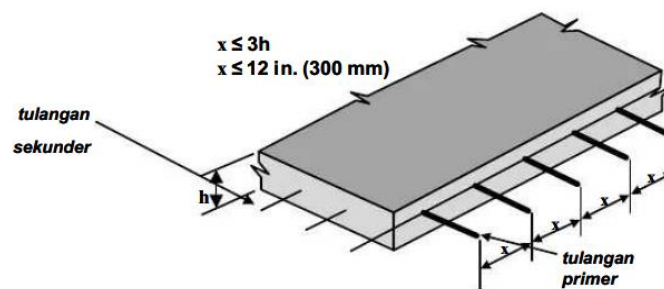
9) Menghitung luas tulangan (A_s)

- $A_{s\text{pakai}} = \rho \cdot b \cdot d_{\text{eff}}$
- Untuk $A_{s\text{min}}$ bisa dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 20 Luas tulangan minimum terhadap luas penampang beton bruto

Jenis Tulangan	f_y MPa	Luas Tulangan Minimum
Batang Ulir	< 420	$0,0020 \cdot A_g$
Batang Ulir atau Kawat Las	≥ 420	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \cdot A_g$
		$0,0014 \cdot A_g$

(Sumber : SNI 2847-2019)

10) Pilih tulangan pokok yang akan dipasang. Periksa jarak maksimum antara tulangan dari pusat ke pusat $3h$ atau 300mm .**Gambar 2. 10** Spasi maksimum tulangan lentur

(Sumber: SNI 8900-2020)

11) Mencari jarak antar tulangan dan luas tulangan terpakai

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$$

12) Cek kapasitas momen

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

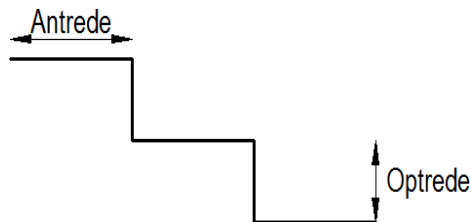
$$\phi M_n = \phi \times 0,85 \times f_c' \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

13) Menggambar tulangan pelat

2.5.2 Perancangan Tangga

Tangga adalah suatu konstruksi yang merupakan salah satu bagian dari bangunan yang berfungsi sebagai alat yang menghubungkan antar lantai bawah dengan lantai yang ada di atasnya pada bangunan bertingkat dalam keadaan tertentu. (Ilmu Bangunan Gedung, 1993. Drs. IK. Supribadi: 10). Bagian-bagian tangga antara lain sebagai berikut :

1. Anak tangga (*trade*), merupakan bagian tangga yang berfungsi untuk memijakkan/melangkahkan kaki ke arah vertical maupun horizontal (datar). Anak tangga terdiri dari 2 bagian, yaitu bagian *antrade* (pijakan datar) dan *optrade* (pijakan tegak untuk langkah naik).



Gambar 2. 11 *Optrade* dan *Antrade*

2. Ibu Tangga (*boom*), merupakan bagian yang berfungsi untuk menyokong atau mendukung anak tangga.
3. Bordes merupakan bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak luas dan berfungsi sebagai tempat istirahat bila terasa lelah. Untuk menentukan panjang bordes (L), menggunakan rumus berikut :

$$L = L_n (57-65 \text{ cm}) + 1 \text{ Antrade s/d } 2 \text{ Antrade}$$

4. Pelengkap Tangga
 - a) Tiang sandaran, yaitu tiang yang berdiri tegak yang ujung bawahnya tempat memanjatkan ibu tangga dan ujung atasnya sebagai tempat menumpangnya sandaran.
 - b) Sandaran (pegangan), yaitu batang yang berfungsi sebagai pegangan tangan bagi yang melintasi tangga yang mempunyai posisi sejajar dengan sisi atas ibu tangga.

Adapun syarat- syarat khusus tangga sebagai berikut :

a) Untuk bangunan rumah tinggal:

- *Antrade* = 25 cm (minimum)
- *Optrede* = 20 cm (maksimum)
- Lebar tangga = 80-120 cm

b) Untuk gedung atau fasilitas umum:

- *Antrade* = 25 cm (minimum)
- *Optrade* = 18 cm (maksimum)
- Lebar tangga = 120 cm (minimum)

c) Syarat Langkah

$2 \text{ optrade} + 1 \text{ antrade} = \text{satu langkah orang dewasa (57-65 cm)}$

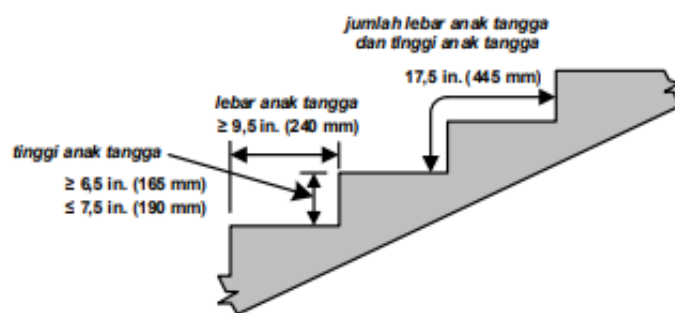
d) Sudut Kemiringan

Minimum = 25° dan Maksimum = 45°

Menurut SNI 8900-2020; pasal 13.1.1.1; hal. 181, rekomendasi dalam menentukan tangga:

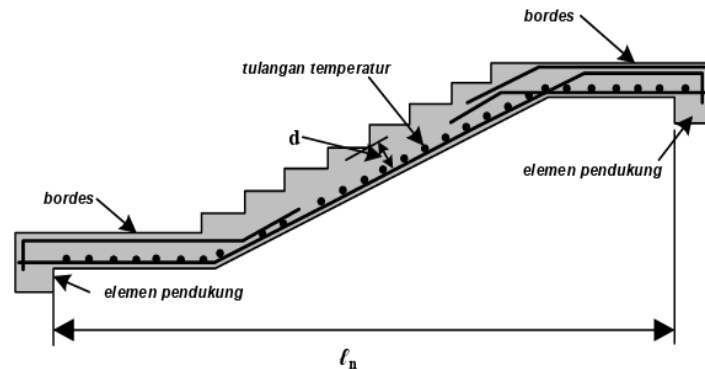
- a) Lebar tangga minimum dan dimensi minimum bordes adalah 1,2 m. Lebar anak tangga minimum, tidak termasuk nosing, adalah 240 mm.
- b) Tinggi anak tangga maksimum adalah 190 mm. Tinggi anak tangga kurang dari 165 mm sebaiknya tidak digunakan untuk tangga internal pada gedung. Untuk anak tangga tanpa nosing, jumlah panjang tinggi anak tangga dan lebar anak tangga adalah 445 mm, tetapi tinggi anak tangga tidak boleh kurang dari 165 mm ataupun lebih dari 190 mm.
- c) Tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai. Untuk tangga yang melayani akses keluar dari tempat berkumpul, tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai adalah 2,5 m. Untuk kasus lainnya, tinggi maksimum pada bagian tangga yang lurus antara bordes/lantai adalah 3,5 m.
- d) Jumlah lebar anak tangga dan tinggi anak tangga $\geq 165 \text{ mm} \leq 190 \text{ mm}$ lebar anak tangga $\geq 240 \text{ mm}$, 445 mm.

- e) Jumlah tangga ditentukan oleh lebar slab tangga, jumlah perkiraan penghuni tiap lantai, dan dimensi luas lantai. Jumlah tangga harus ditentukan sesuai dengan peraturan di bawah ini:
1. Jarak dari titik terjauh pada suatu lantai ke tangga atau akses keluar terdekat tidak boleh melebihi 30 m.
 2. Panjang koridor pada suatu area tertentu tidak boleh melebihi 40m.
 3. Lebar gabungan untuk semua anak tangga pada tiap lantai harus menghitung jumlah orang yang akan menempati luasan lantai terbesar yang dilayani oleh tangga diatas luasan lantai yang ditinjau dengan dasar perhitungan satu orng menempati 0,6 m lebar tangga dan 1,5 anak tangga, dan satu orang menmpati 0,3 m² area lantai bordes.



Gambar 2. 12 Tinggi anak tangga maksimum dan tinggi anak tangga beserta lebar anak tangga minimum
(Sumber : SNI 8900 : 2020, hal 181)

Detail penulangan pada tangga haruslah memenuhi syarat yang sesuai dengan SNI 8900-2020, pasal 7.3 dan pasal 7.7.1 hal 181 apabila tangga menerus dengan slab horizontal, tulangan longitudinal harus diteruskan lurus ke dalam slab sampai mencapai permukaan yang berlawanan dari slab eksternal dimana seharusnya tulangan tersebut dibengkokan atau diteruskan sampai ke permukaan eksternal yang berlawanan seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2. 13 Detail penulangan tipikal
(Sumber : SNI 8900-2020)

Berikut ini langkah-langkah perhitungan tangga :

1) Perencanaan Tangga

- Menentukan panjang tangga, jumlah *antrade* dengan mengasumsikan tinggi (h).

$$\text{Jumlah optrade} = \frac{h}{\text{Tinggi optrade}}$$

- Menentukan tinggi *optrade* yang sebenarnya dan *antrade*

$$\text{Tinggi optrade sebenarnya} = \frac{h}{\text{Jumlah optrade}}$$

$$\text{Antrade} = L_n - 2 \text{ optrade}$$

- Menentukan sudut kemiringan tangga

$$\text{Arc tan } \theta = \frac{\text{optrade}}{\text{antrade}}$$

2) Menentukan pembebanan pada tangga

Meliputi pembebanan pelat anak tangga dan pelat bordes.

a) Beban Mati

b) Beban Hidup (dapat dilihat pada SNI 1727-2020).

3) Menghitung gaya-gaya yang bekerja dengan menggunakan program ETABS 2020.

4) Menghitung tulangan lentur pada tangga

a) Menghitung tinggi efektif (d)

$$d = h - t_s - \frac{1}{2} \times D_{\text{tulangan pokok}}$$

- b) Menghitung nilai R_n

$$R_n = \frac{Mu \times 10^6}{\phi \times b \times d^2}$$

- c) Menghitung rasio tulangan tangga

$$\rho = 0.85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f_{c'}}} \right]$$

Dalam penggunaan ρ terdapat ketentuan, yakni $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$.

- d) Menghitung luas tulangan (A_s)

- $A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$
- $A_{s\min} = \frac{0.0018 \times 420}{f_y} \times b \times h$ (karena $f_y \geq 420$ MPa).
- $A_{s\text{pakai}}$ diambil yang terbesar

- e) Mencari jarak antar tulangan dan luas tulangan terpakai

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s}$$

- f) Cek kapasitas penampang pada tangga

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_{c'} \times b}$$

$$\phi M_n = \phi \times 0.85 \times f_{c'} \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

- g) Gambar penulangan tangga

- 5) Menghitung tulangan susut pada tangga

- a) Menghitung luas tulangan (A_s)

$$\rho_{\min} = 0.0018 \text{ (karena } f_y \geq 420 \text{ MPa berdasarkan SNI 2847-2019)}$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} \times b \times h$$

- b) Mencari jarak antar tulangan

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_{s\min}}$$

- c) Menentukan jarak maksimum tulangan susut yaitu 4h atau 350mm (SNI 8900-2020).

- d) Menghitung luasan tulangan yang dipasang

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s}$$

2.5.3 Perancangan Balok Anak

Balok anak adalah balok yang berfungsi sebagai pembagi atau pendistribusi beban. Pada bangunan bertingkat biasanya terlihat bahwa ujung-ujung balok anak terhubung pada balok induk. Meskipun berukuran lebih kecil daripada balok induk, penggunaan komponen ini untuk mendukung bentang kerja optimal dari pelat lantai. Langkah-langkah dalam perhitungan balok anak sebagai berikut.

1. Menentukan dimensi balok anak

Untuk tinggi balok:

Penentuan tinggi balok minimum diatur pada SNI 2847-2019; Pasal 9.3.1; Tabel 9.3.1.1; Hal-180. Pembatasan ini guna menjamin lendutan yang terjadi pada balok masih dalam batas yang diijinkan. Adapun estimasi tinggi minimum balok dapat juga dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 21 Tinggi minimum balok nonprategang

Kondisi Tumpuan	Tebal Minimum h
Tumpuan Sederhana	$\ell_s/16$
Satu Ujung Menerus	$\ell_s/18,5$
Kedua ujung Menerus	$\ell_s/21$
Kantilever	$\ell_s/8$

(Sumber: SNI 2847-2019, Tabel 9.3.1.1hal 180)

Tabel 2. 22 Tinggi balok minimum h for girder, balok dan joist satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang sensitif terhadap lendutan

Kondisi Tumpuan	Tebal Minimum h
Tumpuan Sederhana	$\ell_s/11$
Satu Ujung Menerus	$\ell_s/12$
Kedua ujung Menerus	$\ell_s/14$
Kantilever	$\ell_s/5$

(Sumber: SNI 8900-2020)

Untuk lebar balok:

Lebar balok (b) = 1/2 - 2/3 h

2. Menentukan mutu beton (f_c') dan mutu baja (f_y) yang akan digunakan.

3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada balok anak untuk kemudian di proses menggunakan program *ETABS* 2020 untuk mendapatkan gaya dalamnya.
4. Menentukan momen dan gaya geser maksimum berdasarkan dari hasil analisa menggunakan program *ETABS* 2020.
5. Menghitung tulangan tumpuan dan tulangan lapangan pada balok anak.

- a) Menghitung tinggi efektif (d)

$$d = h - t_s - d_s - \frac{1}{2} \times d_b$$

- b) Menghitung nilai Rn

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{\phi \times b \times d^2}$$

- c) Menghitung rasio tulangan

$$\rho = 0.85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0.85 \times f_{c'}}} \right]$$

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y}$$

$$\rho_b = 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\max} = \frac{0.003 + \frac{f_y}{E_s}}{0.008} \times \rho_b$$

Dengan beberapa syarat, seperti :

- Jika $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$ = OKE
- Jika $\rho < \rho_{\min}$, maka penampang terlalu besar sehingga dimensi balok bisa dikurangi dimana rho yang digunakan adalah $\rho_{\min}$.
- Jika $\rho > \rho_{\max}$, maka penampang terlalu kecil sehingga dimensi balok harus dibesarkan dimana rho yang digunakan adalah $\rho_{\max}$.

- d) Menghitung luas tulangan (As)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

- e) Menentukan jumlah tulangan yang terpasang

$$n = \frac{As_{perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times (d_b)^2}$$

- f) Menghitung jarak bersih antar tulangan

$$S_n = \frac{b - 2t_s - 2d_s - n(d_b)}{n - 1} \geq 40 \text{ cm}$$

- g) Menghitung luasan tulangan actual

$$A_s = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times (d_b)^2$$

- h) Mengecek kapasitas penampang

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n \geq M_u \text{ (AMAN)}$$

6. Menghitung tulangan geser

- a) Gaya geser ultimit (V_u) yang telah didapat dari program *ETABS* 2020 kemudian nilai V_u tersebut dihitung kembali sejarak x menggunakan *ETABS* 2020 untuk mendapatkan gaya geser berdasarkan daerah lokasi penampang.

- b) Memeriksa apakah membutuhkan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

- Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, tidak dibutuhkan tulangan geser
- Jika $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$, dibutuhkan tulangan geser minimum, dapat dipasang tulangan sengkang vertikal berdiameter 10 mm dengan jarak maksimum
- Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan.

- c) Menghitung kuat geser yang disediakan tulangan

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

- d) Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_{c2} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

- $V_s < V_{c1}$, maka proses desain dapat dilakukan ke langkah berikutnya.
- $V_s > V_{c1}$ maka ukuran penampang harus diperbesar.

e) Menghitung luasan tulangan geser

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times (d_s)^2, \text{ dengan } n = \text{jumlah kaki sengkang}$$

f) Menghitung jarak tulangan sengkang berdasarkan hasil perhitungan:

$$S_1 = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s}$$

$$S_2 = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm, jika } V_s \leq V_{c1} \text{ (sesuai SNI-2847-2019 pasal 9.7.6.2.2 hal 202)}$$

$$S_2 = \frac{d}{4} \leq 300 \text{ mm, jika } V_{c1} < V_s \leq V_{c2} \text{ (sesuai SNI-2847-2019 pasal 9.7.6.2.2 hal 202)}$$

Spasang dipilih dari nilai yang terkecil.

g) Cek kapasitas geser

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n \geq V_u \text{ (AMAN)}$$

2.5.4 Perancangan Balok Induk

Balok induk merupakan penyangga struktur utama pada bangunan yang secara fisik mengikat kolom-kolom utama bangunan. Seluruh gaya-gaya yang bekerja pada balok ini akhirnya didistribusikan ke pondasi melalui kolom bangunan. Adapun langkah-langkah perhitungan balok induk sebagai berikut:

1. Menentukan dimensi balok induk

Untuk tinggi balok:

Sama seperti menentukan tinggi balok anak pada tabel 2.16 yang diatur pada SNI 2847-2019; Pasal 9.3.1; Hal-180.

Untuk lebar balok:

$$\text{Lebar balok } (b) = 1/2 - 2/3 h$$

2. Menentukan mutu beton (f_c') dan mutu baja (f_y) yang akan digunakan.

3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada balok induk kemudian di proses menggunakan *ETABS 2020* untuk mendapatkan gaya dalamnya.
4. Menentukan momen dan gaya geser maksimum berdasarkan dari hasil analisa menggunakan program *ETABS 2020*.
5. Menghitung tulangan tumpuan dan tulangan lapangan pada balok induk.
6. Menghitung tulangan geser

a) Gaya geser ultimit (V_u) yang telah didapat dari program *ETABS 2020* kemudian nilai V_u tersebut dihitung kembali sejarak x menggunakan *ETABS 2020* untuk mendapatkan gaya geser berdasarkan daerah lokasi penampangnya.

b) Memeriksa apakah membutuhkan tulangan geser

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

- Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, tidak dibutuhkan tulangan geser
- Jika $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$, dibutuhkan tulangan geser minimum, dapat dipasang tulangan sengkang vertikal berdiameter 10 mm dengan jarak maksimum
- Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan.

c) Menghitung kuat geser yang disediakan tulangan

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

d) Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{c1} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_{c2} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$V_s < V_{c1}$, maka proses desain dapat dilakukan ke langkah berikutnya.

$V_s > V_{c1}$ maka ukuran penampang harus diperbesar.

e) Menghitung luasan tulangan geser

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times (d_s)^2, \text{ dengan } n = \text{jumlah kaki sengkang}$$

f) Menghitung jarak tulangan sengkang berdasarkan hasil perhitungan:

$$S_1 = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{V_s}$$

$$S2 = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm, jika } V_s \leq V_{c1} \text{ (sesuai SNI-2847-2019 pasal}$$

9.7.6.2.2 hal 202)

$$S2 = \frac{d}{4} \leq 300 \text{ mm, jika } V_{c1} < V_s \leq V_{c2} \text{ (sesuai SNI-2847-2019 pasal}$$

9.7.6.2.2 hal 202)

Dalam SNI 2847-2019 pasal 18.6.4.4 hal 381 disebutkan bahwa jarak sengkang untuk struktur tahan gempa tidak boleh melebihi nilai terkecil dari nilai a) hingga c):

- a) $\frac{d}{4}$
- b) $6d_b$
- c) 150 mm

Spasang dipilih dari nilai yang terkecil.

h) Cek kapasitas geser

$$V_s = \frac{A_v \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n \geq V_u \text{ (AMAN)}$$

7. Menghitung tulangan torsi

a) Memeriksa apakah membutuhkan tulangan torsi

$$T_u > \frac{\phi T_{cr}}{4} \text{ (perlu tulangan torsi)}$$

b) Mengecek kecukupan dimensi penampang

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times P_h}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b \times d} + 0,66 \times \sqrt{f'c'}\right)$$

c) Penulangan transversal torsi

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan pasang}} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2}{s \text{ tumpuan pasang}}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan pasang}} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times ds^2}{s \text{ lapangan pasang}}$$

Kebutuhan tulangan transversal torsi:

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yt}}$$

Kebutuhan tulangan geser tumpuan:

$$\frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}} = \frac{\frac{Vu \text{ tumpuan}}{\phi - Vc}}{fyt \times d}$$

Kebutuhan tulangan geser lapangan:

$$\frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}} = \frac{\frac{Vu \text{ lapangan}}{\phi - Vc}}{fyt \times d}$$

Kebutuhan tulangan geser+torsi tumpuan:

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}} = \left(2 \times \frac{At}{s}\right) + \frac{A_v}{s \text{ tumpuan perlu}}$$

Cek geser + torsi tumpuan:

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan pasang}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ tumpuan perlu}}$$

Kebutuhan tulangan geser+torsi lapangan:

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}} = \left(2 \times \frac{At}{s}\right) + \frac{A_v}{s \text{ lapangan perlu}}$$

Cek geser + torsi lapangan:

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan pasang}} \geq \frac{A_{v+t}}{s \text{ lapangan perlu}}$$

d) Penulangan longitudinal torsi

Kebutuhan tulangan longitudinal torsi:

$$A_l = \frac{At}{s} \times P_h \times \frac{fyt}{fy}$$

$$A_{l \min} = 0,42 \times \sqrt{fc'} \times \frac{Acp}{fyt} - \frac{At}{s} \times P_h \times \frac{fyt}{fy}$$

$$A_{s \text{ perlu tumpuan atas}} = \frac{Mu^{(-)}}{fy \times (d - \frac{a}{2})}$$

$$A_{s \text{ perlu lapangan bawah}} = \frac{Mu^{(+)}}{fy \times (d - \frac{a}{2})}$$

$$\text{Spasi horizontal tumpuan} = \frac{b - 2ts - 2ds - db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1}$$

$$\text{Spasi vertikal tumpuan} = \frac{h - 2ts - 2ds - db}{n \text{ vertikal} - 1}$$

$$\text{Spasi horizontal lapangan} = \frac{b - 2ts - 2ds - db}{\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1}$$

$$\text{Spasi vertikal lapangan} = \frac{h - 2ts - 2ds - db}{n \text{ vertikal} - 1}$$

Spasi tulangan longitudinal lapangan ≤ 300 mm

$$A_s + A_{\text{lpasang tumpuan}} = (n \text{ tumpuan atas} + n \text{ tumpuan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2 + n \text{ tumpuan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2$$

Cek lentur + torsi tumpuan:

$$A_s + A_{\text{lpasang tumpuan}} \geq A_s + A_{\text{lperlu tumpuan}} \text{ (OKE)}$$

$$A_s + A_{\text{lpasang lapangan}} = (n \text{ lapangan atas} + n \text{ lapangan bawah}) \times \frac{\pi}{4} \times db^2 + n \text{ lapangan tengah} \times \frac{\pi}{4} \times dbt^2$$

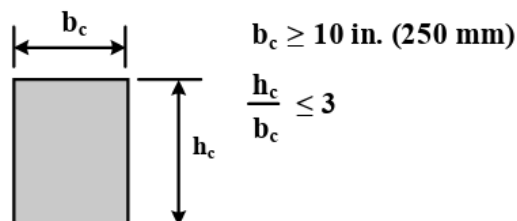
Cek lentur + torsi lapangan:

$$A_s + A_{\text{lpasang lapangan}} \geq A_s + A_{\text{lperlu lapangan}} \text{ (OKE)}$$

2.5.5 Perancangan Kolom

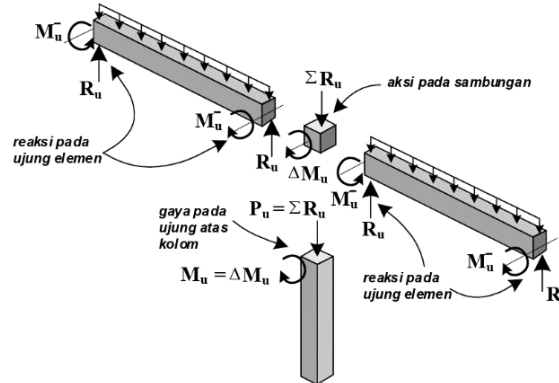
Kolom merupakan elemen struktur utama yang memikul beban kombinasi aksial tekan dan momen lentur. Kolom juga merupakan elemen struktur utama yang berperan penting dalam memikul beban lateral. Kolom perlu sesuai dengan batasan dimensi umum yang telah ditetapkan. Kolom dipasang vertikal dan menerus kebawah hingga pondasi, untuk bentuk kolom harus persegi atau bundar. Dimensi potongan penampang minimum untuk kolom persegi perlu sesuai dengan syarat :

- Dimensi tekecil potongan penampang tidak boleh kurang dari 250 mm
- Rasio dimensi panjang terhadap dimensi pendek pada potongan penampang tidak boleh lebih dari 3, kecuali pada sistem kolom slab, rasio tidak boleh melebihi 2.



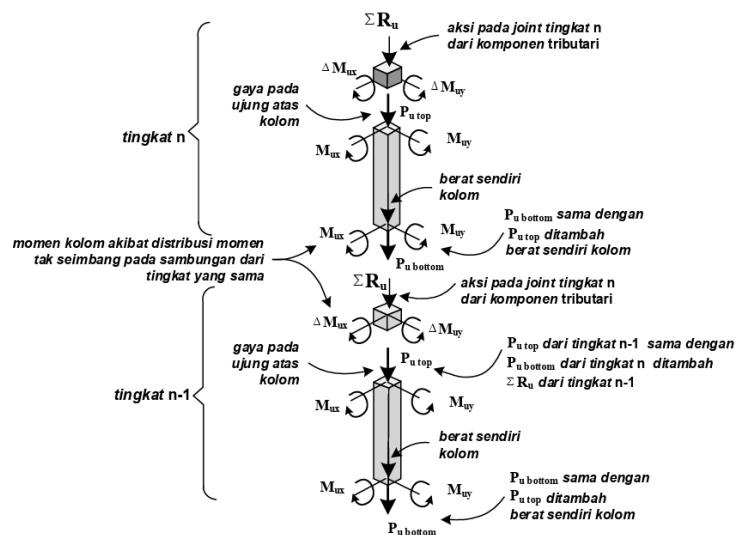
Gambar 2. 14 Ukuran minimum potongan penampang untuk kolom persegi.

(Sumber : SNI 8900 : 2020)



Gambar 2. 15 Beban dan momen kolom terfaktor dari lantai tunggal satu arah

(Sumber : SNI 8900 : 2020)



Gambar 2. 16 Beban dan momen kolom terfaktor dari lantai ganda

(Sumber : SNI 8900 : 2020)

Prose analisis dan desain untuk elemen kolom harus mempertimbangkan beberapa faktor bila kolom termasuk kolom panjang dan kolom pendek. Mulai dari tinggi/panjang kolom yang dipergunakan untuk menentukan rasio kelangsingan kolom (klu) dan ukuran penampang. Batasan antara kolom pendek dan kolom panjang sangat ditentukan oleh rasio kelangsingannya, pengaruh

kelangsingan boleh diabaikan jika (a) dan (b) terpenuhi yang telah di atur dalam SNI 2847-2019 hal. 91 yakni :

- a. Untuk elemen struktur bergoyang

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 22$$

Dimana :

k : faktor panjang efektif yang besarnya terganti pada kekangan -
kekangan rotasional dan lateral ujung-ujungnya

l_u : panjang kolom yang terkekang

r : jari - jari girasi penampang

- b. Untuk elemen struktur tidak bergoyang

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 34 + 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \text{ atau } \frac{k \times l_u}{r} < 40$$

Dimana :

k : faktor panjang efektif yang besarnya terganti pada kekangan-
kekangan rotasional dan lateral ujung-ujungnya

l_u : panjang kolom yang terkekang

r : jari - jari girasi penampang

M_1/M_2 : negatif jika kolom melentur dalam kurvatur tunggal atau positif
jika komponen struktur melentur dalam kurvatur ganda

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.2.5.1 ; hal 92, besaran jari-jari girasi
adalah:

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$$

Atau

$r = 0,3 \times \text{dimensi arah stabilitas yang ditinjau (kolom persegi)}$

$r = 0,3 \times D$ (kolom bulat)

Adapun langkah perhitungan kolom sebagai berikut.

1. Menentukan dimensi kolom

2. Menentukan mutu beton (f_c') dan mutu baja (f_y) yang akan digunakan.
3. Menentukan gaya aksial, momen, dan gaya geser pada kolom berdasarkan dari hasil analisa menggunakan program *ETABS 2020*.
4. Menghitung penulangan tulangan kolom
 - a.) Menghitung besar beban yang bekerja pada kolom, nilai ρ taksiran 1,5% - 3%.
 - b.) Menghitung $A_s = A_s' = \rho \times b \times d$
 - c.) Menentukan tulangan yang akan digunakan.

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \times d}$$

(Dispohusodo, hal 323)

Keterangan:

A_s = luas tulangan tarik non-prategang.

A_s' = luas tulangan tarik non-prategang.

ρ = rasio tulangan tarik non-prategang.

ρ' = rasio penulangan tekan non-prategang.

b = lebar daerah tekan komponen struktur.

d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik.

- d.) Memeriksa P_u terhadap beban seimbang.

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y}$$

$$a_b = \beta_1 \times C_b$$

$$\epsilon_s' = \frac{C_b - d'}{C_b} \times 0,003 f_y \text{ (tulangan tekan sudah luluh)}$$

$$f_s' = f_y$$

$$\phi P_{nb} = \phi \times (0,85 \times f_c' \times a_b \times b + (A_s' \times f_s' - A_s \times f_y))$$

(Dispohusodo, hal 324)

$\phi P_n < P_u$, beton hancur didaerah tekan.

$\phi P_n > P_u$, beton hancur didaerah tarik.

- e.) Memeriksa kekuatan penampang

- Akibat keruntuhan tekan

$$P_n = \frac{AS' \times f_y}{\frac{e}{(d-d')} + 0,05} + \frac{b \times h \times f_c'}{\frac{3 \times h \times e}{d^3} + 1,18}$$

- Akibat keruntuhan tarik

$$P_n = 0,85 f_c' b d \times \left[\left(\frac{h-2e}{2d} \right) + \sqrt{\left(\frac{h-2e}{2d} \right)^2 + 2 \left(\frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \right) p \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right]$$

(Disposusodo, hal 320 dan 322)

$$\phi P_n > P_u \text{ (AMAN)}$$

5. Menghitung tulangan geser kolom dengan cara:

Ambil nilai V_u terbesar beserta pasangan P_u .

$$V_c = \left(0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \right) b_w \cdot d$$

$$\phi V_c = 0,75 \times V_c$$

Dengan $\phi = 0,75$ (SNI 2847-2019; Pasal 21.2.1)

Syarat kemampuan penampang:

$$V_u \leq \phi (V_c + 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d) \text{ (OKE)}$$

Cek kebutuhan tulangan geser:

Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, tidak dibutuhkan tulangan geser

Jika $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u < \phi V_c$, dibutuhkan tulangan geser minimum

Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan

$$A_v = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times (d_s)^2$$

Menghitung jarak tulangan sengkang:

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.7.2; Hal 599; batas minimum penentuan jarak antar tulangan geser adalah:

$$S_{\min} = \frac{4}{3} \times d_{agg}$$

Jarak maksimum dari pusat ke pusat sengkang tidak melebihi nilai terkecil dari:

- $S_1 = 16 d_s$
- $S_2 = 48 d_b$
- $S_3 = 400 \text{ mm}$

$$S_{\min} \leq S_{\text{pasang}} \leq S_{\text{maks}} \text{ (OKE)}$$

Cek kapasitas geser:

$$V_s = \frac{Av \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$\phi V_n \geq V_u \text{ (AMAN)}$$

2.5.6 Perancangan Sloof

Sloof merupakan salah satu struktur bawah bangunan yang terletak diatas pondasi dan menghubungkan pondasi, fungsi dari sloof sebagai penahan beban yang ada diatasnya seperti dinding, jendela, kusen dan sejenisnya, selain itu sloof berfungsi sebagai pengikat antar kolom sehingga struktur bangunan menjadi kaku dan aman terhadap goncangan akibat angin, gempa dan lainnya.

Adapun langkah-langkah perhitungan sloof sebagai berikut:

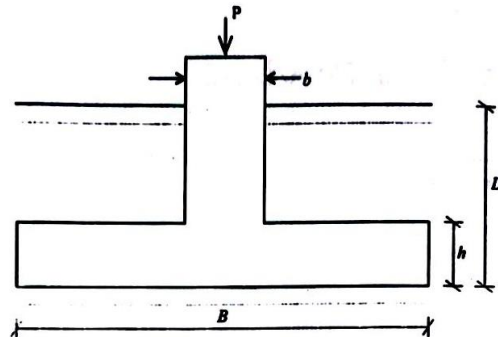
1. Menentukan dimensi sloof.
2. Menentukan mutu beton (f_c') dan mutu baja (f_y) yang akan digunakan.
3. Menghitung pembebanan yang terjadi pada sloof untuk kemudian di proses menggunakan program *ETABS 2020* untuk mendapatkan gaya dalamnya.
4. Menentukan momen dan gaya geser maksimum berdasarkan dari hasil analisa menggunakan program *ETABS 2020*.
5. Menghitung tulangan tumpuan dan tulangan lapangan pada sloof.
6. Menghitung tulangan geser.

2.5.7 Perancangan Pondasi

Pondasi merupakan struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas kedalam tanah sehingga bangunan bisa tetap berdiri dengan kuat dan stabil. Pondasi haruslah diperhitungkan untuk bisa menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban-beban bangunan, gaya-gaya luar seperti angin, gempa bumi, dan gaya luar lainnya.

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 13.1.1 hal. 259 pondasi yang digunakan dalam struktur bangunan gedung berdasarkan letak lapisan tanah keras

dibagi menjadi dua macam yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Dua jenis pondasi tersebut masing-masing memiliki macam struktur pondasi tersendiri, antara lain:



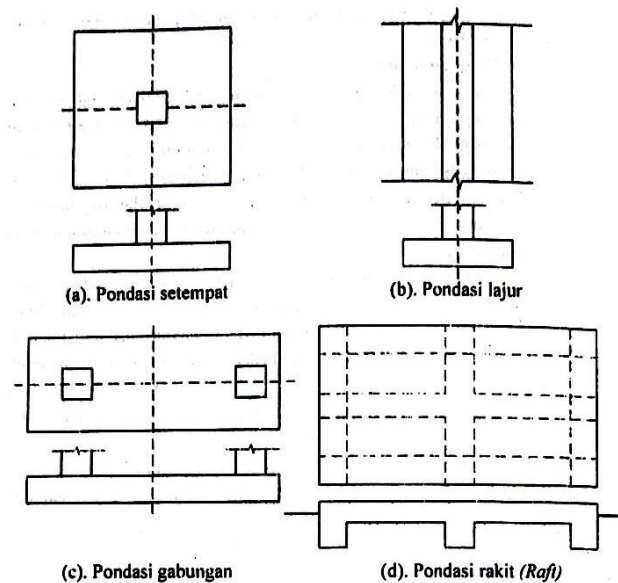
Gambar 2. 17 Parameter Klasifikasi Pondasi

(Sumber : *Handbook Yudha Lesmana* ; hal 372)

1. Pondasi dangkal (*shallow foundation*)

Pondasi dangkal merupakan pondasi yang lapisan tanah kerasnya berada dekat dengan permukaan tanah sehingga dapat memikul beban bangunan di atasnya. Pondasi ini dapat dikategorikan sebagai pondasi dangkal, jika perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dan lebar pondasi (B) adalah $\frac{D}{B} < 4$.

Adapun jenis-jenis dari pondasi dangkal :



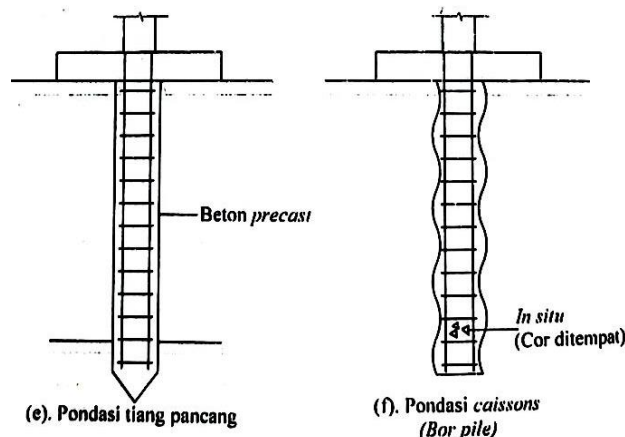
Gambar 2. 18 Jenis Pondasi Dangkal

(Sumber : *Handbook Yudha Lesmana* ; hal 376)

- a.) Pondasi lajur/menerus; merupakan jenis pondasi dangkal yang bentuk dimensinya memanjang mengikuti struktur atasnya. Biasanya kedalaman pondasi ini 0,8 – 1,2 m dari permukaan tanah.
- b.) Pondasi setempat; merupakan jenis pondasi yang lokasinya sesuai dengan posisi kolom dari struktur bangunan. Umumnya bentuk pondasi ini adalah berbentuk persegi dengan ketebalan minimum ($t \geq 150 \text{ mm}$), berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 13.3.1.2; Hal 265.
- c.) Pondasi gabungan; pada dasarnya merupakan jenis pondasi setempat, namun dikarenakan lokasi antara kolom berdekatan dengan pelat pondasi, sehingga untuk memberikan efisiensi yang optimal, pondasi setempat digabung menjadi satu dan membentuk pondasi gabungan.
- d.) Pondasi rakit (*raft foundation*); merupakan jenis pondasi dangkal yang dimensinya seluas bangunan. Jenis pondasi ini umumnya digunakan bila jenis tanah yang digunakan sangat buruk atau memiliki daya dukung ijin yang relatif kecil sehingga agar gaya (tegangan) yang diberikan dari struktur atas menjadi lebih kecil, maka luasan pondasi diperluas.

2. Pondasi dalam (*deep foundation*)

Pondasi dalam merupakan pondasi yang lapisan tanah kerasnya berada sangat jauh dari permukaan tanah sehingga butuh media tambahan. Pondasi ini dapat dikategorikan sebagai pondasi dalam jika perbandingan antara kedalaman pondasi (D) dan lebar pondasi (B) adalah $\frac{D}{B} > 10$. Sedangkan bila $4 < \frac{D}{B} < 10$ maka tergolong pondasi semi dalam. Adapun jenis-jenis dari pondasi dalam:



Gambar 2. 19 Jenis Pondasi Dalam
(Sumber : *Handbook Yudha Lesmana* ; hal 376)

- a.) Pondasi tiang pancang; merupakan jenis pondasi dalam yang menggunakan beton *precast* sebagai media yang ditanam. Pondasi jenis ini banyak digunakan, dikarenakan dari segi kualitas beton sangat terjamin karena dibuat dipabrik dan memungkinkan untuk digunakan dengan kedalaman yang lebih dalam. Elemen pendukung dari pondasi ini adalah pile cap yang berfungsi mentransfer gaya dari kolom ke tiang pancang.
- b.) Pondasi *bore pile (caissons)*; merupakan jenis pondasi dalam yang menggunakan metode pengerjaannya diawali dengan pengeboran tanah sesuai dengan diameter tiang yang direncanakan. Selanjutnya, besi tulangan yang sudah disusun kemudian dimasukan kedalam lubang tersebut dan dilakukan pengecoran di tempat (*cast in situ*). Salah satu yang perlu diperhatikan disini adalah menjaga kualitas mutu beton yang langsung dicor didalam tanah.

Pada laporan akhir ini, pondasi yang digunakan adalah pondasi tiang pancang dilengkapi data sondir. Adapun langkah – langkah perhitungan pondasi tiang pancang dan pile cap sebagai berikut.

1. Menentukan gaya aksial dan momen maksimum yang bekerja pada pondasi berdasarkan dari hasil analisa menggunakan program *ETABS* 2020.

2. Perhitungan pembebanan gaya dalam untuk perhitungan dimensi pondasi. Pada tahap ini gaya aksial (P) yang digunakan merupakan hasil dari kombinasi beban *service* (beban tak terfaktor) yang kemudian akan dijumlahkan dengan beban tambahan seperti berat kolom pedestal, berat pile cap dan berat tanah diatas pile cap.

3. Perhitungan daya dukung izin

Daya dukung izin berdasarkan:

- a) Kekuatan bahan tiang pancang

$$\begin{aligned} P_{\text{bahan}} &= (0,3 \times f_c \times A_{\text{tiang}}) - W_{\text{tp}} \\ &= (0,3 \times f_c \times A_{\text{tiang}}) - A \times L \times \gamma_c \end{aligned}$$

- b) Kekuatan tanah

Nilai q_c dan jumlah hambatan perekat (JHP) diperoleh dari data sondir.

$$P_{\text{ijin}} = \frac{q_c \times A}{3} + \frac{JHP \times K}{5}$$

4. Menentukan jumlah tiang pancang dan jarak tiang pancang

$$n = \frac{P_{\text{tot}}}{P_{\text{ijin}}}$$

Menentukan jarak tiang pancang:

Jarak antar tiang (as ke as): $2,5D \leq s \leq 4D$

Jarak antar tiang ke tepi pile cap: $1,5D \leq s \leq 2D$

5. Menentukan panjang penyaluran

Pajang penyaluran kondisi tarik:

$$l_d = \frac{f_y \times \Psi_t \times \Psi_e}{1,7 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b$$

Panjang penarikan kait standar:

$$l_{dh} = \frac{0,24 \times f_y \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b$$

$$l_{dh} = 8d_b \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

Panjang kait lurus:

$$l_{\text{ext}} = 12d_b$$

Panjang Penyaluran kondisi tekan:

$$l_{dc} = \frac{0,24 \times f_y \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f_{c'}}} \times d_b$$

6. Menentukan gaya tekan pada tiang pancang (*beban service*)

$$P_i = \frac{P}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\sum Y^2}$$

Dimana:

P_i = Gaya pada tiang pancang yang ditinjau pada titik i

n = Jumlah total tiang dalam pile cap

M_x = Momen yang berputar pada sumbu x pada pile cap

M_y = Momen yang berputar pada sumbu y pada pile cap

X dan Y = Jarak tiang pancang terhadap titik beratbaik dari arah X dan Y

7. Cek kapasitas tiang pancang

Kapasitas per- unit tiang pancang:

$P_{max} < P_{ijin}$ (**OKE**)

Kapasitas kelompok:

$$E_g = 1 - \tan^{-1} \frac{ds}{s} \times \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

Dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

ds = Ukuran penampang tiang pancang (diameter atau panjang sisi)

S = Jarak anatar tiang dari as ke as

m = Jumlah tiang arah melintang

n = Jumlah tiang arah memanjang

$Q_{ug} = P_{ijin} \times n \times E_g$

$Q_{ug} > P_{tot}$ (**OKE**)

Hal ini menandakan bahwa dimensi pondasi tiang pancang yang direncanakan kuat memikul beban yang direncanakan.

8. Analisa *punching shear* pada pondasi

Tinggi efektif arah x :

$$d_x = h - t_s - \left(\frac{d_b}{2}\right)$$

Tinggi efektif arah y:

$$d_y = h - t_s - d_b - \left(\frac{d_b}{2}\right)$$

Jadi, tinggi efektif (d)

$$d = \left(\frac{d_x + d_y}{2}\right)$$

Perhitungan geser ultimate (V_u):

Aksi dua arah:

$$A_{eff} = (p \times l) - ((c+d) \times (c+d))$$

$$V_u = \left(\frac{P_u}{A}\right) \times A_{eff}$$

Aksi satu arah:

$$A_{eff} = p \times \left(\frac{p}{2}\right) - \left(\frac{c}{2}\right) - d$$

$$V_u = \left(\frac{P_u}{A}\right) \times A_{eff}$$

9. Analisa *nominal punching shear* kondisi dua arah

- **Geser 2 Arah disekitar Kolom**

$$b_0 = 4 \times (c + d)$$

$$\beta_c = \left(\frac{\text{sisi panjang kolom}}{\text{sisi pendek kolom}}\right)$$

α_s = ditentukan berdasarkan posisi kolom; 40 untuk kolom tengah, 30 untuk kolom tepi, dan 20 untuk kolom sudut

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 22.6.5.2; Hal 499, besaran nilai kuat geser (*nominal punching*) ketika tulangan geser diabaikan dalam perhitungan adalah nilai terkecil dari:

$$V_{c1} = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_0 \times d$$

$$V_{c2} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_0 \times d$$

$$V_{c3} = 0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha_s \times d}{b_0}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c'} \times b_0 \times d$$

- **Geser 2 Arah disekitar Tiang Pancang**

$$b_0 = 2 \times \left(S_1 + \frac{s}{2} + \frac{d}{2}\right)$$

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 22.6.5.2; Hal 499, besaran nilai kuat geser (*nominal punching*) ketika tulangan geser diabaikan dalam perhitungan adalah nilai terkecil dari:

$$V_{c1} = 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d$$

$$V_{c2} = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d$$

$$V_{c3} = 0,083 \times \left(2 + \frac{\alpha_s \times d}{b_o}\right) \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b_o \times d$$

10. Analisa *nominal punching shear* kondisi satu arah

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 22.5.5.1; Hal 499, besaran nilai kuat geser (*nominal punching*) ketika tulangan geser diabaikan dalam perhitungan untuk perilaku satu arah yaitu:

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_{c'}} \times b \times d$$

11. Menghitung gaya tekan tiang pancang (*beban ultimate*)

$$P_i = \frac{P_u}{n} \pm \frac{M_y X_i}{\sum X^2} \pm \frac{M_x Y_i}{\sum Y^2}$$

12. Desain tulangan lentur pile cap

• **Tulangan arah X (M_y):**

$$R_n = \frac{M_{uy}}{\phi \times b \times d^2}$$

$$\rho = 0,85 \times \frac{f_{c'}}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right]$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \times \frac{420}{f_y} = \text{atau}$$

$$\rho_{\min} = 0,0014 \text{ (karena } f_y \geq 420 \text{ MPa).}$$

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

Terkait batas maksimal spasi tulangan lentur pelat, berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 7.7.2.3; Hal 126, nilai maksimal spasi pelat adalah:

$$S_{\max} = 3h$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \times \frac{b}{A_s}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \times \frac{b}{s}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$\phi My = \phi \times 0,85 \times fc' \times a \times b \times \left(dx - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi My > My \text{ (AMAN)}$$

• **Tulangan arah Y (Mx):**

$$Rn = \frac{Mux}{\phi \times b \times dy^2}$$

$$\rho = 0,85 \times \frac{fc'}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times fc'}} \right]$$

$$\rho_{\min} = 0,0018 \times \frac{420}{fy} \text{ atau}$$

$$\rho_{\min} = 0,0014 \text{ (karena } fy \geq 420 \text{ MPa).}$$

$$As = \rho \times b \times dy$$

Terkait batas maksimal spasi tulangan lentur pelat, berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 7.7.2.3; Hal 126, nilai maksimal spasi pelat adalah:

$$S_{\max} = 3h$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

$$S = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times \frac{b}{As}$$

$$As = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times \frac{b}{s}$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$\phi Mx = \phi \times 0,85 \times fc' \times a \times b \times \left(dy - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi Mx > Mx \text{ (AMAN)}$$

13. Desain tulangan lentur pile cap

$$As_{\min} = \rho_{\min} \times b \times d$$

$$S = \frac{\pi}{4} \times db^2 \times \frac{b}{As}$$

Berdasarkan SNI 8900-2020, nilai maksimal spasi tulangan susut yang di gunakan lebih kecil dari yang ditentukan maka di perbolehkan:

$$S_{\max 1} = 4 \times h$$

$$S_{\max 2} = 350 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \times \frac{b}{s}$$

$$A_s > A_{s\min} \text{ (OKE)}$$

2.6 Manajemen Proyek

Manajemen proyek (pengelolaan proyek) merupakan suatu proses merencanakan, mengorganisir, mengarahkan dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh, manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hirarki (arus kegiatan) vertical maupun horizontal.

2.6.1 Rencana Kerja dan Syarat- Syarat (RKS)

Rencana kerja dan syarat-syarat (RKS) merupakan segala ketentuan dan informasi yang diperlukan terutama hal-hal yang tidak dapat dijelaskan dengan gambar-gambar yang harus dipenuhi oleh kontraktor pada saat akan mengikuti pelelangan maupun pada saat melaksanakan pekerjaan yang akan dilakukan nantinya. Umumnya isi dari RKS terdiri dari tiga bagian yaitu umum, administrasi dan teknis.

1. Syarat-syarat Umum

Syarat-syarat umum ini berisi keterangan atau penjelasan tentang:

- a) Pemberi tugas atau pemilik proyek
- b) Mengenai perencanaan, pengawas, pemborong atau kontraktor
- c) Mengenai syarat peserta lelang
- d) Mengenai prosedur pengadaan atau pelelangan mulai dari bentuk surat
- e) Bentuk surat penawaran dan cara penyampaiannya.

2. Syarat-syarat Administrasi

Syarat ini biasanya berisi tentang hal-hal sebagai berikut :

- a) Peraturan- peraturan pelaksanaan
- b) Rencana kerja
- c) Jangka waktu pelaksanaan pekerjaan
- d) Tanggal waktu penyerahan
- e) Syarat pembayaran
- f) Denda atas keterlambatan
- g) Besar jaminan penawaran
- h) Besar jaminan pelaksanaan
- i) Penandatanganan surat perjanjian pemborongan (kontrak)
- j) Pekerjaan tambah atau kurang
- k) Buku harian, laporan-laporan (harian, mingguan)
- l) Pemberian pekerjaan kepada pihak ketiga
- m) Perselisihan
- n) Aturan pembayaran; dan lain-lain

3. Syarat-syarat teknis

Syarat ini biasanya berisi tentang hal-hal sebagai berikut :

- a) Jenis dan uraian pekerjaan
- b) Jenis dan mutu bahan yang digunakan
- c) Cara pelaksanaan pekerjaan mulai dari bagian pekerjaan persiapan sampai dengan pekerjaan penyelesaian
- d) Merk material atau bahan

Untuk dapat menyusun rencana kerja untuk sebuah proyek, maka harus dibutuhkan:

- 1. Gambar kerja proyek
- 2. Rencana anggaran biaya pelaksanaan proyek
- 3. *Bill of quality (BOQ)* atau daftar volume pekerjaan
- 4. Data lokasi proyek berada

5. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub-kontraktor yang tersedia disekitar lokasi pekerjaan proyek berlangsung
6. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub-kontraktor yang harus didatangkan ke lokasi proyek
7. Data kebutuhan tenaga kerja dan ketersediaan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan
8. Data cuaca atau musim di lokasi pekerjaan proyek
9. Data jenis transportasi yang dapat digunakan disekitar lokasi proyek
10. Metode kerja yang digunakan untuk melaksanakan masing-masing item pekerjaan
11. Data kapasitas produksi meliputi peralatan, tenaga kerja, sub-kontraktor, material
12. Data keuangan proyek meliputi arus kas cara pembayaran pekerjaan, tenggang waktu pembayaran progres, dan lainnya

2.6.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya (RAB) adalah suatu acuan atau metode penyajian rencana biaya yang harus dikeluarkan dari awal pekerjaan dimulai hingga pekerjaan tersebut selesai dikerjakan. Rencana biaya harus mencakup dari keseluruhan kebutuhan pekerjaan tersebut, baik itu biaya material atau bahan yang diperlukan. Secara garis besar RAB terdiri dari 3 komponen utama yaitu sebagai berikut :

1. Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada pada suatu proyek pembangunan. Volume pekerjaan dihitung dalam setiap jenis pekerjaan. Volume pekerjaan ini berguna untuk menunjukkan banyaknya suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan bisa dalam satuan panjang, luasan, maupun isi atau volume terhadap bahan yang digunakan.

2. Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan merupakan perhitungan biaya-biaya per satuan volume yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang terdapat dalam suatu proyek pembangunan. Harga satuan ini berguna agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan setiap pekerjaan yang ada. Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di setiap daerah berbeda-beda. Jadi, dalam menghitung dan menyusun anggaran biaya suatu bangunan atau proyek, harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi pekerjaan.

Dari volume dan harga satuan tersebut dapat disusun rencana anggaran biayanya yang disesuaikan dengan jenis pekerjaannya seperti contoh sebagai berikut.

- a) Pekerjaan persiapan meliputi:
 - 1. Pekerjaan mobilisasi alat dan bahan
 - 2. Pekerjaan pembersihan lahan
 - 3. Pekerjaan pemasangan *bowplank*
- b) Pekerjaan pondasi meliputi:
 - 1. Pekerjaan galian tanah
 - 2. Pekerjaan lantai kerja
 - 3. Pekerjaan urugan pasir
 - 4. Pekerjaan urugan tanah kembali
- c) Pekerjaan beton bertulang meliputi:
 - 1. Pekerjaan sloof
 - 2. Pekerjaan kolom
 - 3. Pekerjaan ring balok
 - 4. Pekerjaan lantai beton

Dari masing-masing item pekerjaan tersebut dihitung volume pekerjaan dan analisa harga satuannya masing-masing kemudian dibuat rekapitulasi harga pekerjaan.

3. Rekapitulasi Anggaran Biaya

Rekapitulasi anggaran biaya merupakan bagian akhir dari perhitungan rencana anggaran biaya bangunan yang berfungsi untuk merekap hasil perhitungan analisa harga satuan sehingga mudah dibaca dan dipahami.

Sebelum membuat rekapitulasi anggaran biaya terlebih dahulu dihitung harga tiap – tiap item pekerjaannya. Rekapitulasi anggaran biaya hanya diwakilkan dengan masing masing sub pekerjaannya. Adapun contoh sub pekerjaan yang dituliskan didalam rekapitulasi anggaran biaya antara lain:

- a) Pekerjaan persiapan
- b) Pekerjaan pondasi
- c) Pekerjaan beton bertulang

2.6.3 Rencana Kerja (*Time Schedule*)

Rencana kerja merupakan serangkaian tujuan dan proses yang bisa membantu untuk mencapai tujuan pembangunan. Rencana kerja pada suatu proyek konstruksi dapat dibuat dalam bentuk berikut ini:

1. *Network Planning* (NWP)

Menurut Sofwan Badri (1997), *Network planning* merupakan suatu hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (variables) yang digambarkan/divisualisasikan dalam *diagram network*. Berikut ini merupakan manfaat NWP adalah sebagai berikut:

- Mengkoordinasi antar kegiatan.
- Mengetahui apakah suatu kegiatan tergantung atau tidak dengan kegiatan yang lainnya.
- Mengetahui pekerjaan apa yang harus lebih dahulu diselesaikan.
- Mengetahui berapa hari suatu proyek dapat diselesaikan.

Menurut Sofwan Badri (1997) dalam buku Dasar- Dasar *Network Planning* menjelaskan data-data yang diperlukan dalam menyusun NWP adalah sebagai berikut:

a.) Urutan pekerjaan yang logis

Harus disusun pekerjaan apa yang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum pekerjaan dimulai, dan pekerjaan apa saja yang kemudian mengikutinya.

b.) Taksiran waktu penyelesaian setiap pekerjaan

Biasanya memakai waktu rata-rata berdasarkan pengalaman. Jika proyek tersebut baru biasanya diberi kelonggaran waktu.

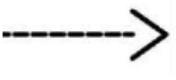
c.) Biaya untuk mempercepat pekerjaan

Ini berguna apabila pekerjaan-pekerjaan yang berada pada jalur-jalur kritis ingin dipercepat agar seluruh proyek segera selesai. Misalnya biaya-biaya lembur, biaya menambah tenaga kerja dan sebagainya.

Beberapa simbol yang biasa digunakan dalam *network planning*:

Tabel 2. 23 Simbol-simbol *Network Planning*

No.	Simbol	Keterangan
1.		Arrow , bentuknya merupakan anak panah yang artinya aktivitas/kegiatan merupakan suatu pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan: “ <i>duration</i> ” (jangka waktu tertentu) dan “ <i>resources</i> ” (tenaga, <i>equipment</i> , material dan biaya) tertentu.
2.		Node/event , bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian : adalah permulaan atau akhir dari satu atau lebih kegiatan-kegiatan.
3.		Double arrow , anak panah sejajar, merupakan kegiatan di lintasan kritis (<i>critical path</i>).

4.		Dummy , bentuknya merupakan anak panah terputus- putus yang artinya kegiatan semu atau aktivitas semu merupakan bukan kegiatan/aktivitas tetapi dianggap kegiatan/ aktivitas, hanya saja tidak membutuhkan <i>duration</i> dan <i>resource</i> tertentu.
----	---	---

(Sumber: Drs. Sofwan Badri;1991)

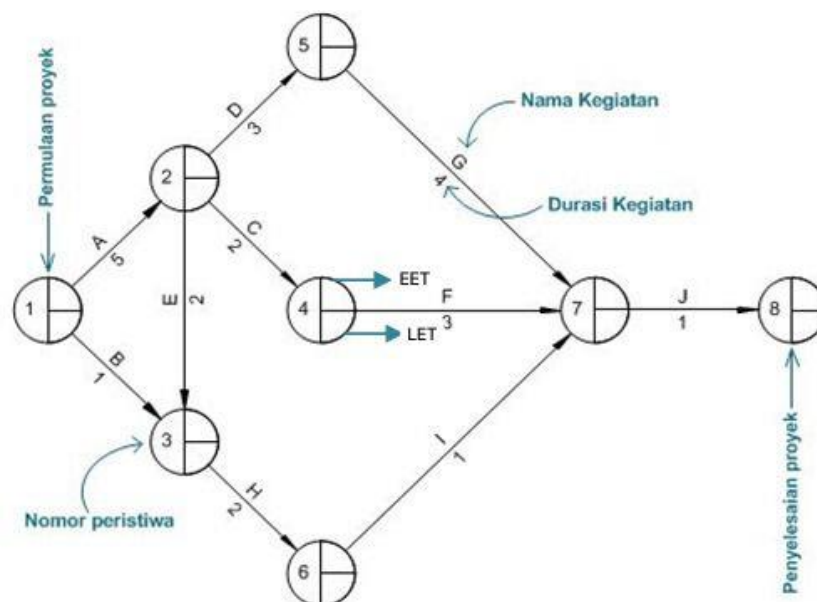
Menurut Haming dan Nurnajamuddin (2011), langkah-langkah penyusunan diagram jaringan kerja (*network planning*) adalah sebagai berikut:

1. Merumuskan visi (*vision*) dan tujuan (*goals*) dari proyek, visi dan tujuan proyek akan menjadi dasar perumusan kegiatan.
2. Mengidentifikasi pekerjaan yang harus diselesaikan pada proyek yang bersangkutan.
3. Mengidentifikasi urutan pelaksanaan pekerjaan sehingga pengerjaan berlangsung secara sistematis.
4. Mengidentifikasi waktu pengerjaan setiap pekerjaan yang ada.
5. Membuat diagram pengerjaan proyek.
6. Menetapkan jalur kritis proyek.
7. Menghitung standar deviasi jalur kritis proyek.
8. Menghitung probabilitas penyelesaian proyek sesuai yang diminta oleh pemilik proyek.
9. Menghitung biaya nyata proyek.
10. Mengevaluasi alternatif percepatan yang mungkin.

Menurut Sofwan Badri (1997), Ada beberapa hal yang perlu diingat sebelum menggambarkan diagram *network planning* yaitu:

- a.) Panjang, pendek maupun kemiringan anak panah sama sekali tidak memiliki arti, dalam pengertian letak pekerjaan, banyaknya durasi dan *resources* yang dibutuhkan.

- b.) Aktivitas-aktivitas apa yang mendahului dan aktivitas apa yang mengikutinya.
- c.) Aktivitas-aktivitas apa yang dapat dikerjakan bersama-sama.
- d.) Aktivitas-aktivitas itu dibatasi saat mulai dan saat selesai.
- e.) Waktu, biaya dan *resources* yang dibutuhkan dari aktivitas-aktivitas tersebut.
- f.) Kepala anak panah menjadi pedoman arah dari setiap kegiatan.
- g.) Besar kecilnya lingkaran juga tidak memiliki arti, dalam pengertian penting tidaknya suatu peristiwa.



Gambar 2. 20 Activity Network Diagram

2. Barchart

Barchat adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal dan kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir dari sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang. Proses penyusunan barchat dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
2. Urutan pekerjaan, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
3. Waktu pelaksanaan pekerjaan adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan.

Adapun keuntungan dan kerugian dalam penggunaan Barchat, yaitu:

- Keuntungan:
 - a.) Bentuknya sederhana
 - b.) Mudah dibuat
 - c.) Mudah dimengerti
 - d.) Mudah dibaca
- Kerugian:
 - a.) Hubungan antara pekerjaan yang satu dengan yang lain kurang jelas
 - b.) Sulit digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar.
 - c.) Sulit untuk mengadakan perbaikan atau pembaharuan (*updating*), karena umumnya harus dilakukan dengan membuat *barchat* baru.

3. Kurva S

Kurva S adalah kurva yang menggambarkan kumulatif progress pada setiap waktu dalam pelaksanaan pekerjaan. Kurva tersebut dibuat berdasarkan rencana atau pelaksanaan *progress* pekerjaan dari setiap kegiatan. Manfaat dan kegunaan kurva s:

- Sebagai informasi untuk mengontrol pelaksanaan suatu proyek dengan cara membandingkan deviasi antara kurva rencana dengan kurva realisasi.
- Sebagai informasi untuk pengambilan keputusan berdasarkan perubahan kurva realisasi terhadap kurva rencana. Perubahan ini bisa dalam bentuk presentase pekerjaan lebih cepat atau lebih lambat dari waktu yang sudah ditentukan untuk menyelesaikan proyek.
- Sebagai informasi kapan waktu yang tepat untuk melakukan tagihan kepada *owner* ataupun melakukan pembayaran kepada *supplier*.