

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Istilah konstruksi bangunan merupakan suatu rangkaian dari beberapa elemen yang direncanakan mampu menerima beban dari luar maupun beban dari dalam (berat sendiri) tanpa mengalami perubahan bentuk yang melampaui batas persyaratan. Untuk melaksanakan pekerjaan konstruksi bangunan terlebih dahulu dilakukan tahap perencanaan.

Perancangan merupakan suatu kegiatan yang sangat penting sebelum dilakukannya pelaksanaan proyek. Kesalahan dalam perancangan akan mengakibatkan terhambatnya kegiatan dalam suatu proyek konstruksi bangunan. Perancangan yang baik dan sangat matang tidak hanya dapat mengurangi kerugian tetapi juga dalam menghasilkan konstruksi yang baik dan aman serta dapat menghemat waktu dan tenaga dalam pengerjaannya. Ada 3 aspek yang harus diperhatikan perencana dalam melakukan analisa struktur yakni beban, kekuatan bahan dan keamanan. Adapun tahapan perencanaan sebuah konstruksi bangunan antara lain sebagai berikut :

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

Pada tahap pra – perancangan ini, ahli struktur 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 (Konstruksi) 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

Ruang lingkup perancangan meliputi beberapa tahapan yaitu tahapan persiapan, tahap studi kelayakan, tahap desain bangunan, tahap perhitungan struktur, dan tahap perhitungan biaya.

2.2.1 Perancangan Konstruksi

Struktur adalah suatu kesatuan dan rangkaian dari beberapa elemen yang dirancang agar mampu menerima beban luar maupun berat sendiri anpa mengalami perubahan bentuk yang melampaui batas persyaratan. Struktur sendiri berfungsi sebagai kerangka bangunan yang menopang semua beban yang diterima oleh bangunan tersebut. Ada 2 struktur pendukung selain struktur utamanya beton bertulang, yang biasanya terdapat pada bangunan, antara lain sebagai berikut :

a. Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Yang dimaksud struktur bangunan atas yaitu sruktur bangunan yang harus mampu mewujudkan perancangan estetika dari segi arsitektur dan harus mampu menjamin mutu baik dari segi struktur yaitu keamanan maupun kenyamanan bagi penggunanya. Adapun struktur atas dari suatu bangunan antara lain : struktur atap, struktur pelat lantai, struktur tangga, struktur balok, serta struktur kolom.

b. Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Yang dimaksud struktur bangunan bawah yaitu struktur pendukung bangunan yang menerima beban dari struktur atas, untuk diteruskan ke tanah yang berada

dibawahnya. Adapun struktur bangunan bawah pada suatu bangunan yaitu : struktur sloof, dan struktur pondasi.

Pemilihan jenis struktur atas akan sangat berpengaruh pada sistem fungsional gedung. Dalam mendesain struktur perlu di cari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah – masalah yang akan memberikan dampak pada struktur tersebut. Adapun masalah – masalah yang menjadi faktor pemilihan struktur dibagi menjadi beberapa aspek yaitu sebagai berikut :

1) Fungsional

Dalam perancangan struktur yang baik sangat perlu memperhatikan fungsi dari bangunan tersebut. Kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.

2) Kekuatan dan Kestabilan Struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur memiliki hubungan erat dengan kemampuan struktur dalam menahan beban – beban yang bekerja, baik beban arah vertikal dan horizontal. Kestabilan struktur adalah keadaan seimbang dari struktur setelah menerima beban – beban tersebut.

3) Arsitektur

Pengolahan elemen – elemen struktur dengan memperhatikan segi estetika seperti perencanaan denah, gambar tampak, potongan, *perspektif*, *interior* dan *eksterior*.

4) Ekonomi dan Kemudahan Pelaksanaan

Struktur yang dirancang harus mampu memikul beban yang akan bekerja pada suatu bangunan tersebut secara aman tanpa adanya kelbihan tegangan atau deformasi yang melampaui batas izin. Tetapi dalam perencanaan juga harus memperhatikan segi ekonomi dan harus memperhatikan kondisi yang memungkinkan terjadinya keamanan dan kenyamanan dala pelaksanaannya.

5) Lingkungan

Aspek lingkungan adalah salah satu aspek lain yang ikut menentukan dalam perencanaan dan pelaksanaan suatu proyek. Aspek ini juga bisa menjadi ujuan utama dalam suatu pembangunan proyek. Misalnya, dengan adanya pembangunan ini diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan yang

menjadi lokasi proyek tersebut serta memberikan dampak yang baik bagi masyarakat di sekitar lokasi proyek. Aspek lingkungan juga menjadi bahan pertimbangan perencana dalam mengambil tindakan untuk mengurangi dampak buruk yang akan terjadi.

2.2.2 Dasar – Dasar Perhitungan

Dalam perancangan struktur Gedung , penulis berpedoman pada peraturan – peraturan yang telah ditetapkan dan berlaku di Indonesia. Peraturan yang digunakan antara lain :

- a. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (**SNI 2847 : 2019**). SNI ini merupakan acuan perhitungan struktur yang membuat aturan beton – beton hingga penulangan yang digunakan.
- b. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (**SNI 1727 : 2020**). Pedoman ini digunakan untuk menentukan beban minimum dalam merancang bangunan gedung dan struktur lain.
- c. Pedoman Perancangan Pembebanan untuk Atap Rumah dan Gedung (**SNI 1729:2002**) untuk merancang Atap baja berat metode LRFD.
- d. Pedoman Perancangan Pelat Lantai menggunakan **Tabel PBI 1971** untuk mengetahui nilai koefisien untuk momen pada Tumpuan dan Lapangan Pelat.
- e. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non-Gedung (**SNI 1726 : 2019**).

Suatu struktur bangunan gedung harus dirancang untuk mampu memenuhi nilai kekuatan dan kekokohan suatu bangunan terhadap beban – beban yang bekerja pada struktur tersebut. Menurut **SNI 1727 : 2020**, beban adalah gaya aksi atau lainnya akibat berat seluruh bahan bangunan, penghuni dan barang – barang yang dimilikinya, efek lingkungan, perbedaan pergerakan dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi. Beban – beban tersebut antara lain :

1) **Beban Mati**

Beban mati merupakan beban gravitasi yang berasal dari berat semua komponen gedung atau bangunan yang bersifat permanen selama masa operasional struktur tersebut. Termasuk pula kedalam jenis beban mati adalah unsur – unsur

tambahan, mesin serta peralatan tetap yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Selain itu berat sendiri struktur, sistem perpipaan, jaringan listrik, penutupan lantai, serta plafond juga termasuk jenis beban mati.

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan Gedung

Bahan Bangunan	Berat Sendiri
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	2.200 kg/m ³
Beton Bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas 1)	1.000 kg/m ³
Kerikil, Koral (Kering udara sampai lembab, tanpa ayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan Bata Merah	1.700 kg/m ³
Pasangan Batu Belah, Batu Bulat, 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 Lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (Jenuh Air)	1.800 kg/m ³
Pasir Kerikil, Koral (Kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (Kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, Lempung dan Lanau (Basah)	2.000 kg/m ³
Timah Hitam (Timbel)	11.400 kg/m ³

(Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1989, hal 2)

Tabel 2. 2 Berat Sendiri Komponen Bangunan Gedung

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 penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan 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 (eternity 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 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	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

(Sumber : Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1989, hal 2-3)

Catatan :

- a) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.
- b) Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.
- c) Nilai ini adalah nilai rata – rata untuk jenis kayu tertentu, lihat Pedoman Perencanaan Konstruksi Kayu.

2) Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang termasuk dalam kategori beban gravitasi, yaitu timbul akibat penggunaan suatu gedung selama masa layan gedung tersebut. Kategori yang dimaksudkan dalam penggolongan beban hidup diantaranya; beban manusia, kendaraan, barang/benda yang berpindah yang letaknya tidak permanen. Oleh karena besar dan lokasi beban hidup yang berubah – ubah, maka penentuan beban hidup dengan tepat merupakan suatu hal yang cukup sulit. Khusus pada pelat atap beban hidup dapat termasuk beban air hujan, akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air.

Tabel 2. 3 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, Lo

Hunian atau Penggunaan	Mera psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem Lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2 000 (8,9)
Ruang computer	100 (4,79)	2 000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan	60 (2,87)	
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79)	
Lobi	100 (4,79)	

Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
Panggung pertemuan	150 (7,18)	
Lantai podium	100 (4,79)	
Tribun penonton	60 (2,87)	
Stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)		
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 aera 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelesaian terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	

Tangga Permanen	Lihat pasal 4.5.4	
Garasi/parkir (Lihat pasal 4.10)		
Mobil penumpang saja	40 (1,92)	Lihat
Truk dan bus	Lihat Pasal 4.10.2	4.10.1
		Lihat 4.10.2
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4.5.1	
Helipad (Lihat Pasal 4.11)		
Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 3.000 lb (13,35 kN) atau kurang	40 (1,92)	Lihat Pasal 4.11.2
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)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Hotel (Lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00)	2 000 (8,90)
Berat	250 (11,97)	3 000 (13,35)
Gedung perkantoran		
Ruang arsip dan computer harus	100 (4,79)	2000 (8,90)

dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama 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, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) ^a	
Bangsas dansa dan Ruang dansa	100 (4,79) ^a	
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^{a,k}	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^{a,k}	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)	10 (0,48)l	
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang		
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96)m	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	30 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon		
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publika dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	

Atap Atap datar, berbubung, dan lengkung Atap digunakan untuk taman atap Atap yang digunakan untuk tujuan lain Atap yang digunakan untuk hunian lainnya	20 (0,96)n 100 (4,79) Sama seperti hinian dilayani	i
Awning dan kanopi Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan Rangka tumpu layar penutup Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, gudang, dan perbaikan garasi Semua komponen struktur atap utama lainnya Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan	5 (0,24) tidak boleh direduksi 5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributato dari atap yang ditumpu oleh rangka 20 (0,96)	200 (0,89) 2 000 (8,9) 300 (1,33) 300 (1,33)
Sekolah Ruang kelas	40 (1,92)	1 000 (4,5)

Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,5)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) a.p	8000 (35,6) ^q
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga	40 (1,92)	300r
Gudang diatas langit-langit Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)	20 (0,96)	
Ringan	125 (6,00) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	
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) ^a	1 000 (4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat Pasal 4.5	

Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87) ^a	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

(Sumber : SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum : Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur, hal 27)

3) Beban Angin (W)

Beban angin adalah beban yang timbul sebagai akibat adanya tekanan dari gerakan angin. Beban angin didistribusikan merata pada kolom yang berada di dinding terluar bangunan. Beban angin bangunan gedung yang termasuk sebagai Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU) direncanakan sesuai dengan aturan pada **SNI 1727 : 2020** sebagaimana berikut:

a) Menentukan kecepatan angin dasar

Data kecepatan angin dasar diperoleh dari data perkiraan cuaca yang bersumber dari BMKG kota Palembang. Data tersebut diambil dari data kecepatan angin tertinggi : $V = \dots \text{ km/jam} = \dots \text{ m/s}$

b) Menentukan parameter beban angin

- 1 Faktor arah angin, kd
- 2 Kategori eksposur : B
- 3 Faktor topografi, Kzl
- 4 Faktor efek tiupan angin, G
- 5 Klasifikasi tekanan internal, $GCPI = \pm 0,18$

c) Beban angin maksimum

- 1 Menentukan tekanan eksposur, tekanan velositas, k_z atau kh

Menghitung k_z

z = tinggi bangunan dari permukaan tanah untuk eksposur B, $\alpha = 7$ dan Z_g
 $= 365,76$ karena $15 \text{ ft} < z < Z_g$ (15 ft = 4,6 meter)

$$\text{maka } k_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^2 a$$

Menghitung kh jika diketahui z

Dihitung menggunakan interpolasi linier. Menentukan tekanan velositas qz dan qh .

- 1) Menghitung qz

$$qz = 0,613 \cdot k_z \cdot K_{zl} \cdot k_d \cdot V^2$$

- 2) Menghitung qh

$$qh = 0,613 \cdot k_z \cdot K_{zl} \cdot k_d \cdot V^2$$

- 2 Menghitung Koefisien eksternal, C_p Maka, nilai C_p untuk : (SNI 1727 : 2020)

$$W_{datang} = qz \times G \times C_p \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_{pergi} = qz \times G \times C_p \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- d) Beban angin minimum

Menentukan tekanan eksposur, tekanan velositas, k_z atau kh

- 1 Menghitung k_z

z = tinggi bangunan dari permukaan tanah 4 m, untuk eksposur B, $\alpha = 7$ dan $Z_g = 365,76$

- 2 Menghitung kh

Jika diketahui $z = 4$ meter (SNI 1727:2020) Dihitung menggunakan interpolasi linier

- 3 Menentukan tekanan velositas qz dan qh

Menghitung qz

$$qz = 0,613 \cdot k_z \cdot K_{zl} \cdot k_d \cdot V^2$$

Menghitung qh

$$qh = 0,613 \cdot kh \cdot K_{zl} \cdot k_d \cdot V^2$$

- 4 Menghitung Koefisien eksternal, C_p

Maka, nilai C_p untuk : (SNI 1727:2020)

$$W_{datang} = qz \times G \times C_p \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$W_{pergi} = qz \times G \times C_p \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Karena beban angin maksimum $< 77 \text{ kg/m}^2$ dan beban minimum pada angin datangnya melampaui 77 maka dipakai beban angin minimum, yaitu $77 \text{ kg/m}^2 = 0,77 \text{ kN/m}^2$.

a) Beban angin portal arah memanjang

Lebar tangkapan kolom = $\frac{1}{2}$ lebar kanan + $\frac{1}{2}$ lebar kiri

Sehingga, beban angin yang dipikul = $0,77 \text{ kN/m}^2 \times \text{lebar tangkapan}$

b) Beban angin portal arah melintang

Lebar tangkapan kolom = $\frac{1}{2}$ lebar kanan + $\frac{1}{2}$ lebar kiri

Sehingga, beban angin yang dipikul = $0,77 \text{ kN/m}^2 \times \text{lebar tangkapan}$

Peninjauan beban angin pada gedung bertingkat dengan atap datar, ditinjau dari kedua sisi, yakni :

a) Datang dan pergi dari kanan ke kiri sisi bangunan

b) Datang dan pergi dari kiri ke kanan sisi bangunan

4) Beban Kombinasi

Setiap komponen struktur dirancang sedemikian rupa agar dapat memikul besarnya beban yang lebih besar daripada beban layan atau aktual guna memberikan jaminan keamanan terhadap kegagalan struktur. Dalam metode perencanaan berbasis kekuatan (*strength design method*), elemen struktur didesain untuk memikul beban terfaktor yang diperoleh dengan mengalikan suatu faktor beban terhadap beban layan nominal. Beban hidup memiliki derajat ketidakpastian yang lebih tinggi dibandingkan dengan beban mati.

Berdasarkan catatan penelitian yang telah dilakukan secara terus-menerus, serta berdasarkan pada ilmu-ilmu probabilitas, SNI mengadopsi penggunaan faktor beban sebesar 1,2 untuk beban mati D, dan 1,6 untuk beban hidup L.

Berdasarkan persyaratan dalam (SNI 1727 : 2020 halaman 13) besarnya kuat perlu, U yang harus dipertimbangkan sebagai kondisi paling kritis yang harus dipikul suatu elemen struktur adalah :

$$U = 1,4D$$

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

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

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

$$U = 0,9D + 1,0$$

Berikut adalah beberapa catatan tambahan untuk kombinasi beban :

- a) Nilai faktor beban untuk L dalam persamaan ke 3,4,5 dapat direduksi menjadi $0,5L$, jika nilai L tidak lebih besar daripada $4,8 \text{ kN/m}^2$ (atau 500 kg/m^2) disamping itu faktor tersebut tidak boleh direduksi untuk area garasi atau area tempat publik.
- b) Apabila beban angin, W , belum direduksi oleh faktor arah maka faktor beban untuk beban angin dalam persamaan 4 harus diganti menjadi $1,6$, dan dalam persamaan 3 diganti menjadi $0,8$.
- c) Untuk struktur yang memikul beban fluida, maka unsur beban fluida tersebut dapat dimasukkan dalam persamaan 1 hingga 5 dan 7 dengan faktor beban yang sama dengan faktor beban untuk beban mati.
- d) Jika ada pengaruh tekanan tanah lateral, H , maka ada tiga kemungkinan berikut :
 - 1) Apabila H bekerja sendiri atau menambah efek dari beban – beban lainnya maka H harus dimasukkan dalam kombinasi pembebanan dengan faktor beban sebesar $1,6$.
 - 2) Apabila H permanen dan bersifat melawan pengaruh dari beban – beban lain, maka H dapat dimasukkan dalam kombinasi pembebanan dengan menggunakan faktor beban sebesar $0,9$.
 - 3) Jika H tidak permanen, namun pada saat H bekerja mempunyai sifat melawan beban – beban lainnya, maka beban H boleh tidak dimasukkan dalam kombinasi pembebanan.

2.3 Metode Perhitungan Struktur

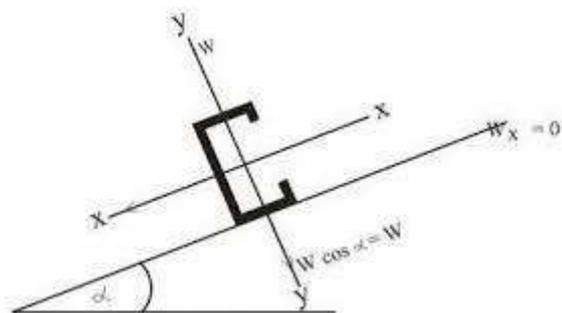
Dalam pekerjaan suatu konstruksi bangunan, diperlukan beberapa metode perhitungan struktur agar hasil perhitungan dapat menjadi acuan dan konstruksi dapat menahan beban dengan sempurna, baik berupa beban sendiri maupun beban-beban lainnya. Berikut ini adalah struktur bangunan yang memerlukan perhitungan struktur :

2.3.1 Perancangan Rangka Atap

Atap adalah suatu bagian dari bangunan yang berfungsi sebagai penutup seluruh ruangan yang ada di bawahnya terhadap pengaruh panas, hujan, angin, debu dan untuk keperluan perlindungan. Rangka atap berfungsi sebagai penahan beban dari bahan penutup atap sehingga umumnya berupa susunan balok-balok (dari kayu/ bambu/ baja) secara vertikal dan horizontal kecuali pada struktur atap dak beton. Salah satu bagian dari rangka atap adalah kuda-kuda. Mengingat berat, kekuatan bahan dan bentuk atap, maka bentuk dan ukuran kuda – kuda dapat bervariasi. Berikut ini adalah pembahasan-pembahasan mengenai perancangan rangka atap, antara lain :

1. Gording

Gording adalah batang memanjang yang sejajar balok tembok yang diletakkan di atas kaki kuda-kuda untuk menumpu kasau dan balok jurai dalam. Dalam perancangan struktur bangunan gedung khususnya pada perencanaan gording, struktur gording dirancang kekuatannya berdasarkan pembebanan beban mati dan beban hidup. Kombinasi pembebanan yang ditinjau adalah beban pada saat pemakaian yaitu beban mati yang ditambahkan dengan beban air hujan. Sedangkan beban sementara yaitu beban mati yang ditambahkan dengan beban pekerja pada saat pelaksanaan pekerjaan. Apabila gording ditempatkan dibawah penutup atap, maka komponen beban atap dipindahkan tegak lurus gravitasi ke gording. Akibatnya terjadi pembebanan sumbu ganda yang menjadikan momen pada sumbu x dan sumbu y, yaitu M_x dan M_y .



Gambar 2. 1 Gording

Perencanaan gording menggunakan metode berikut :

a. Cek Kekompakan

1) Pelat Badan

$$\lambda_w = \frac{H}{t_w}$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{Es}{fy}}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_p \text{ (Penampang kompak)}$$

2) Pelat Sayap

$$\lambda_f = \frac{B}{2.t_f}$$

$$\lambda_r = 0,83 \sqrt{\frac{Es}{fy}}$$

$$\lambda_f \leq \lambda_r \text{ (Penampang kompak)}$$

b. Cek Momen Nominal

$$M_n x = z_x \cdot F_y$$

$$M_n y = z_y \cdot F_y$$

c. Lakukan Analisa Pembebanan

1) Pembebanan Akibat Beban Mati (Qd)

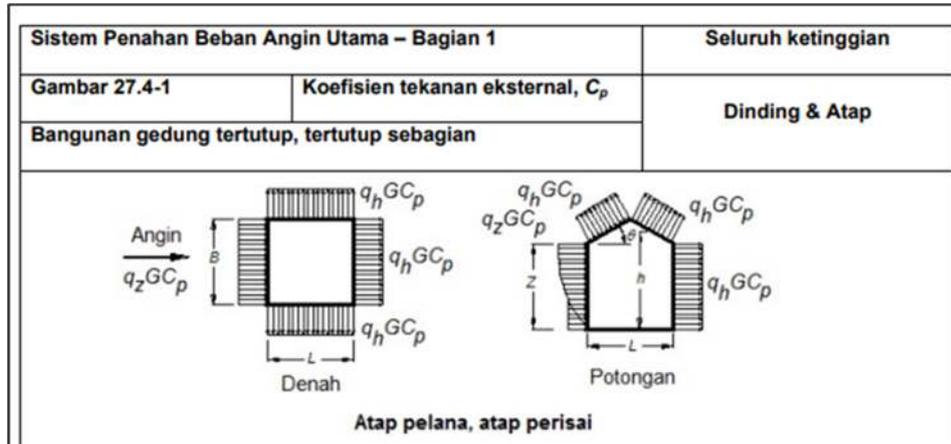
$$qd_x = qd \times \sin \alpha$$

$$Md_x = \frac{1}{8} \times qd_x \times (l)^2$$

$$qd_y = qd \times \cos \alpha$$

$$Md_y = \frac{1}{8} \times qd_y \times (l)^2$$

2) Pembebanan Akibat Beban Angin (SNI 1727:2013)



Gambar 2. 2 Sistem Penahan Beban Angin

Untuk menghasilkan beban angin tekan maksimum maka digunakan $G_{cp} +$ dan $G_{ci} -$

Untuk menghasilkan beban angin tarik maksimum maka digunakan $G_{cp} -$ dan $G_{ci} +$

$$P_{tekan} = q_h G C_p - q_h (G C_{pi}) \text{ (N/m}^2 \text{)}$$

$$P_{tarik} = q_h G C_p - q_h (G C_{pi})$$

27.1.5 Beban angin desain minimum

Beban angin yang digunakan dalam desain SPBAU untuk bangunan gedung tertutup atau tertutup sebagian tidak boleh kecil dari 16 lb/ft² (0,77 kN/m²) dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan 8 lb/ft² (0,38 kN/m²) dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksi pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang diasumsikan. Beban dinding dan atap harus diterapkan secara simultan. Gaya angin desain untuk bangunan gedung terbuka harus tidak kurang dari 16 lb/ft² (0,77 kN/m²) dikalikan dengan luas A_r .

© BSN 2013 62 dari 195

Beban angin minimum dikali bidang tegak lurus

$$P = Q \times \text{jarak gording}$$

Karena beban angin bekerja tegak lurus sumbu x sehingga hanya ada M_x

$$M_x \text{ tekan} = \frac{1}{8} \times q h_x \times (l)^2$$

3) Pembebanan Akibat Beban Hidup (Ql)

$$P_x = P \sin \alpha$$

$$P_y = P \cos \alpha$$

$$M_{Px} = \frac{1}{4} \times P_x \times (l)$$

$$M_{Py} = \frac{1}{4} \times P_y \times (l)$$

Tabel 2. 4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Beban
1,4D
1,2D + 1,6L
1,2D + 1,6L + 0,8w
1,2D + 1,3W + 0,5L
0,9D + 1,3W

$$\delta y = \frac{Mux}{\emptyset Mnx} + \frac{Muy}{\emptyset Mny} < 1$$

d. Kontrol Lendutan

1) Beban Mati

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

2) Beban Hidup

$$\delta = \frac{1}{48} \left(\frac{P \cdot L^3}{EI} \right)$$

3) Beban Angin

$$\delta = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI}$$

Lendutan Kombinasi

$$\delta = \sqrt{(\delta x)^2 + (\delta y)^2} \leq L/360$$

2. Konstruksi Rangka Baja (Kuda – Kuda)

Kuda-kuda adalah suatu susunan rangka batang yang berfungsi untuk mendukung beban atap termasuk juga beratnya sendiri dan sekaligus dapat memberikan bentuk pada atapnya. Pada dasarnya konstruksi kuda-kuda terdiri dari rangkaian batang yang senantiasa selalu membentuk segitiga. Dengan mempertimbangkan berat atap serta bahan dan bentuk penutupnya, maka konstruksi kuda-kuda satu sama lain akan berbeda. Namun demikian setiap susunan rangka batang haruslah merupakan suatu kesatuan bentuk yang kokoh yang

nantinya mampu memikul beban yang diberikan padanya tanpa mengalami perubahan.

Konstruksi kuda-kuda diperhitungkan terhadap pembebanan, antara lain :

a. Beban Mati

- 1) Beban Sendiri Kuda – Kuda
- 2) Beban Gording
- 3) Beban Penutup Atap
- 4) Beban Simpul
- 5) Beban Plafond dan Penggantungnya

b. Beban Hidup

- 1) Beban Air Hujan = $(40 - (0,8 \times \alpha)) \text{ kg/m}^2$
- 2) Beban Pekerja

c. Beban Angin

- 1) Beban simpul angin tekan

Pada masing – masing beban diatas, kemudian dapat dicari nilai gaya-gaya betangnya dengan menggunakan program SAP 2000 V.14. Perhitungan konstruksi rangka dapat dihitung dengan cara :

a. Menentukan Nilai Beban Kombinasi

Berdasarkan beban-beban tersebut diatas, maka struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan dibawah ini :

$$1,4 D$$

$$1,2 D + 0,5L \text{ (La atau W)}$$

$$1,2 D + 1,6 L + 0,8 W \text{ (La atau H)} + (\gamma L L)$$

$$1,2 D + 1,3 W + 0,5 (\gamma L L) + (\text{La atau H})$$

$$0,9 D \pm (1,3 W \text{ atau } 1,0 E)$$

Keterangan :

D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen termasuk dinding, lantai, atap, plafond, partisi tetap, tangga, dan peralatan yang bersifat tetap.

L = beban hidup yang ditimbulkan akibat penggunaan gedung, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lainnya.

La = beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan beban bergerak.

H = beban hujan, tidak termasuk diakibatkan genangan air

W = beban angin.

E = beban gempa, yang ditentukan atau penggantinya.

$\gamma L = 0,5$ bila $L < 5$ kPa, dan $\gamma L = 1$ bila $L > 5$ kPa.

b. Memeriksa Kelangsingan Sayap

$$\frac{b}{t} < \frac{200}{\sqrt{f_y}}$$

Arah sumbu bahan (sumbu x)

$$\lambda_x = \frac{Lk}{r_x}$$

Arah sumbu bebas bahan (sumbu y)

$$L_y = 2(l_y + Ag(e_y + \frac{tp}{2}))^2$$

$$r_{yg} = \sqrt{\frac{l_y}{2A}}$$

$$\lambda_y = \frac{Lk}{r_{yg}}$$

Kelangsingan Ideal :

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

Periksa terhadap gaya tekan :

$$\lambda_c = \frac{\lambda_{iy}}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

Periksa Kelangsingan Sayap

$$\lambda_1 = \frac{l}{r_{min}}$$

$$Nu < \phi N_n$$

3. Sambungan Las

a. Perencanaan Sambungan Las

1) Pengelasan konstruksi sipil harus dilakukan dengan las listrik

Untuk las sudut harus ditentukan dengan panjang kaki las yang ditentukan sebagai t_w1 dan t_w2 . Tebal minimum las sudut pada perencanaan sambungan las dapat dilihat pada berikut ini :

Tabel 2. 5 Tebal Minimum Las Filet

Ketebalan Material dari Bagian Paling Tipis yang Tersambung, in. (mm)	Ukuran Minimum las Sudut ^a in. (mm)
Sampai dengan 1/4(6)	1/8(3)
Lebih besar dari 1/4(6) sampai dengan 1/2 (13)	3/16(5)
Lebih besar dari 1/2(13) sampai dengan 3/4(19)	1/4(6)
Lebih besar dari 3/4(19)	5/16(8)
^a dimensi kaki las filet. Las lapis tunggal harus digunakan. Catatan lihat Pasal J2.2b untuk ukuran maksimum las sudut	

(Sumber : SNI 1729:2020. Hal. 116, Tabel J2.4)

$$T_c = a. 0,707$$

2) Kuat Las Sudut

a) Kuat rencana las sudut ukuran 3 mm per Panjang mm

$$\phi . Rnw = \phi . t.e. (0,6 fuw)$$

b) Kuat runtuh geser pelat

$$\phi . Rnw = \phi . t. (0,6 fu)$$

3) Penentuan Ukuran Las

$$R_1 = \frac{Ru.e}{h}$$

$$R_2 = \frac{Ru.(h-e)}{h}$$

4) Panjang Las yang Dibutuhkan

$$Lw_1 = \frac{R1}{\phi . Rnw}$$

$$L_{w2} = \frac{R2}{\phi \cdot Rn_w}$$

5) Kontrol Panjang Las

$$L_w = \frac{R_u}{\phi \cdot Rn_w}$$

2.3.2 Perancangan Pelat Lantai 2, 3, dan Talang

Pelat adalah suatu elemen horizontal yang berfungsi untuk menyalurkan beban hidup, baik yang bergerak maupun statis ke elemen pemikul beban vertical yaitu belok, kolom dan dinding. Pelat beton bertulang dalam struktur digunakan pada atap dan lantai. Perbedaan pelat atap dan pelat lantai adalah pelat atap merupakan struktur yang tidak terlindungi dan memiliki ketebalan selimut beton yang lebih besar dibandingkan dengan struktur pelat lantai.

Beban pada pelat atap lebih kecil dibandingkan dengan pelat lantai. Beban pada pelat atap hanya terdiri dari beban mati sendirinya pelat atap, beban hujan, dan beban kemiringan untuk air, sementara pada pelat lantai selain beban mati sendirinya, pelat lantai juga diberi beban dinding dan beban hidup sesuai dengan penggunaan ruang yang ada di atasnya. Adapun beban-beban yang bekerja pada pelat, antara lain :

1. Beban Mati (WD)
 - a) Berat sendiri pelat atap.
 - b) Beban yang diterima oleh pelat akibat adanya adukan mortar, plafond dan penggantung plafond.

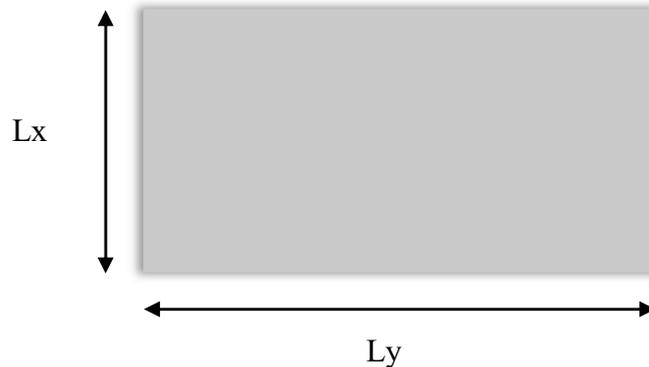
2. Beban Hidup (WL)

Beban hidup untuk pelat lantai 2 dan 3 ruang laboratorium diambil sebesar 2,87 kN/m², beban hidup untuk ruang koridor diambil 3,83 kN/m² (Berdasarkan SNI 1727 tahun 2020 beban hidup untuk Sekolah dengan fasilitas Laboratorium).

Jenis Pelat :

1. Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh balok pada keempat sisinya dan beban-beban ditahan oleh pelat dalam arah yang tegak lurus terhadap balok-balok penunjang. Suatu pelat dikatakan pelat dua arah apabila $\frac{L_y}{L_x} \leq 2$. Dimana L_y merupakan sisi terpanjang dan L_x adalah sisi terpendek pelat yang ditinjau.



Gambar 2. 3 Pelat Dua Arah

Berikut ini adalah langkah-langkah perencanaan struktur pelat dua arah menggunakan metode koefisien momen :

- a. Mengidentifikasi Jenis pelat dengan syarat batasnya pelat dua arah, yakni:

$\frac{L_y}{L_x} < 2$, dengan L_y sebagai sisi pelat terpanjang dan L_x adalah sisi terpendek pada pelat yang ditinjau.

- b. Penentuan Tebal Pelat

Ketebalan minimum pelat satu arah yang menggunakan $f_y = 400$ Mpa sesuai **SNI 2847 : 2019**, sebagai berikut :

1. Untuk $\alpha_{fm} \leq 0,2$ harus menggunakan tabel berikut :

Tabel 2. 6 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

F_y , MPa	Tanpa <i>drop panel</i>			Dengan <i>drop panel</i>		
	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	$\ell n/28$	$\ell n/31$	$\ell n/31$	$\ell n/31$	$\ell n/34$	$\ell n/34$

ℓn 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

Drop panel sesuai 8.2.4

Pelat dengan balok diantara kolom sepanjang tepi eksterior. Panel eksterior harus dianggap tanpa balok pinggir jika αf kurang dari 0,8. Nilai αf untuk balok tepi harus dihitung sesuai 8.10.2.7

(Sumber : SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, hal 134)

2. Untuk $0,2 < \alpha f_m \leq 2,0$ maka h tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 5\beta(\alpha f_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

3. Untuk $\alpha f_m > 2,0$ ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1400}\right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

Keterangan :

L_n = Jarak bentang bersih dalam arah panjang diukur dari muka ke muka balok

h = Tebal balok

β = Rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap bentang pendek pelat

c. Menghitung α_{fm} Kontrol terhadap tebal pelat yang digunakan\

$$I_{\text{Balok}} = \Sigma AY^2 + \Sigma I_x$$

$$I_{\text{Pelat}} = \frac{1}{12} L_n \cdot hf^3$$

$$\alpha_{fm} = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{n}$$

Keterangan :

I_{Balok} = Nilai Inersia Balok pada Pelat

I_{Pelat} = Nilai Inersia Pelat

n = jumlah balok

α_{fm} = nilainya harus lebih dari 2,0 untuk tebal pelat > 90 mm .

d. Tebal Selimut Beton Minimum

Tabel 2. 7 Tebal Selimut Beton Minimum

Paparan	Komponen Struktur	Tulangan	Ketebalan Selimut
Dicor secara permanen kontak dengan tanah	Semua	Semua	75 mm
	Semua	Batang D19- D57	50 mm

Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah		Batang D16, Kawat Ø13 atau D13 dan yang lebih kecil	40 mm
Terpapar cuaca atau kontak dengan tanah	Pelat, pelat berusuk, dan dinding	Batang D43-D57	40 mm
		Batang D36 dan yang lebih kecil	20 mm
	Balok, kolom, pedestal dan balok tarik	Tulangan utama, sengkang, sengkang ikat, spiral dan sengkang pengegang	40 mm

(Sumber : SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, hal 460)

Selimit beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.

- e. Menghitung Beban yang bekerja pada Pelat (beban mati dan beban hidup). Kemudian hasil perhitungan akibat beban mati dan beban hidup dikali dengan faktor beban untuk mendapatkan nilai beban terfaktor.

$$W_u = 1,2 WD + 1,6WL$$

Keterangan :

WD = Jumlah beban mati pelat (KN/m)

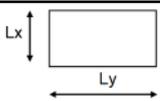
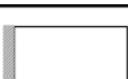
WL = Jumlah beban hidup pelat (KN/m)

WU = Jumlah beban terfaktor (KN/m)

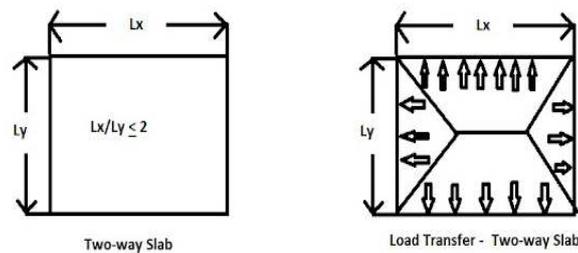
- f. Menghitung Momen Rencana (Mu)

Menghitung momen yang bekerja pada arah x dan y, menurut Tabel PBI 1971.

Tabel 2. 8 Koefisien Momen

	Kondisi Pelat	Nilai Momen Pelat	Perbandingan Ly/Lx				
			1,0	1,05	1,1	1,15	1,2
I		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	44	48	52	55,5	59
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	44	44,5	45	45,0	45
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
II		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	21	23	25	26,5	28
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	21	21	21	20,5	20
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	52	55,5	59	61,5	64
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	52	53	54	55,0	56
III		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	28	30,5	33	35,5	38
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	28	28	28	28,0	28
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	68	72,5	77	81,0	85
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	68	70	72	73,0	74
IV A		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	22	25	28	31,0	34
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	32	33,5	35	36,0	37
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	70	74,5	79	83,0	87
IV B		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	32	33	34	35,0	36
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	22	21	20	19,0	18
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	70	72	74	75,5	77
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
V A		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	31	34,5	38	41,5	45
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	37	38	39	40,0	41
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	84	88	92	95,5	99
V B		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	37	39	41	43,0	45
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	31	30,5	30	29,0	28
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	84	88	92	95,0	98
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	0	0	0	0,0	0
VI A		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	21	23,5	26	28,5	31
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	26	26,5	27	27,5	28
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	55	60	65	69,5	74
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	60	62,5	65	67,0	69
VI B		$M_x = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	26	27,5	29	30,5	32
		$M_y = 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	21	20,5	20	19,5	19
		$M_{tx} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	60	63	66	68,5	71
		$M_{ty} = - 0,001 \cdot q \cdot L_x^2 \cdot X$	55	56	57	57,0	57

(Sumber : Tabel PBI 1971 Momen Pada Persegi akibat Beban Merata Kondisi Tumpuan Bebas dan Terjepit Penuh)



Gambar 2. 4 Diagram Transfer Pembebanan

g. Memperkirakan Tebal Efektif ($Deff$)

$dx = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah } x$

$dy = h - \text{tebal selimut beton} - \emptyset \text{ tulangan arah } x - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan arah } y$

Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.

h. Menentukan Rn rencana

$$Rn = \frac{Mu \times 10^6}{(\phi \times b \times deff^2)}$$

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

b = Lebar penampang (mm), diambil tiap 1 meter

$deff$ = Tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (0,9)

i. Menentukan Rasio Penulangan

$$\rho = \frac{(0,85 \times f'c)}{fy} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right]$$

Keterangan :

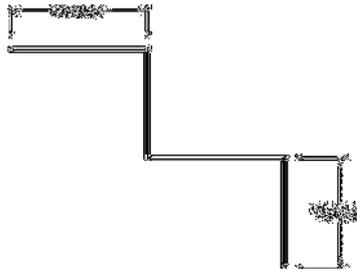
- ρ = Rasio Tulangan
 f_y = Mutu Baja (Mpa)
 f_c' = Mutu Beton (Mpa)
- j. Hitungan As (Luas Penampang Tulangan) yang diperlukan
- As Pakai = ρ pakai . b . deff
 As Minimum = 0,002 . b . h pelat
 (Digunakan 0,002 karena tulangan yang digunakan merupakan jenis tulangan polos ($f_y = 280$ Mpa)
- k. Memilih tulangan baja pokok yang akan dipasang dengan menggunakan tabel. Untuk tulangan pokok harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari 3 kali tebal pelat atau $S_{maks} = 3 \times h$
- $$As_{min} \leq As_{Pakai} < As_{maks}.$$
- l. Menentukan Jarak Penulangan Pelat
- $$As_d = \frac{1}{4} \pi d^2$$
- $$S_{Pakai} = \frac{As_d}{As_{pakai}} \times 1000$$
- m. Memasang Tulangan
- $$\text{Tulangan Terpasangan arah } y = \frac{L_y}{S_{Pakai}}$$
- $$\text{Tulangan Terpasangan arah } x = \frac{L_x}{S_{Pakai}}$$
- $$As_{Terpasang} = \text{Tul Terpasang} \cdot As_d$$

2.3.3 Perancangan Tangga

Tangga adalah salah satu bagian dari suatu bangunan yang berfungsi sebagai alat penghubung lantai bawah dengan lantai yang ada di atasnya pada bangunan yang bertingkat dalam kegiatan tertentu. Tangga dapat terbuat dari kayu, pasangan batu, baja, besi, maupun beton. Bagian-bagian tangga antara lain sebagai berikut :

- 1) Anak Tangga

- a) Antride, merupakan bagian horizontal dari anak tangga yang merupakan bidang tempat kaki berpijak.
- b) Optride, merupakan bagian vertikal dari anak tangga yang merupakan selisih antara dua buah anak tangga yang berurutan.



Gambar 2. 5 Antride dan Optride

2) Ibu Tangga

Ibu tangga adalah bagian tangga berupa dua batang atau papan miring yang berfungsi menahan kedua ujung anak tangga. Kemiringan ibu tangga sesuai dengan besarnya kelandaian tangga (α). Adapun lebarnya ditentukan oleh perencanaan panjang langkah datar dan tinggi langkah tegak ditambah dengan lebar kayu depan dan kayu belakang yang masing-masing minimal 3 - 4 cm.

3) Bordes

Bordes merupakan bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak luas dan berfungsi sebagai tempat istirahat bila terasa lelah. Bordes dibuat apabila jarak tempuh tangga sangat panjang yang mempunyai jumlah anak tangga lebih dari 20 buah atau lebar tangga cukup akan tetapi ruangan yang tersedia untuk tangga biasa/rusuk tidak mencukupi. Untuk menentukan panjang bordes (L), menggunakan rumus berikut :

$$L = L_n + 1 \text{ Antride s/d } 2 \text{ Antride}$$

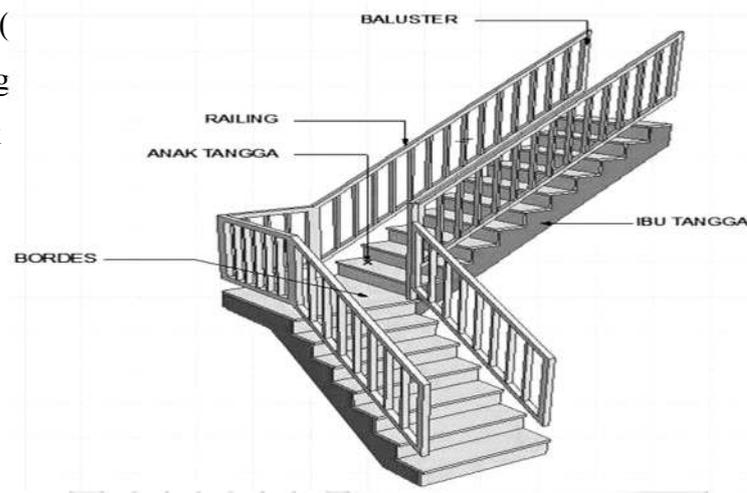
Keterangan :

- L = Panjang bordes
- L_n = Ukuran satu langkah normal datar
- A = Antride

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.

- c. Ruji (sebagai sandaran) berfungsi sebagai penyangga untuk mencegah terpeleset.



Gambar 2. 6 Bagian – bagian Tangga

Secara umum, konstruksi tangga harus memenuhi syarat – syarat seperti berikut :

1. Syarat – syarat umum tangga

- a. Penempatan

- 1) Penempatan tangga diusahakan sehemat mungkin menggunakan ruangan.
- 2) Mudah ditemukan oleh banyak orang dan mendapatkan sinar matahari pada waktu siang hari.
- 3) Diusahakan penempatan tidak mengganggu atau menghalangi lalu lintas orang banyak (untuk tangga di tempat-tempat yang ramai).

b. Kekuatan

- 1) Bila menggunakan bahan kayu, hendaknya menggunakan kayu kelas I atau II agar nantinya tidak terjadi pelenturan atau goyang.
- 2) Tangga harus kokoh dan stabil (kuat) bila dilalui oleh sejumlah orang dan/atau barang sesuai dengan perencanaan.

c. Bentuk

- 1) Sudut kemiringan untuk konstruksi tangga tidak boleh lebih dari 45° .
- 2) Bentuk konstruksi tangga diusahakan sederhana, layak, sehingga dapat dikerjakan dengan cepat dan mudah serta hemat biaya.
- 3) Bentuk konstruksi tangga diusahakan rapi dan indah.

2. Syarat – syarat khusus tangga

a. Untuk bangunan rumah tinggal

- Antride = 25 cm (minimum)
 Opride = 20 cm (maksimum)
 Lebar tangga = 80 – 100 cm

b. Untuk perkantoran dan lain – lain

- Antride = 25 cm (minimum)
 Opride = 17 cm (maksimum)
 Lebar tangga = 120 – 200 cm

c. Syarat langkah

$$2 \text{ opride} + 1 \text{ antride} = 57 - 65 \text{ cm}$$

d. Sudut kemiringan tangga

- Maksimum = 45°
 Minimum = 20°

Adapun langkah-langkah perhitungan dalam perencanaan tangga adalah sebagai berikut :

1. Perencanaan Tangga

Meliputi menentukan f_c , f_y , Opride, Antride, dan Jumlah Anak Tangga

- Opride = Min 17 mm
 Antride = 30 mm

$$\text{Jumlah Anak Tangga} = \frac{\text{Elevasi Lantai}}{\text{Optride}}$$

Sudut Kemiringan Tangga

$$\text{Arc Tan } \alpha = \frac{\text{Optride}}{\text{Antride}} \leq 45^\circ$$

2. Mengecek Syarat Khusus Tangga Ideal

$$\mathbf{2 \text{ Optride} + 1 \text{ Antride} = 1 \text{ langkah manusia (57 - 65) cm}}$$

3. Menentukan pembebanan pada anak tangga

Meliputi :

Beban Mati Pelat Tangga dan Pelat Bordes Tangga

Beban Hidup (4,79 kN/m²)

- a. Pelat Tangga = 4,79 kN/m² x 1 m x Cos (Tebal Pelat Tangga)

- b. Pelat Bordes = 4,79 kN/m² x 1 m

4. Menghitung gaya – gaya yang bekerja

Gaya – gaya yang bekerja dihitung menggunakan Program SAP 2000 V.14

Meliputi Momen Tumpuan dan Momen Lapangan.

5. Perhitungan Tulangan Lentur Pelat Tangga dan Bordes Tumpuan dan Lapangan

- a. Memperkirakan tinggi efektif (Deff)

$$D_{eff} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \text{ tulangan pokok}$$

- b. Menentukan Nilai Rn Rencana

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{(\phi \times b \times d_{eff}^2)}$$

Keterangan :

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

b = Lebar penampang (mm)

d_{eff} = Tinggi efektif (mm)

φ = Faktor reduksi rencana (0,9)

- c. Menentukan Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

d. Rasio Penulangan (ρ)

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

Keterangan :

ρ = Rasio Tulangan

fy = Mutu Baja (Mpa)

fc' = Mutu Beton (Mpa)

e. Hitung As yang diperlukan

$$\text{As Perlu} = \rho \cdot b \cdot d_{\text{eff}}$$

$$\text{As min/ Susut Suhu} = 0,0018 \cdot \frac{420}{Fy} \cdot b \cdot h$$

(As Pakai diambil yang terbesar, jika As Perlu > As min maka digunakan As Perlu, atau jika As min > As Perlu maka digunakan As min).

f. Menentukan Jarak Penulangan

$$\text{Asd} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\text{S Pakai} = \frac{\text{Asd}}{\text{As pakai}} \times 1000$$

6. Menghitung Penulangan Balok Bordes

a. Menghitung pembebanan yang terjadi, yakni :

1) Beban Mati (*Dead Load*)

2) Beban Hidup (*Live Load*) = 4,79 kN/m²

b. Menghitung Beban Ultimit Kombinasi, Momen Rencana, Gaya Lintang, dan Gaya Aksial

Beban Ultimit Kombinasi diperoleh :

$$W_U = 1,2 W_D + 1,6 W_L$$

Momen Rencana, Gaya Lintang diperoleh Otomatis melalui Software SAP 2000 V.14.

c. Periksa dimensi penampang balok

Menentukan deff

$$D_{\text{eff}} = h - t_s - \emptyset \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ Tulangan Pokok}$$

d. Penulangan Lentur Lapangan dan Tumpuan

1) Menentukan R_n Rencana

$$R_n = \frac{Mu \times 10^6}{(\phi \times b \times d_{\text{eff}}^2)}$$

Keterangan :

M_u = Momen rencana/terfaktor pada penampang (kN.m)

b = Lebar penampang (mm)

d_{eff} = Tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (0,9)

2) Menentukan Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}}$$

3) Menentukan Nilai ρ

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

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

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \left[\beta_1 \times f_{c'} \times \frac{0,85}{f_y} \right] \times \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

(Karena $f_{c'} = 25$ Mpa, $f_y = 420$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85$, Digunakan untuk mutu beton ≤ 30 MPa)

Keterangan :

ρ = Rasio Tulangan

f_y = Mutu Baja (Mpa)

$f_{c'}$ = Mutu Beton (Mpa)

4) Hitung A_s yang diperlukan

$$A_s \text{ Pakai} = \rho \text{ pakai} \cdot b \cdot D_{\text{eff}}$$

5) Menentukan Jumlah Tulangan Terpasang

$$A_{sd} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$n \text{ Pakai} = \frac{As \text{ Pakai}}{Asd}$$

6) Memasang Tulangan

$$As \text{ Terpasang} = Asd \cdot n$$

7) Cek Jarak Bersih Antar Tulangan

$$S = \frac{b - (2 \times P) - (2 \times \emptyset \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ pokok})}{(n-1)}$$

(Jarak Bersih Antar Tulangan harus lebih dari 40 mm, $S > 40 \text{ mm}$)

e. Perencanaan Tulangan Geser (Sengkang)

1) $V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d_{eff}$ (SNI 2847:2019 halaman 190)

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \emptyset V_c$. Tulangan geser minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} V_c$ tapi kurang dari $\emptyset V_c$. Biasanya dapat digunakan tulangan berdiameter 10 mm yang diletakkan dengan jarak maksimum. Apabila nilai $V_u > \emptyset V_c$ maka kebutuhan tulangan geser harus dihitung.

2) Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi \emptyset

$$V_u < \emptyset V_n$$

Dimana $V_n = V_c + V_s$ (SNI 2847:2019 halaman 482), sehingga :

$$V_u < \emptyset (V_c + V_s)$$

Dengan besar faktor reduksi (\emptyset) untuk geser adalah sebesar 0,75.

3) Luas minimum tulangan geser

Luas minimum tulangan geser $A_{v_{min}}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5 \emptyset V_c$, kecuali untuk kasus dibawah. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v_{min}}$ harus dipasang dimana $V_u > \emptyset V_c$.

Kasus dimana $A_v \text{ min}$ tidak diperlukan jika $0,5 \emptyset V_c < V_u \leq \emptyset V_c$

Tipe balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250 \text{ mm}$
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dan $2,5f_y$ atau $0,5 \text{ bw}$ dan $h \leq 600 \text{ mm}$
Dibangun dengan beton bobot normal bertulangan serat baja sesuai 26.4.1.5.1 (a), 26.4.2.2. (d) dan 26.12.5.1. (a0 dan dengan $f_c' \leq 40 \text{ MPa}$	$h \leq 600 \text{ mm}$ dan $V_u \leq \phi 0,17 \sqrt{f_c' b w d}$
Sistem pelat berusuk satu arah	Sesuai dengan 9.8

(Sumber : SNI 2847:2019 pasal 9.6.3.1 hal 190)

$$A_v \text{ min} = 0,0062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \frac{b w \cdot S}{f_y \cdot t} > \frac{0,35 \cdot b w \cdot S}{f_y \cdot t}$$

(SNI 2847 : 2019 hal 216)

4) Jarak maksimum tulangan geser

$$\text{Jika } V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{2}$$

$$\text{Jika } V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b w \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{4}$$

(SNI 2847:2019 halaman 202)

Dengan batasan kebutuhan luas tulangan geser :

$$S_{\text{max}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot t}{0,0062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b w}, \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ Mpa}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{D e f f}{2}, \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$$

Sehingga untuk sengkang vertikal dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = Kuat geser terfaktor pada penampang

V_n = Kuat geser nominal

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

A_v = Luas tulangan geser pada daerah sejarak

$A_v = 2 A_s$,

A_s = Luas penampang batang tulangan sengkang

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

f_y = Mutu baja

7. Menghitung Penulangan Torsi Pada Balok Bordes

a. Menghitung pembebanan yang terjadi, yakni :

1) Beban Mati (*Dead Load*)

2) Beban Hidup (*Live Load*) = 4,79 KN/m²

b. Menghitung Beban Ultimit Kombinasi, Momen Rencana, Gaya Lintang, dan Gaya Aksial

Beban Ultimit Kombinasi diperoleh :

$$W_U = 1,2 W_D + 1,6 W_L$$

c. Periksa dimensi penampang balok

Menentukan d_{eff}

$$D_{eff} = h - t_s - \emptyset \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \text{ Tulangan Pokok}$$

d. Menghitung Momen Torsi

Untuk 2 tumpuan

$$T_u = \frac{1}{2} w_u l^2$$

Dikarenakan 1 Tumpuan

$$T_u = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} w_u l^2$$

Ketentuan :

$T_u > \emptyset T_c$ maka diperlukan tulangan torsi

$T_u < \emptyset T_c$ maka tidak perlu tulangan torsi

$$T_c = \emptyset \cdot 0,083 \cdot \sqrt{f_c} \left(\frac{a_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

$$\emptyset T_c = 0,75 \cdot 0,083 \cdot \sqrt{f_c} \left(\frac{a_{cp}^2}{p_{cp}} \right)$$

Keterangan :

Acp = Luas Penampang

Pcp = Keliling Penampang

e. Menghitung Tn

$$T_n = \frac{T_u}{0,75}$$

f. Kontrol luas sengkang dan torsi

$$A_{vt} = \frac{T_n \cdot s}{2 \cdot A_o \cdot f_y \cdot \cot \theta}$$

$$A_{vs} = (n \cdot \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot S) / s$$

$$\text{Luas sengkang total} = (A_{vt} + A_{vs})$$

g. Menghitung Jarak Tulangan Geser Total Torsi

1) Tulangan lentur torsi :

$$A_t = \frac{A_{vt}}{s} \cdot p \cdot h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cdot \cot^2 45$$

2) Tulangan lentur Ast

$$A_{st} = 2D16 + 2D16$$

$$3) (A_t + A_{st}) > \left(\frac{5 \sqrt{f_c} \cdot A_{cp}}{12 f_y} \right) - \left(\frac{A_{vt}}{s} \cdot Ph \cdot \left(\frac{F_{yv}}{F_{yt}} \right) \right)$$

h. Menghitung Jumlah Tulangan Torsi

$$n = \frac{A_t}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

2.3.4 Perancangan Balok

Balok merupakan elemen horizontal atau miring yang panjang dengan ukuran lebar serta tinggi yang terbatas. Balok berfungsi untuk menyalurkan beban dari pelat. Pada umumnya balok dicetak secara monolit dengan pelat lantai,

sehingga akan membentuk balok penampang T pada interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi. Di dalam tinjauan ini, penulis merancang 2 kategori balok, yakni balok anak dan balok induk.

1) Balok Anak

Balok anak adalah balok yang berfungsi sebagai pembagi luasan pelat lantai guna menghindari terjadinya lendutan dan meminimalisasi getaran pada pelat lantai pada saat adanya aktivitas di atasnya. Balok anak umumnya menempel pada balok – balok induk.

2) Balok Induk

Balok induk adalah bagian struktur yang berfungsi sebagai rangka penguat horizontal atau beban – beban yang ada. Balok induk juga merupakan pengikat antar kolom-kolomstruktur.

Adapun langkah – langkah perencanaan balok :

1 Menentukan Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

a. Balok Induk

$$\text{Tinggi Balok (h)} = \frac{1}{8} L \text{ s/d } \frac{1}{14} L \text{ (Bentang Terpanjang)}$$

$$\text{Lebar Balok (b)} = \frac{1}{2} h \text{ s/d } \frac{2}{3} h$$

b. Balok Anak

$$\text{Tinggi Balok (h)} = \frac{1}{13} L \text{ s/d } \frac{1}{15} L \text{ (Bentang Terpanjang)}$$

$$\text{Lebar Balok (b)} = \frac{1}{2} h \text{ s/d } \frac{2}{3} h$$

2 Menentukan Mutu Beton dan Mutu Baja yang digunakan.

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

3 Menghitung pembebanan yang terjadi, yakni :

a. Beban Mati (*Dead Load*)

- b. Beban Hidup (*Live Load*) berdasarkan **SNI 1727:2020** tentang beban Hidup Minimum Perancangan Bangunan.
 - c. Beban Angin (Hanya Pada Portal dan Atap)
- 4 Menentukan Software Pendukung Perhitungan Struktur
- a. SAP 2000 V.14
 - b. Ms. Excel

- 5 Menghitung Beban Ultimit Kombinasi, Momen Rencana, Gaya Lintang, dan Gaya Aksial

Beban Ultimit Kombinasi diperoleh :

$$W_U = 1,2 W_D + 1,6W_L$$

Momen Rencana, Gaya Lintang dan Gaya Aksial diperoleh Otomatis melalui Software SAP 2000 V.14

- 6 Periksa dimensi penampang balok

a. Menentukan d_{eff}

$$D_{eff} = h - t_s - \phi \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ Tulangan Pokok}$$

- 7 Penulangan Lentur Lapangan dan Tumpuan

a. Menentukan R_n Rencana

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{(\phi \times b \times d_{eff}^2)}$$

Keterangan :

M_u = Momen rencana/terfaktor pada penampang (kN.m)

b = Lebar penampang (mm)

d_{eff} = Tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (0,9)

b. Menentukan Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

c. Menentukan Nilai ρ

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

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

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \left[\beta_1 \times f_c \times \frac{0,85}{fy} \right] \times \left[\frac{600}{600 + fy} \right]$$

(Karena $f_c = 25$ Mpa, $fy = 420$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85$, Digunakan untuk mutu beton ≤ 30 MPa)

Keterangan :

ρ = Rasio Tulangan

fy = Mutu Baja (Mpa)

f_c' = Mutu Beton (Mpa)

Dengan beberapa syarat, seperti :

- Jika $\rho_{\min} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\max}$ = OKE
- Jika $\rho_{\text{hitung}} < \rho_{\min}$, maka penampang terlalu besar sehingga dimensi balok bisa dikurangi.
- Jika $\rho_{\text{hitung}} > \rho_{\max}$, maka penampang terlalu kecil sehingga dimensi balok harus dibesarkan.

d. Hitung As yang diperlukan

$$As \text{ Pakai} = \rho \text{ pakai} \cdot b \cdot Deff$$

e. Menentukan Jumlah Tulangan Terpasang

$$Asd = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$n \text{ Pakai} = \frac{As \text{ Pakai}}{Asd}$$

f. Memasang Tulangan

$$As \text{ Terpasang} = Asd \cdot n$$

g. Cek Jarak Bersih Antar Tulangan

$$S = \frac{b - (2 \times P) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times D \text{pokok})}{(n-1)}$$

(Jarak Bersih Antar Tulangan harus lebih dari 40 mm, $S > 40$ mm)

8 Perencanaan Tulangan Geser (Sengkang)

- a. $V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d_{eff}$ (SNI 2847:2019 halaman 190)

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$. Tulangan geser minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} V_c$ tapi kurang dari ϕV_c . Biasanya dapat digunakan tulangan berdiameter 10 mm yang diletakkan dengan jarak maksimum. Apabila nilai $V_u > \phi V_c$ maka kebutuhan tulangan geser harus dihitung.

- b. Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi ϕ

$$V_u < \phi V_n$$

Dimana $V_n = V_c + V_s$ (SNI 2847:2019 halaman 482), sehingga :

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

Dengan besar faktor reduksi (ϕ) untuk geser adalah sebesar 0,75.

- c. Luas minimum tulangan geser

Luas minimum tulangan geser $A_{v_{min}}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5 \phi V_c$, kecuali untuk kasus dibawah. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v_{min}}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Kasus dimana $A_{v_{min}}$ tidak diperlukan jika $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

Tipe balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250$ mm
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dan $2,5f_y$ atau $0,5 b_w$ dan $h \leq 600$ mm
Dibangun dengan beton bobot normal bertulangan serat baja sesuai 26.4.1.5.1 (a). 26.4.2.2. (d) dan 26.12.5.1. (a0 dan dengan $f_c' \leq 40$ MPa	$h \leq 600$ mm dan $V_u \leq \phi 0,17 \sqrt{f_c' b_w d}$
Sistem pelat berusuk satu arah	Sesuai dengan 9.8

(Sumber : SNI 2847:2019 pasal 9.6.3.1 hal 190)

$$A_v \text{ min} = 0,0062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \frac{b_w \cdot S}{f_y \cdot t} > \frac{0,35 \cdot b_w \cdot S}{f_y \cdot t}$$

(SNI 2847 : 2019 hal 216)

d. Jarak maksimum tulangan geser

$$\text{Jika } V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{2}$$

$$\text{Jika } V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{4}$$

(SNI 2847:2019 halaman 202)

Dengan batasan kebutuhan luas tulangan geser :

$$S_{\text{max}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot t}{0,0062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w}, \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ Mpa}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{D_e f_f}{2}, \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$$

Sehingga untuk sengkang vertikal dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = Kuat geser terfaktor pada penampang

V_n = Kuat geser nominal

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

A_v = Luas tulangan geser pada daerah sejarak

$A_v = 2 A_s$, dimana A_s = Luas penampang batang tulangan sengkang

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

f_y = Mutu baja

2.3.5 Perancangan Portal

Portal merupakan suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling berhubungan dan fungsinya menahan beban sebagai satu kesatuan lengkap yang terdiri dari berat sendiri, peralatan berat gording, beban hidup, dan beban mati. Portal-portal yang dihitung adalah portal akibat beban mati, portal akibat beban hidup, dan portal akibat beban gempa. Perencanaan portal ini dihitung dengan menggunakan program SAP 2000 V.14. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pendimensian portal adalah sebagai berikut:

- a. Pendimensian balok dengan tebal minimum balok ditentukan dalam **SK SNI 03-2847-2019** adalah untuk balok dengan bentang terpanjang yang memiliki dua tumpuan sederhana memiliki tebal minimum $1/16$.
- b. Pendimensian kolom dengan bantuan aplikasi SAP 2000 V.14.
 - 1) Analisa pembebanan
 - 2) Menentukan gaya – gaya dalam

Dalam menghitung dan menentukan besarnya momen yang bekerja pada suatu struktur bangunan dengan menggunakan bantuan aplikasi *software*. Berikut adalah cara menghitung besarnya momen dengan menggunakan *software* :

1. Perencanaan portal dengan menggunakan SAP 2000 V.14.
 - a. Perencanaan Portal akibat Beban Mati

Langkah-langkah menentukan pembebanan pada portal adalah sebagai berikut :

 - 1) Beban Pelat
 - 2) Beban Balok
 - 3) Beban Penutup lantai dan adukan
 - 5) Berat pasangan dinding (Jika ada)
 - b. Perencanaan Portal Akibat Beban Hidup

Untuk merencanakan portal akibat beban hidup perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

 1. Menentukan pembebanan pada portal
 2. Perhitungan akibat beban hidup = perhitungan akibat beban mati
 - c. Perencanaan Portal akibat Beban Angin
 1. Menentukan beban angin yang bekerja

2. Input beban angin terhadap bidang kolom secara vertikal merata dengan angin menekan ke arah kolom
2. Membuat model struktur portal akibat beban mati dan beban hidup
 - a. Klik *New Model* atau **CTRL + N**
 - b. Kemudian akan tampil kotak seperti gambar dibawah ini, tetapkan satuan yang akan dipakai (N, mm, c).
 - c. Pilih model template *2D frames*, akan muncul jendela seperti gambar dibawah ini, kemudian isikan *Number of stories*, *story height*, *number of bays*, dan *bay width* masukan sesuai data – data perencanaan. Kemudian klik Ok.
 - d. Untuk mengatur kembali jarak-jarak pada portal. Dapat dilakukan dengan cara klik 2x pada *grid point* yang terdapat pada portal.
 3. Menentukan material
 - a. Langkah pertama klik *Define* pada *toolbar* > lalu klik *materials* maka akan muncul jendela *Define materials*.
 - b. Pilih *add new material*, maka akan muncul jendela *material property data*. Ganti nilai *weight per unit volume* dengan 24 (nilai ini adalah nilai dari berat jenis beton). Ubah nilai *modulus of elasticity* dengan rumus $4700\sqrt{f_c} \cdot 1000$, serta ubah juga nilai F_c dan F_y sesuai dengan perencanaan dengan masing-masing dikali 1000, klik Ok.
 4. Menentukan nilai dimensi kolom dan balok
 - a. Blok *frame* kolom/balok, lalu pilih menu pada *toolbar*, *define* > *section properties* > *frame section*, setelah memilih menu diatas akan tampil *toolbar frame properties*.
 - b. Klik *add new property*, maka akan muncul jendela *add frame selection property*. Pada *select property type*, ganti *frame section property type* menjadi *concrete*. Lalu pilih *rectangular* pada *click to add a concrete section* (untuk penampang berbentuk segiempat).

- c. Ganti *section name* dengan nama balok, kolom, ganti ukuran tinggi (*depth*) dan lebar (*width*) balok/kolom sesuai dengan perencanaan. Kemudian klik *concrete reinforcement*, klik *column*, beam lalu klik ok.
 - d. Untuk menentukan *frame* tersebut balok atau kolom yaitu dengan cara memblok *frame* kemudian pada *toolbar* pilih menu *assign - frame/cable/tendon frame section* – pilih balok atau kolom.
5. Membuat *cases* beban mati, beban hidup, dan beban angin.
 - a. Pilih menu pada *toolbar*, *define – load pattern* – buat nama pembebanan, tipe pembebanan dan nilai koefisiennya diisi dengan nilai 0. Lalu klik *add new load pattern* lalu klik ok.
 - b. *Input* beban mati, beban hidup dan angin pada menu *toolbar*, *assign frame loads – distributed* – pilih pembebanan.
 6. *Input Load Combination* (beban kombinasi) pada menu *toolbar*, *define – combination – add new combo*, kemudian masukkan beban kombinasinya (dihitung manual).
 7. *Run analysis*.
 8. Setelah memperoleh data Momen Lentur, Gaya Lintang dan Gaya Aksial dapat melakukan perhitungan Balok Induk dan Kolom.
 9. Metode Perhitungan Balok Induk sama seperti Balok Anak.

2.3.6 Perancangan Kolom

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecil sebesar 3 atau lebih. Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai atau atap dan menyalurkan ke pondasi.

Secara umum kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut :

1. Berdasarkan beban yang bekerja, kolom di klasifikasikan menjadi :
 - a. Kolom dengan beban *aksial*
 - b. Kolom dengan beban *eksentris uniaksial*

- c. Kolom dengan beban *biaksial*
2. Berdasarkan panjangnya, kolom dibedakan menjadi :
 - a. Kolom panjang
 - b. Kolom pendek
 3. Berdasarkan bentuk penampangnya, kolom dapat berbentuk bujur sangkar, segi delapan, persegi panjang, lingkaran, bentuk L, dan bentuk lainnya dengan ukuran sisi yang mencukupi.
 4. Berdasarkan jenis tulangan sengkang yang digunakan dibedakan menjadi kolom dengan sengkang persegi dan kolom dengan sengkang spiral.
 5. Berdasarkan kekangan dalam arah lateral, kolom dapat menjadi bagian dari suatu portal yang dikekang terhadap goyangan atau pun juga dapat menjadi bagian dari suatu portal bergoyang.
 6. Berdasarkan materialnya, kolom dapat berupa kolom beton bertulang biasa, kolom beton prategang, atau kolom komposit (terdiri dari beton dan profil baja).

Prosedur perhitungan struktur kolom :

1. Menentukan Perencanaan awal

Menentukan f_c , f_y , Ukuran Penampang Kolom.

$$f_c = 28 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Ukuran} = \text{Lantai 1 \& 2} = 450 \text{ mm} \times 450 \text{ mm}$$

$$= \text{Lantai 3} = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c} \text{ Mpa}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

2. Menentukan Parameter Penampang Kolom

$$I_g = 1/12 bh^3$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_s \text{ Kolom}}}$$

$$\text{Lu} = \text{Tinggi Kolom} - \frac{1}{2} h \text{ balok atas} - \frac{1}{2} h \text{ balok bawah}$$

(Tinggi Bersih Kolom)

3. Menentukan Parameter Penampang Balok

$$I_g = 1/12 bh^3$$

4. Menentukan Nilai Deff Penampang Kolom

$$Deff = ts + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} \text{ tulangan utama}$$

5. Menentukan Nilai γ penampang Kolom

$$\gamma = \frac{h - 2 Deff}{h}$$

6. Menentukan Nilai Kekakuan Kolom

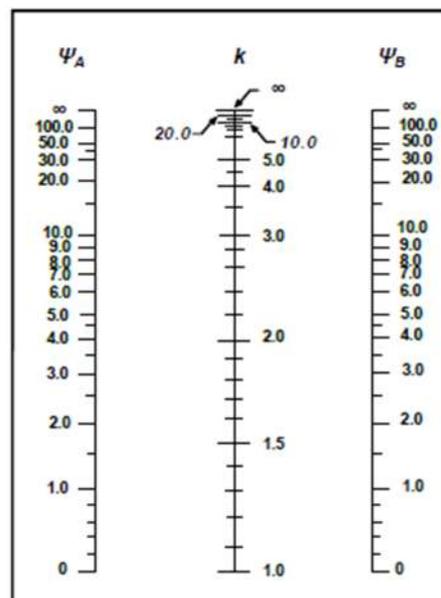
- a. Parameter Bagian Atas Kolom

$$\Psi_A = \frac{\left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)K1}{\left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)B1 + \left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)B1}$$

- b. Parameter Bagian Bawah Kolom

$$\Psi_B = \frac{\left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)K1 + \left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)K2}{\left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)B2 + \left(\frac{\Sigma EI}{Lc}\right)B2}$$

Dari nilai kedua tersebut di dapat k dari grafik Rangka Bergoyang :



Gambar 2. 7 Grafik Rangka Bergoyang

7. Analisa Kelangsingan Kolom

$\frac{k.Lu}{r} < 22$ Jika Nilainya < 22 , maka pengaruh kelangsingan harus diperhitungkan

8. Analisa Pembesaran Momen (δ_s)

$$\beta_{dns} = \frac{Pu(1,2D+1,6L)}{Pu(1,2D+L+W)}$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0,4 EI}{1 + \beta_{dns}}$$

9. Menghitung Nilai $\sum P_c$

$$\sum P_u = \text{Jumlah Kolom} \times P_u$$

$$P_c = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{(Klu)^2}$$

$$\sum P_c = \text{Jumlah Kolom} \times P_c$$

10. Menghitung parameter δ_s

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} > 1,0$$

$$M1 = M1_{ns} + \delta_s M1_s$$

$$M2 = M2_{ns} + \delta_s M2_s$$

Dari nilai momen tersebut, akan diambil nilai yang terbesar sebagai nilai momen ultimate M_u , sedangkan P_u diambil dari nilai aksial terbesar dan dijumlahkan.

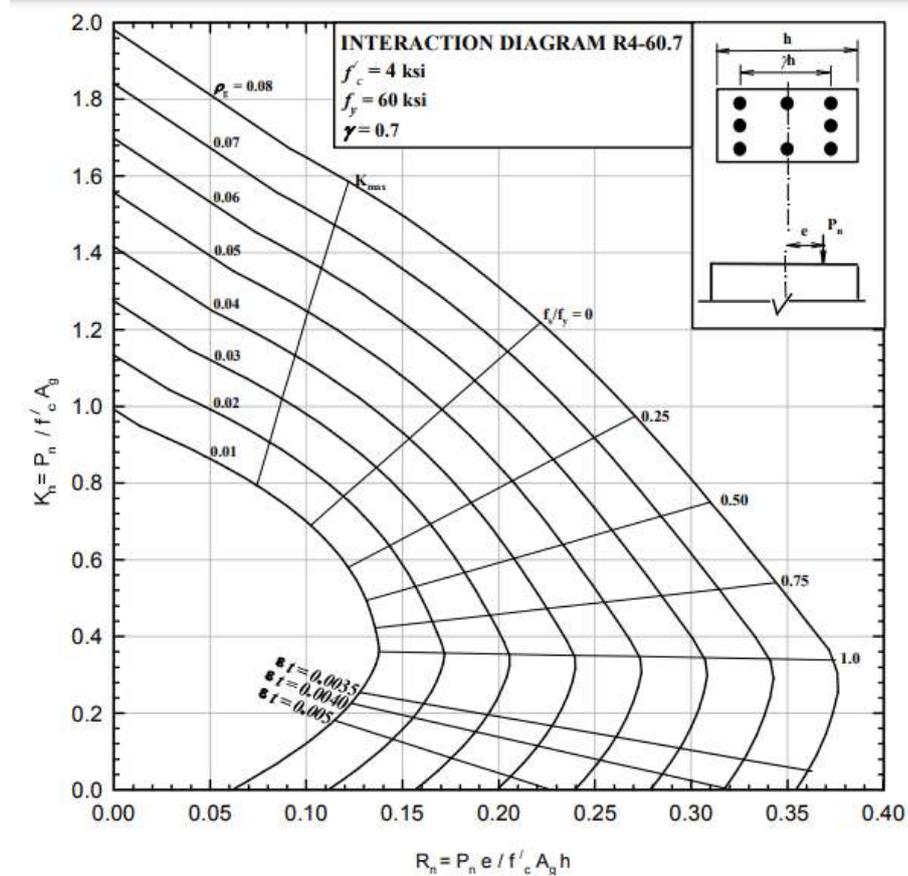
11. Besaran Eksentritas (e) pada kolom

$$e = M_u / P_u$$

12. Nilai rasio tulangan (ρ) berdasarkan diagram interaksi P – Mb

$$R_n = \frac{p_n \cdot e}{f_c \cdot A_g \cdot h} = \frac{\left(\frac{p_u}{0,65}\right) \cdot e}{f_c \cdot A_g \cdot h}$$

$$K_n = \frac{p_n}{f_c \cdot A_g} = \frac{\frac{p_u}{0,65}}{f_c \cdot A_g}$$



Gambar 2. 8 Diagram Interaksi P – Mb

Didapatkan rho dengan grafik interaksi P – Mb

13. Menentukan Jumlah Tulangan Terpasang

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h$$

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

14. Cek Jarak Bersih Penulangan

$$S = \frac{b - (2 \times P) - (2 \times \emptyset \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ pokok})}{(n - 1)}$$

15. Perhitungan Tulangan Geser Kolom

- a. Menghitung Kuat Beton V_c

$$\phi V_c = \phi 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \lambda \sqrt{28} b_w \cdot d$$

$\phi V_c > V_{u_{maks}} \rightarrow$ Maka Kuat tekan beton sendiri bisa menahan Gaya geser

$$V_u < \phi (V_c + 0,66 \cdot \lambda \cdot \sqrt{F_c} \cdot b_w \cdot d_{eff})$$

Hal ini berarti Ukuran Penampang kolom sudah memenuhi persyaratan. Bila tidak maka penampang harus di perbesar.

$$S_1 = 16 \times \phi \text{ Sengkang}$$

$$S_2 = 48 \times \text{Tulangan Pokok}$$

$$S_3 = \text{Dimensi Terkecil (b) Kolom}$$

$$S \text{ Pakai} = \text{Diambil yang Terkecil}$$

2.3.7 Perancangan Sloof

Sloof adalah struktur bangunan yang terletak di atas pondasi bangunan. Sloof berfungsi mendistribusikan beban dari bangunan atas ke pondasi, sehingga beban yang tersalurkan setiap titik di pondasi tersebar merata. Selain itu sloof juga berfungsi sebagai pengunci dinding dan kolom agar tidak roboh apabila terjadi pergerakan tanah. Sebagai tambahan pada sloof, untuk bangunan tahan terhadap gempa maka disempurnakan pada ikatan antara sloof dengan pondasi yaitu dengan memberikan angker dengan diameter 12 mm jarak 1,5 meter. Namun angka ini dapat berubah untuk bangunan yang lebih besar atau bangunan bertingkat banyak. Langkah – langkah perhitungan dalam merencanakan sloof :

- 1 Menentukan Mutu Beton dan Mutu Baja yang digunakan.

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

- 2 Menentukan dimensi balok yang akan direncanakan.

- 3 Menghitung pembebanan yang terjadi, yakni :

d. Beban Mati (*Dead Load*)

e. Beban Hidup (*Live Load*) berdasarkan **SNI 1727:2020** tentang beban Hidup Minimum Perancangan Bangunan.

f. Beban Angin (Hanya Pada Portal dan Atap)

- 4 Menentukan Software Pendukung Perhitungan Struktur
 - c. SAP 2000 V.14
 - d. Ms. Excel
- 5 Menghitung Beban Ultimit Kombinasi, Momen Rencana, Gaya Lintang, dan Gaya Aksial

Beban Ultimit Kombinasi diperoleh :

$$W_U = 1,2 W_D + 1,6W_L$$

Momen Rencana, Gaya Lintang dan Gaya Aksial diperoleh Otomatis melalui Software SAP 2000 V.14

- 6 Periksa dimensi penampang balok

b. Menentukan deff

$$D_{\text{eff}} = h - t_s - \emptyset \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ Tulangan Pokok}$$

- 7 Penulangan Lentur Lapangan dan Tumpuan

h. Menentukan Rn Rencana

$$R_n = \frac{M_u \times 10^6}{(\phi \times b \times d_{\text{eff}}^2)}$$

Keterangan :

- Mu = Momen rencana/terfaktor pada penampang (kN.m)
 b = Lebar penampang (mm)
 deff = Tinggi efektif (mm)
 ϕ = Faktor reduksi rencana (0,9)

i. Menentukan Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

j. Menentukan Nilai ρ

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

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

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \left[\beta_1 \times f_c \times \frac{0,85}{f_y} \right] \times \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]$$

(Karena $f_c = 25$ Mpa, $f_y = 420$ Mpa, maka $\beta_1 = 0,85$, Digunakan untuk mutu beton ≤ 30 MPa)

Keterangan :

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Rasio Tulangan} \\ f_y &= \text{Mutu Baja (Mpa)} \\ f_c' &= \text{Mutu Beton (Mpa)} \end{aligned}$$

Dengan beberapa syarat, seperti :

- b. Jika $\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{hitung}} < \rho_{\text{max}} = \text{OKE}$
- d. Jika $\rho_{\text{hitung}} < \rho_{\text{min}}$, maka penampang terlalu besar sehingga dimensi balok bisa dikurangi.
- e. Jika $\rho_{\text{hitung}} > \rho_{\text{max}}$, maka penampang terlalu kecil sehingga dimensi balok harus dibesarkan.

k. Hitung As yang diperlukan

$$\text{As Pakai} = \rho_{\text{pakai}} \cdot b \cdot d_{\text{eff}}$$

l. Menentukan Jumlah Tulangan Terpasang

$$\text{Asd} = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$n_{\text{Pakai}} = \frac{\text{As Pakai}}{\text{Asd}}$$

m. Memasang Tulangan

$$\text{As Terpasang} = \text{Asd} \cdot n$$

n. Cek Jarak Bersih Antar Tulangan

$$S = \frac{b - (2 \times P) - (2 \times \text{Øsengkang}) - (n \times D_{\text{pokok}})}{(n-1)}$$

(Jarak Bersih Antar Tulangan harus lebih dari 40 mm, $S > 40$ mm)

8 Perencanaan Tulangan Geser (Sengkang)

$$e. V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d_{\text{eff}} \quad (\text{SNI 2847:2019 halaman 190})$$

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$. Tulangan geser minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} V_c$ tapi kurang dari ϕV_c . Biasanya dapat digunakan tulangan berdiameter 10 mm yang diletakkan dengan jarak maksimum. Apabila nilai $V_u > \phi V_c$ maka kebutuhan tulangan geser harus dihitung.

- f. Gaya geser V_u yang dihasilkan oleh beban terfaktor harus kurang atau sama dengan kuat geser nominal dikalikan dengan faktor reduksi ϕ

$$V_u < \phi V_n$$

Dimana $V_n = V_c + V_s$ (SNI 2847:2019 halaman 482), sehingga :

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

Dengan besar faktor reduksi (ϕ) untuk geser adalah sebesar 0,75.

- g. Luas minimum tulangan geser

Luas minimum tulangan geser $A_{v_{min}}$ harus disediakan pada semua penampang dimana, $V_u > 0,5 \phi V_c$, kecuali untuk kasus dibawah. Untuk kasus ini, sekurang-kurangnya $A_{v_{min}}$ harus dipasang dimana $V_u > \phi V_c$.

Kasus dimana A_v min tidak diperlukan jika $0,5 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

Tipe balok	Kondisi
Balok tipis	$h \leq 250$ mm
Menyatu dengan pelat	$h \leq$ terbesar dan $2,5f_y$ atau $0,5 b_w$ dan $h \leq 600$ mm
Dibangun dengan beton bobot normal bertulangan serat baja sesuai 26.4.1.5.1 (a). 26.4.2.2. (d) dan 26.12.5.1. (a0 dan dengan $f_c' \leq 40$ MPa	$h \leq 600$ mm dan $V_u \leq \phi 0,17 \sqrt{f_c' b_w d}$
Sistem pelat berusuk satu arah	Sesuai dengan 9.8

(Sumber : SNI 2847:2019 pasal 9.6.3.1 hal 190)

$$A_{v \min} = 0,0062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \frac{b_w \cdot S}{f_y \cdot t} > \frac{0,35 \cdot b_w \cdot S}{f_y t}$$

(SNI 2847 : 2019 hal 216)

h. Jarak maksimum tulangan geser

$$\text{Jika } V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{2}$$

$$\text{Jika } V_s > 0,33 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot bw \cdot d, \text{ maka } S = \frac{d}{4}$$

(SNI 2847:2019 halaman 202)

Dengan batasan kebutuhan luas tulangan geser :

$$S_{\max} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot t}{0,0062 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot bw}, \text{ untuk } f'c' > 30 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max} = \frac{Deff}{2}, \text{ untuk } f'c' \leq 30 \text{ Mpa}$$

Sehingga untuk sengkang vertikal dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

Keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = Kuat geser terfaktor pada penampang

V_n = Kuat geser nominal

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

A_v = Luas tulangan geser pada daerah sejarak

$A_v = 2 A_s$, dimana A_s = Luas penampang batang tulangan sengkang

d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

f_y = Mutu baja

2.3.8 Perancangan Pondasi

Pondasi dalam istilah ilmu teknik sipil dapat didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Proses desain struktur pondasi memerlukan analisis yang cukup lengkap, meliputi

kondisi atau jenis struktur atas, beban-beban yang bekerja pada struktur, profil lapisan tanah tempat bangunan, serta kemungkinan terjadinya penurunan (*settlement*). Hasil desain struktur pondasi yang optimal dapat menghasilkan biaya konstruksi yang minimal tanpa mengurangi tingkat keamanan dan kinerja dari struktur tersebut. Berikut ini merupakan beberapa jenis-jenis pondasi yang biasa diketahui, diantaranya:

a. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal adalah pondasi yang memiliki dasar pondasi pada kedalaman maksimal 2 m dari muka tanah asli. Jenis-jenis pondasi dangkal :

- 1) Pondasi telapak, dapat digunakan jika sebuah elemen pondasi memikul sebuah beban kolom tunggal.
- 2) Pondasi lajur, dapat digunakan jika kolom terletak dalam satu garis dan terletak berdekatan
- 3) Pondasi gabungan, dapat digunakan apabila terdapat dua buah kolom yang saling berdekatan dan apabila digunakan pondasi telapak maka kedua pondasi tersebut akan saling bertabrakan satu sama lain.
- 4) Pondasi rakit/ raft/ mat, dapat digunakan pada kondisi lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah, biasanya diperlukan ukuran/ dimensi pondasi yang lebih besar.

b. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang memiliki kedalaman tanah keras lebih dari 2 meter. Pada beberapa kondisi yang dijumpai di lapangan, terkadang lapisan tanah keras sebagai dasar pondasi, terletak cukup dalam dari lapisan muka tanah. Atau dengan kata lain, lapisan tanah tersebut memiliki daya dukung yang kurang bagus. Sebagai akibatnya, seorang ahli teknik tidak dapat menggunakan sistem pondasi dangkal, dan sebagai alternatifnya dapat dipilih sistem pondasi dalam berupa tiang pancang atau tiang bor. Fungsi dari sebuah pondasi tiang adalah untuk mentransmisikan beban aksial kolom serta beban momen ke lapisan tanah tanah keras.

Langkah – langkah perencanaan pondasi :

1) Menentukan daya dukung ijin tanah (Q) melalui perhitungan dengan berdasarkan data-data tanah yang ada.

a) Berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang

$$Q_{Bahan} = 0,3 \times f'c \times A_{tiang}$$

b) Berdasarkan kekuatan tanah

qc dan JHP ditentukan dengan metode Schmertmann – Nottingham

(1975) : 0,7D – 4D kebawah, dan 8D keatas

$$Q_{ijin} = \frac{qc \cdot Ab}{Fb} + \frac{JHP \cdot O}{Fs}$$

2) Menentukan jumlah banyaknya tiang pancang

$$P_u = (P \times 10\%) + P + \text{Berat Pile cap}$$

$$n = \frac{P_u}{Q_{ijin}}$$

3) Menentukan jarak antar tiang pancang

Apabila telah dilakukan perhitungan jumlah banyaknya tiang pancang, maka langkah selanjutnya adalah menentukan jarak antar masing-masing tiang pancang.

$$S = 2,5D - 4D$$

Keterangan :

S = jarak antar tiang

D = ukuran tiang

4) Menentukan Jarak Antar Tiang ketepi Pile cap

$$S = 1,5D - 2D$$

5) Menentukan efisiensi kelompok tiang

Menentukan efisiensi kelompok tiang dilakukan setelah mengetahui hasil perhitungan jumlah tiang pancang. Perhitungan efisiensi kelompok tiang ini dilakukan apabila setelah didapat hasil perhitungan jumlah tiang yang lebih dari satu buah tiang. Nilai efisiensi tiang pancang (Eg) dapat ditentukan dengan rumus berikut ini :

$$\eta = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \times n} \right)$$

Keterangan :

η = efisiensi kelompok tiang

θ = $\arctan \frac{d}{s}$

d = diameter tiang (m)

s = jarak antar tiang (m)

m = Jumlah baris tiang dalam kelompok tiang (buah)

n = Jumlah kolom tiang dalam kelompok tiang (buah)

Daya dukung grup ijin tiang :

$$Q_{Ijin\ Grup} = \eta \cdot Q_{Ijin} \cdot n$$

6) Menentukan kemampuan tiang pancang terhadap sumbu x dan sumbu y

$$Q_i = \frac{\Sigma V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{maks}}{\Sigma X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{maks}}{\Sigma Y^2}$$

7) Keterangan :

Q = Total beban vertical yang bekerja (kN)

M_x = Momen yang berusaha untuk memutar sumbu x (kN.m)

M_y = Momen yang berusaha untuk memutar sumbu y (kN.m)

n = Jumlah tiang (buah)

X_i = Jarak tiang nomor i terhadap sumbu y diukur sejajar sumbu x (m)

Y_i = Jarak tiang nomor i terhadap sumbu x diukur sejajar sumbu y (m)

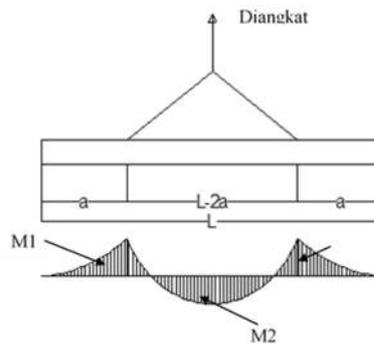
ΣX^2 = Jumlah kuadrat jarak seluruh tiang, terhadap sumbu y (m^2)

ΣY^2 = Jumlah kuadrat jarak seluruh tiang, terhadap sumbu x (m^2)

8) Pengangkatan tiang pancang

a) Pengangkatan pola 1 (pada waktu pengangkatan)

Kondisi pengangkatan tiang pancang dan momen yang ditimbulkan dengan dua tumpuan.



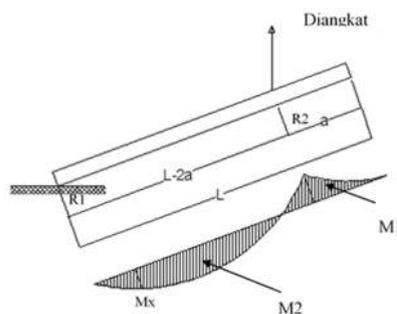
Gambar 2. 9 Pengangkatan Pola 1

$$M1 = M2$$

$$\frac{1}{2} qa^2 = \frac{1}{8} q (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} qa^2$$

b) Pengangkatan pola 2 (pada waktu pengangkatan)

Kondisi pengangkatan tiang pancang dan momen yang ditimbulkan dengan satu tumpuan.



Gambar 2. 10 Pengangkatan Pola 2

$$M1 = \frac{1}{2} qa^2$$

$$R1 = \frac{q(L-a)}{2} - \frac{qa^2}{2(L-a)}$$

$$Mx = R1x - \frac{1}{2} qx^2$$

Syarat ekstrim :

$$\begin{aligned} \frac{dmx}{dx} &= 0 \\ R1 - qx &= 0 \\ x &= \frac{R1}{q} = \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \\ M_{maks} &= M2 \\ &= R1 \cdot \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} - \frac{1}{2} q \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} q \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) \\ M1 &= M2 \\ \frac{1}{2} qa^2 &= \frac{1}{2} q \left(\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right) \end{aligned}$$

9) Perhitungan tulangan geser *pile cap*

a) Kontrol kekuatan geser secara kelompok

Untuk menghitung tulangan geser *pile cap* ditinjau dengan 2 cara, yaitu aksi dua arah dan aksi satu arah.

1 Untuk aksi dua arah

Tegangan tanah ultimit akibat beban terfaktor

$$V_u = \frac{P_u}{A_{Pelat}} \times A_{eff}$$

a. Geser Dua Arah di Sekitar Kolom

$$b_o = 2(a_1 + deff) + 2(a_2 + deff)$$

$$V_{c1} = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \cdot \beta = 1 \dots (1)$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{a_1 \cdot deff}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \cdot \beta = 1 \dots (2)$$

$$V_{c3} = 0,33 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \cdot \beta = 1 \dots (3)$$

(SNI 2847: 2019 halaman 499)

Dari ketiga persamaan diambil yang terkecil. Jika $\phi V_c > V_u$ maka tidak diperlukan tulangan geser. Jika $\phi V_c < V_u$ maka diperlukan tulangan geser.

b. Geser Dua Arah di Sekitar Tiang Pancang

$$b_o = 2 (450 + l \text{ tiang}/2 + deff/2)$$

$$V_{c1} = 0,17 (1 + \frac{2}{\beta}) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \dots \beta = 1 \dots (1)$$

$$V_{c2} = 0,083 (\frac{a_1 \cdot deff}{b_o} + 2) \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \cdot \beta = 1 \dots (2)$$

$$V_{c3} = 0,33 \cdot \lambda \sqrt{f_c} \cdot b_o \cdot deff \dots \beta = 1 \dots (3)$$

(SNI 2847: 2019 halaman 499)

Dari ketiga persamaan diambil yang terkecil. Jika $\phi V_c > V_u$ maka tidak diperlukan tulangan geser. Jika $\phi V_c < V_u$ maka diperlukan tulangan geser.

2 Untuk aksi satu arah

Gaya geser terfaktor

$$V_u = \frac{P_u}{A_{Pelat}} \times A_{eff}$$

Gaya geser nominal

$$\Phi V_c = \Phi (0,17 \cdot \gamma \cdot \sqrt{f_c}) b_w \cdot deff$$

Jika $\Phi V_c > V_u$, maka tidak diperlukan tulangan geser. Jika $\Phi V_c < V_u$, maka diperlukan tulangan geser.

10) Perhitungan tulangan pokok *pile cap*

x = Jarak Dari as tiang ke tepi kolom

M_u = $V_u \cdot x$

R_n = $\frac{M_u}{\Phi b d^2}$

ρ_{perlu} = $\frac{(0,85 \times f_c')}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right]$

A_{Sperlu} = $\rho b d$

A_{Smin} = $0,0018 \cdot b \cdot h$

$A_{S Pakai}$ = A_s Terbesar

A_{db} = $\frac{1}{4} \pi d^2$

S = $\frac{adb}{A_s} \times b$

11) Perhitungan kekuatan tulangan pokok pasak

1 Kuat tekan rencana kolom

$$\phi P_n = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot A_g$$

Jika $\phi P_n > P_u$, berarti beban pada kolom dapat dipindahkan dengan dukungan saja. Tetapi disyaratkan untuk menggunakan tulangan pasak minimum sebesar :

$$A_{smin} = 0,0050 A_g \text{ (SNI 2847: 2019 halaman 123)}$$

2 Kontrol panjang penyaluran pasak

$$L_{db} = \frac{0,25 \cdot f_y \cdot d_b}{\sqrt{f_c'}}$$

2.4 Manajemen Proyek

Manajemen proyek (pengelolaan proyek) merupakan suatu proses merencanakan, mengorganisir, memimpin 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. Fungsi dasar manajemen dikelompokkan menjadi 3 kelompok kegiatan, diantaranya :

1. Kegiatan Perencanaan

a. Penetapan tujuan (*goal setting*)

Penetapan tujuan ini yaitu tahap awal yang harus dilakukan dengan menentukan tujuan utama yang ditetapkan secara spesifik, realistis, terukur, dan mempunyai durasi pencapaian/target.

b. Perencanaan (*planning*)

Perencanaan ini dibuat sebagai upaya peramalan masa yang akan datang dan perumusan kegiatan-kegiatan yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan yang ditetapkan berdasarkan perencanaan tersebut. Bentuk perencanaan dapat berupa perencanaan prosedur, perencanaan metode kerja, perencanaan standar pengukuran hasil, perencanaan anggaran biaya, maupun perencanaan program (rencana kegiatan beserta jadwal).

c. Pengorganisasian (*organizing*)

Kegiatan pengorganisasian ini bertujuan untuk melakukan pengaturan dan pengelompokan kegiatan proyek konstruksi agar kinerja yang dihasilkan dapat sesuai dengan harapan.

2. Kegiatan Pelaksanaan

a. Pengisian staf (*staffing*)

Tahap ini adalah perencanaan personel yang akan ditunjuk sebagai pengelola pelaksanaan proyek. Kesuksesan proyek juga ditentukan oleh kecermatan dan ketetapan dalam memposisikan seseorang sesuai dengan keahliannya.

b. Pengarahan (*briefing*)

Pengarahan ini merupakan tahapan kelanjutan dari pengisian staf. Pada tahap ini dilakukan pengarahan berupa penjelasan tentang lingkup pekerjaan dan paparan waktu untuk memulai dan menyelesaikan pekerjaan tersebut.

3. Kegiatan Pengendalian

a. Pengawasan (*supervising*)

Pengawasan ini merupakan interaksi antar individu-individu yang terlibat dalam organisasi proyek. Proses ini harus dilakukan secara berkelanjutan dari waktu ke waktu guna mendapatkan keyakinan bahwa pelaksanaan kegiatan berjalan dengan lancar sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan untuk mencapai hasil yang diinginkan.

b. Pengendalian (*controlling*)

Controlling atau pengendalian merupakan proses penetapan atas apa yang telah dicapai, evaluasi kerja dan langkah perbaikan apabila diperlukan.

c. Koordinasi (*coordinating*)

Koordinasi yaitu pemantauan prestasi kegiatan dari pengendalian akan digunakan sebagai bahan untuk melakukan langkah perbaikan, baik proyek dalam keadaan terlambat maupun lebih cepat.

2.4.1 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 Umum
 - a. Mengenai pemberi tugas atau pemilik proyek
 - b. Bentuk surat penawaran dan cara penyampaiannya
 - c. Syarat- syarat peserta lelang
 - d. Keterangan mengenai perencanaan (Desain)
2. Syarat Teknis
 - a. Jenis mutu dan bahan yang digunakan
 - b. Jenis dan uraian pekerjaan yang harus dilaksanakan
 - c. Cara pelaksanaan pekerjaan
 - d. Merk material atau bahan
3. Syarat Administrasi
 - a. Jangka waktu pelaksanaan pekerjaan
 - b. Syarat pembayaran
 - c. Tanggal waktu penyerahan
 - d. Denda atas keterlambatan
 - e. Besar jaminan penawaran
 - f. Besar jaminan pelaksanaan

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

- a. Gambar kerja proyek
- b. Rencana anggaran biaya pelaksanaan proyek
- c. *Bill of quality* (BOQ) atau daftar volume pekerjaan
- d. Data lokasi proyek berada

- e. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub-kontraktor yang tersedia disekitar lokasi pekerjaan proyek berlangsung.
- f. Data sumber daya yang meliputi material, peralatan, sub-kontraktor yang harus didatangkan ke lokasi proyek.
- g. Data kebutuhan tenaga kerja dan ketersediaan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan.
- h. Data cuaca atau musim dilokasi pekerjaan proyek
- i. Data jenis transportasi yang dapat digunakan disekitar lokasi proyek
- j. Metode kerja yang digunakan untuk melaksanakan masing-masing item pekerjaan.
- k. Data kapasitas produksi meliputi peralatan, tenaga kerja, sub-kontraktor, material.
- l. Data keuangan proyek meliputi arus kas cara pembayaran pekerjaan, tenggang waktu pembayaran *progress*, dan lainnya.

2.4.2 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 2 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/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. Dari harga-harga yang terdapat dalam analisa harga satuan ini nantinya akan diperoleh total biaya keseluruhan dari hasil perkalian dengan volume pekerjaan. Analisa harga satuan akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Analisa harga satuan terdiri dari harga bahan yang didapat di pasaran lalu dikumpulkan dalam satu daftar yang dinamakan daftar harga satuan bahan dan upah tenaga kerja yang didapatkan di lokasi, dikumpulkan dan dicatat dalam satu daftar dinamakan daftar harga satuan upah. Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di setiap daerah berbeda-beda. Jadi, dalam menghitung dan menyusun anggaran biaya suatu bangunan/proyek, harus berpedoman pada harga satuan bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi pekerjaan.

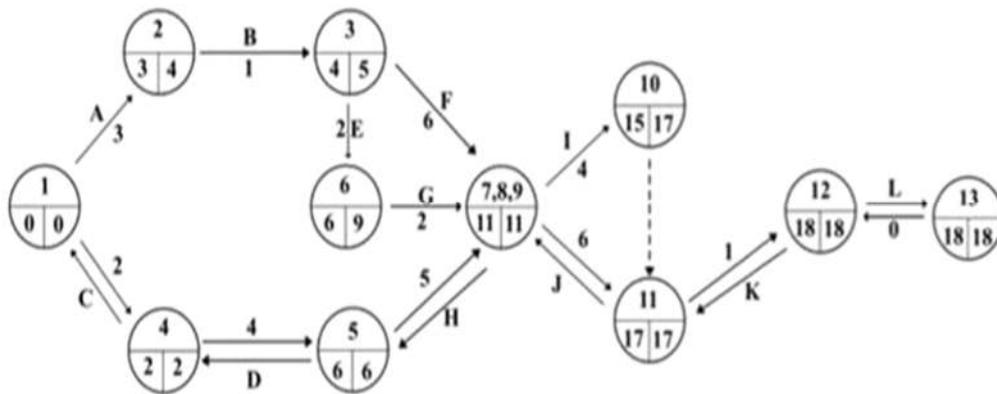
2.4.3 Rencana Kerja (Time Schedule)

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)

Network planning merupakan suatu hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan/divisualisasikan dalam diagram *network*. Adanya *network* ini menjadikan sistem manajemen dapat menyusun perencanaan penyelesaian proyek dengan waktu dan biaya yang paling efisien. Berikut ini merupakan manfaat NWP adalah sebagai berikut :

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



Gambar 2. 11 Diagram NWP

Adapun data-data yang diperlukan dalam menyusun NWP adalah :

- Urutan pekerjaan yang logis
Harus disusun pekerjaan apa yang harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum pekerjaan dimulai, dan pekerjaan apa saja yang kemudian mengikutinya.
- Taksiran waktu penyelesaian setiap pekerjaan
Biasanya memakai waktu rata-rata berdasarkan pengalaman.
Jika proyek tersebut baru biasanya diberi kelonggaran waktu.
- Biaya untuk mempercepat pekerjaan
Ini berguna apabila pekerjaan-pekerjaan yang berada pada jalur-jalur kritis ingin dipercepat agar seluruh proyek segera selesai.

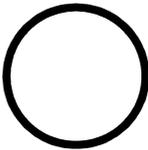
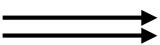
Sebelum menggambarkan diagram *network planning*, perlu diingat beberapa hal berikut :

- Panjang, pendek maupun kemiringan anak panah sama sekali tidak memiliki arti, dalam pengertian letak pekerjaan, banyaknya durasi dan *resources* yang dibutuhkan.
- Aktivitas - aktivitas apa yang mendahului dan aktivitas apa yang mengikutinya.
- Aktivitas - aktivitas apa yang dapat dikerjakan bersamaan.
- 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 juga tidak memiliki arti, dalam pengertian penting tidaknya suatu peristiwa. Anak panah selalu menghubungkan dua nodes, arah dari anak panah menunjukkan waktu.

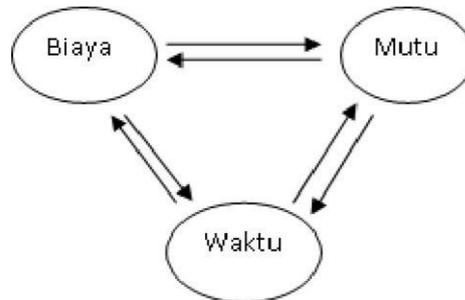
Berikut ini beberapa simbol yang biasa digunakan dalam *Network Planning* :

Tabel 2. 10 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, equipment, 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 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.

Pada proyek konstruksi membutuhkan perencanaan, penjadwalan dan pengendalian proyek. Tujuannya ialah untuk menyelaraskan antara biaya proyek

yang dioptimalkan, mutu pekerjaan yang baik atau berkualitas dan waktu pelaksanaan yang tepat. Karena ketiganya adalah 3 elemen yang saling mempengaruhi.



Gambar 2. 12 Diagram Hubungan Biaya, Mutu, dan Waktu

Ilustrasi dari 3 lingkaran diatas adalah jika biaya proyek berkurang (dikurangi) sementara waktu pelaksanaan direncanakan tetap, maka secara otomatis anggaran belanja material akan dikurangi dan mutu pekerjaan juga bisa jadi akan berkurang, dengan demikian secara umum proyek akan merugi. Jika waktu pelaksanaan mundur atau terlambat sementara tidak ada rencana penambahan anggaran, maka mutu pekerjaan juga akan berkurang dan proyek tersebut akan merugi. Jika mutu ingin dijaga, sementara waktu pelaksanaan terlambat, maka akan terjadi peningkatan jumlah anggaran biaya dan proyek akan merugi. Proyek dapat dikatakan untung jika waktu pelaksanaan lebih cepat selesai dari rencana dengan mutu yang tetap terjaga dan secara otomatis akan ada keuntungan pada biaya anggaran belanja.

2. *Barchart*

Barchart 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. *Barchart* juga merupakan bentuk rencana yang paling sederhana yang digunakan di lapangan, kegiatan yang dilakukan digambarkan dalam bentuk balok pada skala waktu. Proses penyusunan *barchart* dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

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. *Progress* tersebut dapat berupa rencana dan pelaksanaan biasanya mempunyai kemiringan yang landai pada tahap permulaan dan tahap akhir dari pelaksanaan proyek.

Visualisasi kurva S dapat memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkannya terhadap jadwal rencana. Rencana *progress* yang dibuat dalam kurva S merupakan referensi atau kesepakatan dari semua pihak atas *progress* yang perlu dihasilkan oleh kontraktor pada setiap moment waktu tertentu. Penyebab membentuk huruf S didalam kurva S dikarenakan kegiatan proyek berlangsung sebagai berikut :

- a. Kemajuan pada awalnya bergerak lambat
- b. Diikuti oleh kegiatan yang bergerak cepat dalam kurun waktu yang lebih lama.
- c. Akhirnya kecepatan kemajuan menurun dan berhenti pada titik akhir.

Manfaat dan kegunaan Kurva S :

1. Sebagai informasi untuk mengontrol pelaksanaan suatu proyek dengan cara membandingkan deviasi antara kurva rencana dengan kurva realisasi.
2. 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.
3. Sebagai informasi kapan waktu yang tepat untuk melakukan tagihan kepada *owner* ataupun melakukan pembayaran kepada *supplier*.

Tabel 2. 12 Kurva S

