

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Uraian Umum

Perancangan merupakan tahapan yang terpenting dari pembangunan suatu gedung atau bangunan yang lainnya. Perancangan bangunan rumah maupun gedung perlu memperhatikan kriteria-kriteria perancangan, agar aman dan nyaman untuk dihuni maupun indah dipandang. Kriteria perancangan konstruksi bangunan antara lain teknis, ekonomis, fungsional, estetika, dan ketentuan standar.

Proses perancangan dan konstruksi suatu struktur bangunan pada umumnya diatur oleh suatu aturan tertentu, sesuai dengan lokasi struktur bangunan tersebut berada. Pada Umumnya tiap negara memiliki peraturan masing-masing. Di Indonesia sendiri peraturan desain struktur beton diatur dalam SNI 2847:2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, yang disusun dengan mengacu pada peraturan ACI (*American Concrete Institute*). Konsep perancangan yang dianut oleh SNI adalah berbasis kekuatan, atau yang lebih sering dikenal sebagai metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*). Dengan menggunakan konsep ini, persyaratan dasar yang harus dipenuhi dalam desain adalah :

$$\text{Kuat Rencana} \geq \text{Kuat Perlu}$$
$$\phi (\text{Kuat Nominal}) \geq U$$

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang meliputi pelat atap, pelat lantai, balok, kolom, tangga sampai dengan perhitungan struktur bawah yang terdiri dari tie beam dan pondasi. Studi pustaka dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perancangan yang optimal dan akurat. Agar sesuai kriteria-kriteria perancangan maka perhitungan struktur disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perancangan suatu gedung bertingkat yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya tidak akan menimbulkan kegagalan struktur.

2.2 Ruang Lingkup Perancangan

Ruang lingkup dari Perencanaan Bangunan Gedung Kantor Pusat Administrasi Kampus B Universitas Islam Indonesia Raden Fatah Jakabaring Palembang Sumatera Selatan ini meliputi beberapa tahapan yaitu persiapan, studi kelayakan, mendesain bangunan (perancangan), dilanjutkan dengan perhitungan struktur, perhitungan biaya, dan progres kerja yaitu NWP dan Kurva S.

2.2.1 Dasar-dasar Perhitungan

Dalam perancangan struktur Gedung Kantor Pusat Administrasi Kampus B Universitas Islam Indonesia Raden Fatah Jakabaring Palembang Sumatera Selatan, pedoman yang digunakan sebagai acuan dalam perancangan adalah sebagai berikut :

- a. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) dan Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013). Pedoman ini digunakan sebagai dasar-dasar dalam perencanaan dan pelaksanaan struktur beton dengan ketentuan dan persyaratan yang telah tercantum dalam SNI.
- b. Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727:2013). Pedoman ini digunakan untuk menentukan seberapa besar beban- beban yang diizinkan dalam perencanaan sebuah gedung.
- c. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Bangunan Rumah dan Gedung (PPPURG 1987). Dalam tata cara ini terdapat pedoman yang digunakan untuk menentukan beban yang diizinkan untuk merencanakan bangunan gedung dan rumah. Pedoman ini memuat ketentuan-ketentuan beban yang harus diperhitungkan dalam bangunan.
- d. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 : 2013 oleh Agus Setiawan buku ini membahas secara menyeluruh tentang perencanaan struktur beton bertulang meliputi perancangan komponen struktur balok, kolom, pelat, pondasi, dinding penahan tanah, hingga perencanaan struktur beton tahan gempa.
- e. Dalam perancangan tangga digunakan buku ilmu bangunan gedung

supribadi 1997.

Untuk menyelesaikan perhitungan struktur gedung dalam pembahasan ini penulis menggunakan beberapa cara yaitu antara lain :

- Untuk perhitungan pelat menggunakan cara koefisien momen.
- Untuk perhitungan portal akibat beban mati dan beban hidup menggunakan metode elemen hingga program SAP2000 14.
- Untuk perhitungan tangga menggunakan program SAP2000 14.
- Untuk perhitungan pondasi menggunakan prinsip-prinsip mekanika tanah.

Selanjutnya suatu struktur bangunan gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, beban-beban tersebut antara lain :

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

Tabel 2.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Bangunan

Bahan Bangunan	
Baja	7.850 kg/m ³
Batu alam	2.600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1.450 kg/m ³
Besi tuang	7.250 kg/m ³
Beton ⁽¹⁾	2.200 kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2.400 kg/m ³
Kayu (kelas I) ⁽³⁾	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembap, tanpa diayak)	1.650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1.700 kg/m ³

Pasangan batu belah, batu 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 lembap)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembap)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembap)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	1.400 kg/m ³

Komponen Gedung	
Adukan, per cm tebal :	
- Dari semen	21 kg/m ²
- Dari kapur, semen merah dan tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral tambahan, 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 :	
a. Berlubang	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
b. 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 dan pengaku) terdiri dari :	
- Semen asbes (eternit dan bahan lain yang 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	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu) dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,8 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 porland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

(Sumber : PPPURG 1987)

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan adanya perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air ke dalam beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa, dan beban khusus.

Tabel 2.2 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum, L_o dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata 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)
Gedung persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	150 (7,18) ^a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama		
Lantai lain	100 (4,79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		

Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in. x 2 in. [50 mm x 50 mm])		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan (pada area 1 in. x 1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4.5	
Garasi/parkir Mobil penumpang saja Truk dan bus	40 (1,92) ^{a,b,c} c	

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (Kn)
Susunan tangga, rel pengamandan batang pegangan	Lihat pasal 4.5	
Helipad	60 (2,87) ^{de} tidak boleh direduksi	^{e,f,g}
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1 000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,38)	1 000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1 000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a,h}	1 000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1 000 (4,45)
Pabrik		
Ringan	125 (6,00) ^a 250 (11,97) ^a	2 000 (8,90) 3 000

Berat		(13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban		
Yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2 000 (8,90)
Kantor	50 (2,40)	2 000 (8,90)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	2 000 (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	
Bangsal dansa dan ruang dansa		
Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^a	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	100 (4,79) ^{a,k} 60 (2,87) ^{a,k}	
Rumah tinggal		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ^l	
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	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya	40 (1,92)	

Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Ruang publik ^a dan koridor yang melayani mereka		

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (Kn)
Atap		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) ⁿ	
Atap digunakan untuk taman atap	100 (4,79)	
Atap yang digunakan untuk tujuan lain	Sama seperti Hunian dilayani ^a	i
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya		
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka	5 (0,24) tidak boleh direduksi	200 (0,89)
Kaku ringan		
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan berdasarkan luas tributari dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	2 000 (8,9)
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai		300 (1,33)

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		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 kacadan langit-langit yang dapat dikses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) ^{a,p}	8 000 (35,6) ^q
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 ^r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 ^r
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		
Ringan	125 (6,00) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat lb (Kn)
Toko		
Eceran		1 000 (4,45)
Lantai pertama	100 (4,79)	1 000 (4,45)
Lantai di atasnya	75 (3,59)	1 000
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) ^a	(4,45)
Penghalang kendaraan	Lihat pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

(Sumber : SNI 1727-2013 *Beban Minimum Untuk perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain* :25)

3. Beban Angin

Beban angin adalah beban yang timbul sebagai akibat adanya tekanan-tekanan dari gerakan angin. Beban angin sangat ditentukan oleh lokasi dan ketinggian dari struktur bangunan. Besarnya tekanan tiup yang direncanakan dapat diambil minimum sebesar 25 kg/m², kecuali untuk kondisi berikut :

- a. Tekanan tiup di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40kg/m².
- b. Untuk bangunan di daerah lain yang memungkinkan tekanan tiupnya lebih dari 40 kg/m², harus diambil $\rho = \frac{V^2}{16}$ (kg/m²), dengan V adalah kecepatan angin dalam m/s.
- c. Untuk cerobong, tekanan tiup dalam kg/m² harus ditentukan dengan rumus (42,5 + 0,6h), dengan h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.

4. Beban Air Hujan

Beban air hujan adalah beban yang diakibatkan terkumpulnya air hujan pada atap. (PPPURG 1987)

2.3 Metode Perhitungan

2.3.1 Perancangan Pelat Atap Dak

Pelat atap merupakan pelat yang hampir sama dengan pelat lantai, hanya saja perbedaannya terletak pada ketebalan pelat dan beban-beban yang dipikul oleh pelat. Struktur ini termasuk struktur yang tidak terlindungi sehingga memiliki ketebalan selimut beton yang lebih besar dibandingkan dengan struktur pelat lantai.

Dalam perencanaan pelat atap hampir sama dengan pelat lantai hanya saja perbedaannya pada pembebanan yang dipikul yaitu pada pelat atap beban yang dipikul lebih kecil, sehingga tebal pelat atap lebih kecil/tipis. Beban-beban yang bekerja pada pelat atap, yaitu :

1. Beban Mati (W_D)
 - a. Berat sendiri pelat atap
 - b. Berat mortar
 - c. Beban Penggantung Plafon
2. Beban Hidup (W_L)
Beban hidup diambil $0,96 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2013)
3. Beban Hujan (w_R)
Beban hujan diambil setinggi 10 cm

Maka akan mendapatkan persamaan pembebanan yaitu :

$$W_u = 1,2 W_D + 1,6 W_L + 0,5 W_R$$

2.3.2 Perancangan Pelat Lantai

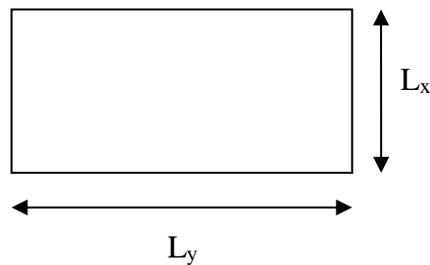
Pelat lantai adalah suatu elemen horizontal utama yang berfungsi untuk menyalurkan beban hidup, baik yang bergerak maupun statis ke elemen pemikul beban vertikal, yaitu balok, kolom maupun dinding. Pelat lantai dapat direncanakan sehingga dapat berfungsi menyalurkan beban dalam satu arah (pelat satu arah, *one-way slab*) atau dapat pula direncanakan untuk menyalurkan beban dalam dua arah (pelat dua arah, *two-way slab*). Tebal pelat umumnya jauh lebih kecil daripada ukuran panjang maupun lebarnya. (Agus Setiawan, 2016:4)

Pada pelat yang ditumpu oleh balok pada keempat sisinya, terbagi dua

berdasarkan geometrinya, yaitu :

1. Pelat Satu Arah (*one-way slab*)

Apabila perbandingan antara sisi panjang dan sisi pendek yang saling tegak lurus lebih besar dari 2, maka pelat dianggap sebagai pelat satu arah, atau suatu pelat satu arah apabila $\frac{l_y}{l_x} \geq 2$, dimana L_y adalah panjang sisi panjang dan L_x adalah panjang sisi pendek seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pelat Satu Arah

Adapun langkah-langkah dalam perencanaan struktur pelat satu arah adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung tebal minimum pelat (h minimum) (SNI 2847:2013)

Tabel 2.3 Tebal Minimum Balok Pra Tekan Atau Pelat Satu Arah
Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar.			
Pelat masif satu-arah	$l/20$	$l/20$	$l/20$	$l/20$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/20$	$l/20$	$l/20$	$l/20$

CATATAN :

Panjang bentang dalam mm.

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 Mpa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut :

- Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09.
- Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan $(0,4 - f_y / 700)$

(Sumber: SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, 2013)

- Menghitung beban mati pelat termasuk beban sendiri pelat dan beban hidup serta menghitung momen rencana (W_u)

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

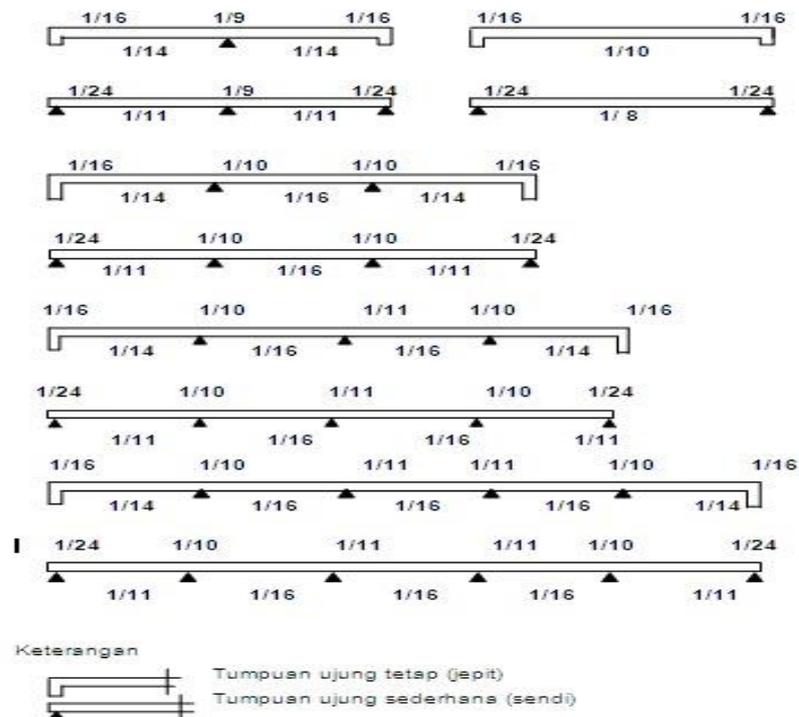
Dengan :

W_D = jumlah beban mati (kg/m)

W_L = jumlah beban hidup (kg/m)

- Menghitung momen rencana (M_u) baik dengan cara tabel atau analisis.

Koefisien momen menurut SNI 03-2847-2002



Gambar 2.2 Koefisien Momen

- Untuk momen lapangan, l_n = panjang bersih dari bentang yang ditinjau.
- Untuk momen tumpuan, l_n = panjang bersih rata-rata dari dua bentang bersebelahan.

d. Perkiraan tinggi efektif (d_{eff})

$$d_{eff} = h - p - \phi_s - \frac{1}{2} D \dots \dots \dots (1 \text{ lapis})$$

$$d_{eff} = h - p - \phi_s - \frac{1}{2} D - \text{jarak tulangan minimum} - \frac{1}{2} D (2 \text{ lapis})$$

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

e. Menghitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2}$$

Dimana :

R_n = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (MPa)

M_u = momen terfaktor pada penampang (N/mm)

b = lebar penampang (mm)

d_{eff} = tinggi efektif pelat (mm)

ϕ = faktor kuat rencana (0,9)

f. Menentukan rasio penulangan (ρ)

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

Dalam penggunaan ρ ada ketentuan yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$\rho_{min} = 0,0018$ berdasarkan SNI 2847:2013, 57.

$$\rho_{max} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} dan A_s yang digunakan A_{smin}
- Jika $\rho > \rho_{max}$, maka ditambahkan balok anak untuk memperkecil momen.

g. Hitung A_s yang diperlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_{eff}$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan yang diperlukan oleh pelat untuk memikul momen lentur yang terjadi (mm^2)

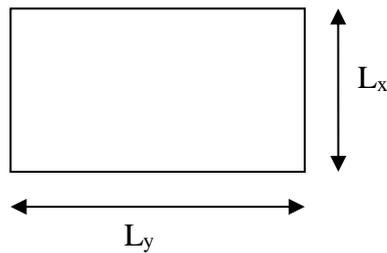
ρ = Rasio penulangan

d_{eff} = Tinggi efektif pelat (mm)

- h. Dengan menggunakan tabel tulangan, pilih tulangan pokok yang akan dipasang.
- i. Untuk tulangan suhu dan susut dihitung berdasarkan peraturan SNI 2847-2013, yaitu :
 1. Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton sebagai berikut, tetapi tidak kurang dari 0,0014:
 - Slab yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350..... 0,0020.
 - Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420..... 0,0018.
 - Slab yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35 persen $0,0018 \times \frac{420}{f_y}$.
 2. Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau tidak lebih jauh dari 450 mm.

2. Pelat Dua Arah (*two-way slab*)

Apabila struktur ditopang di keempat sisinya, dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai system pelat dua arah. Apabila $\frac{L_y}{L_x} \leq 2$ dimana L_y dan L_x adalah panjang dari sisinya.



Gambar 2.3 Pelat Dua Arah

Berikut langkah-langkah dalam perhitungan pelat dua arah :

- a. Menghitung h minimum pelat

Untuk pelat dengan balok yang membentang di antara tumpuan pada semua sisinya tebal minimum harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Untuk $\alpha_{fm} < 2,0$ tebal pelat harus menggunakan tabel sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tebal Minimum Dari Pelat Tanpa Balok Interior

Tegangan leleh, f_y MPa [†]	Tanpa Penebalan [‡]			Dengan Penebalan [‡]		
	Panel Eksterior		Panel Interior	Panel Eksterior		Panel Interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir [§]	
280	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 36$	$l_n / 40$	$l_n / 40$
420	$l_n / 30$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 33$	$l_n / 36$	$l_n / 36$
520	$l_n / 28$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 31$	$l_n / 34$	$l_n / 34$

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

[†] untuk f_y antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.

[‡] panel drop didefinisikan dalam 13.2.5

[§] pelat dengan balok diantara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai α_f untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(Sumber: SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, 2013)

- Untuk $0,2 < \alpha_{fm} < 2,0$

Tebal pelat minimum harus memenuhi

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$$

namun tidak boleh kurang dari 125 mm

- Untuk $\alpha_{fm} > 2,0$

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

namun tidak kurang dari 90 mm.

dengan :

l_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan muka ke muka balok atau tumpuan lain pada kasus lainnya (mm)

β = rasio bentang bersih dalam arah panjang terhadap arah pendek dari pelat dua arah.

α_{fm} = nilai rata-rata α_f untuk semua balok dari tepi-tepi dari suatu pelat

α_f = rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb}I_b$) terhadap kekakuan lentur pelat ($E_{cs}I_s$), yang dibatasi secara lateral oleh garis-garis sumbu tengah dari pelat-pelat yang bersebelahan pada tiap sisi balok.

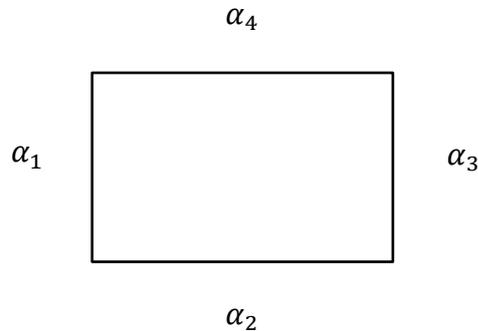
$$\alpha_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s}$$

I_b = momen inersia bruto dari penampang balok terhadap sumbu berat, penampang balok mencakup pula bagian pelat pada setiap sisi balok sebesar proyeksi balok yang berada di atas atau di bawah pelat, namun tidak lebih dari empat kali tebal pelat.

I_s = momen inersia bruto dari penampang pelat.

- Mencari nilai α_m dari masing-masing panel untuk mengecek apakah

pemakaian h coba telah memenuhi persyaratan.



Gambar 2.4 Panel Pelat yang Ditinjau

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \frac{I_{x-x} \text{ balok}}{I_{x-x} \text{ pelat}}$$

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

Untuk $\alpha_m < 2,0$ tebal pelat minimum adalah 125 mm

Untuk $\alpha_m > 2,0$ tebal pelat minimum adalah 90 mm

- c. Cek nilai actual dari hasil nilai α_m yang telah didapat

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_{fm} - 0,2)}$$

nilai h boleh dipakai apabila lebih besar dari actual. Apabila dalam perhitungan nilai h beton lebih kecil, maka nilai tebal pelat yang dicoba direncanakan ulang (diperbesar) dan perhitungannya diulang kembali.

- d. 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. (Agus Seiawan, 2016:257)

$$W_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

- e. Mencari momen

Mencari momen yang bekerja pada arah x dan y, dengan penyaluran “metode amplop”. (Gideon Kusuma, 1996)

Tabel 2.5 Momen Pelat Dua Arah Akibat Beban Terbagi Rata

Skema	Penyaluran beban berdasarkan 'metode amplop' kali w_u lantai l_x	Momen per meter lebar	$\frac{l_y}{l_x}$							
			1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
I		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	41	54	67	79	87	97	110	117
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	41	35	31	28	26	25	24	23
II		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	34	42	49	53	58	62	65
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	25	22	18	15	15	15	14	14
III		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	51	63	72	78	81	82	83	83
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	51	54	55	54	54	53	51	49
IV		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	30	41	52	61	67	72	80	83
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	30	27	23	22	20	19	19	19
V		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	68	84	97	106	113	117	122	124
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	68	74	77	77	77	76	73	71
VI		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	24	36	49	63	74	85	103	113
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	33	33	32	29	27	24	21	20
VII		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	69	85	97	105	110	112	112	112
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	69	85	97	105	110	112	112	112
VIII		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	33	40	47	52	55	58	62	65
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	24	20	18	17	17	17	16	16
IX		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	69	76	80	82	83	83	83	83
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	69	76	80	82	83	83	83	83
X		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	31	45	58	71	81	91	106	115
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	39	37	34	30	27	25	24	23
XI		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	91	102	108	111	113	114	114	114
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	91	102	108	111	113	114	114	114
XII		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	39	47	57	64	70	75	81	84
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	31	25	23	21	20	19	19	19
XIII		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	91	98	107	113	118	120	124	124
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	91	98	107	113	118	120	124	124
XIV		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	25	36	47	57	64	70	79	83
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	28	27	23	20	18	17	16	16
XV		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	54	72	88	100	108	114	121	124
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	60	69	74	76	76	76	73	71
XVI		$m_{lx} = 0,001 w_u l_x^2 x$	28	37	45	50	54	58	62	65
		$m_{ly} = 0,001 w_u l_y^2 x$	25	21	19	18	17	17	16	16
XVII		$m_{lx} = -0,001 w_u l_x^2 x$	60	70	76	80	82	83	83	83
		$m_{ly} = -0,001 w_u l_y^2 x$	54	55	55	54	53	53	51	49

(Sumber : Gideon Kusuma, 1996)

f. Mencari tebal efektif pelat (SK SNI 03-2842013)

Rasio tulangan dalam beton (ρ) dan memperkirakan besarnya diameter tulangan utama dan untuk menentukan tinggi efektif arah x (d_x) adalah

$$D_x = h - p - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan arah } x$$

$$D_x = h - p - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan arah } y - \phi x$$

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

i. Menghitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2}$$

Dimana :

R_n = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (MPa)

M_u = momen terfaktor pada penampang (N/mm)

b = lebar penampang (mm)

d_{eff} = tinggi efektif pelat (mm)

ϕ = faktor kuat rencana (0,9)

j. Menentukan rasio penulangan (ρ)

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

Dalam penggunaan ρ ada ketentuan yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$\rho_{min} = 0,0018$ berdasarkan SNI 2847:2013, 57.

$$\rho_{max} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

- Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} dan A_s yang digunakan A_{smin}

- Jika $\rho > \rho_{max}$, maka ditambahkan balok anak untuk memperkecil momen.

g. Mencari luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d_{eff}$$

Dimana :

A_s = Luas tulangan yang diperlukan oleh pelat untuk memikul momen lentur yang terjadi (mm²)

ρ = Rasio penulangan

d_{eff} = Tinggi efektif pelat (mm)

h. Mencari jumlah tulangan (n)

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

i. Mencari jarak antar tulangan (s)

$$s = \frac{1000 \text{ mm}}{n}$$

j. Memasang tulangan

Untuk arah y sama dengan langkah-langkah pada arah x, hanya perlu diingat bahwa tinggi efektif arah y (d_y) tidak sama dengan yang digunakan dalam arah x $\rightarrow d_y = h - p - \phi_{\text{arah x}} - \phi_{\text{arah y}}$

2.3.3 Perancangan Tangga

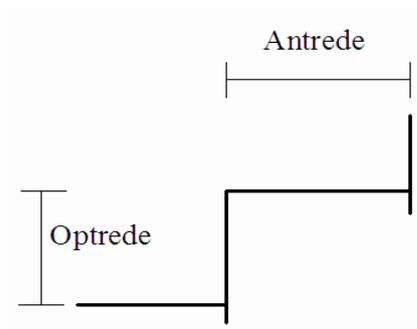
Tangga adalah suatu konstruksi yang menghubungkan antara tempat satu dengan tempat yang lain dengan elevasi yang berbeda. Tangga secara umum terdiri dari anak tangga dan pelat tangga. Anak tangga terdiri dari 2 bagian, yaitu :

1. Antrade

Yaitu bagian anak tangga pada bidang horizontal yang merupakan bidang pijak telapak kaki.

2. Optrade

Yaitu bagian dari anak tangga pada bidang vertikal yang merupakan selisih antara dua anak tangga yang berurutan.



Gambar 2.5 Anak Tangga (Menjelaskan Posisi Optrade dan Antrade)

Syarat-syarat tangga

1. Syarat-syarat umum tangga:
 - a. Tangga harus mudah dilewati atau dinaiki.
 - b. Sudut kemiringan tidak lebih dari 45°
 - c. Ukuran tangga harus sesuai dengan sifat atau fungsinya
 - d. Letak tangga harus cukup strategis
 - e. Tangga harus kuat dan kaku
 - f. Material yang digunakan untuk pembuatan tangga terutama pada gedung-gedung umum harus tahan dan bebas bahaya kebakaran
2. Syarat – syarat khusus tangga
 - a. Untuk bangunan rumah tinggal
 - Antrede = 25 cm (minimum)
 - Optrede = 20 cm (maksimum)
 - Lebar tangga = 80-100 cm
 - b. Untuk perkantoran dan lain-lain
 - Antrede = 25 cm (minimum)
 - Optrede = 17 cm (maksimum)
 - Lebar tangga = 120-200 cm
 - c. Syarat langkah
 - Optrede + 1 Antrede = 57-65 cm
 - d. sudut kemiringan
 - Maksimum = 45°
 - Minimum = 25°

Tabel 2.6 Daftar Ukuran Lebar Tangga Ideal

No	Digunakan Untuk	Lebar efektif (cm)	Lebar total
1	1 Orang	± 65	± 85
2	1 Orang + anak	± 100	± 120
3	1 Orang + bagasi	± 85	± 105
4	2 Orang	120 - 130	140 - 150

5	3 Orang	180 - 190	200 - 210
6	>3 Orang	>190	>210

(Sumber : Konstruksi Bangunan Gedung B : 1993)

Bordes adalah bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak luas dan berfungsi sebagai tempat istirahat bila merasa lelah. Untuk menentukan panjang bordes (L) :

$$L = \ell n + 1,5a \text{ s/d } 2a \text{ (Drs. IK. Supribadi.1993. Ilmu bangunan Gedung : 18)}$$

Dimana :

L = Panjang bordes

ℓn = Ukuran satu langkah normal datar (57-65 cm)

a = Antrede (17,5 -20 cm)

Langkah-langkah perencanaan tangga :

1. Perencanaan tangga

a. Penentuan ukuran antrede dan optrede

$$\text{Tinggi optrede sebenarnya} = \frac{h}{\text{jumlah antrede}}$$

$$\text{Antrede} = \ln - 2 \text{ Optrede}$$

b. Penentuan jumlah antrede dan optrede = $\frac{h}{\text{tinggi optrede}}$

c. Panjang tangga = lebar antrede x jumlah antrede

d. Sudut kemiringan tangga, $\text{Arc tan } \theta = \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{panjang tangga}}$

e. Penentuan tebal pelat tangga, $h_{\text{min}} = \frac{1}{28} l$

2. Penentuan pembebanan pada anak tangga, antara lain :

a. Beban mati

- Berat sendiri bordes

$$\text{Berat sendiri bordes} = \text{tebal pelat bordes} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ meter}$$

- Berat Anak Tangga

Berat satu anak tangga (Q) dalam per m¹

$$Q = \frac{1}{2} \text{ antrede} \times \text{optrede} \times 1 \text{ m} \times \gamma_{\text{beton}} \times \text{jumlah anak tangga/m}$$

- Berat spesi dan ubin

b. Beban hidup

Beban hidup yang bekerja pada tangga yaitu $1,33 \text{ kN/m}^2$ (SNI 1727:2013)

c. Perhitungan tangga untuk mencari gaya-gaya yang bekerja menggunakan program SAP 2000. Adapun langkah – langkah sebagai berikut :

- Membuat permodelan tangga pada SAP 2000 14.
- Memasang tumpuan pada permodelan tangga
- Masukan beban yang bekerja pada anak tangga dan bordes yang telah dikombinasikan antara beban mati dan beban hidup.
- Setelah pembebanan sudah selesai dimasukan pada permodelan maka kita dapat melakukan “*Run Analisis*” namun “*Self-Weight*” dijadikan 0 karena beban sendiri dihitung manual.

d. Perhitungan tulangan tangga

- Perhitungan momen yang bekerja
- Penentuan tulangan yang diperlukan
- Menentukan jarak ruangan
- Kontrol tulangan

2.3.4 Perancangan Portal

Portal adalah suatu system yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang paling berhubungan dan berfungsi menahan beban sebagai satu kesatuan lengkap. Sebelum merencanakan portal terlebih dahulu kita harus mendimensi portal.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pendimensian portal adalah sebagai berikut :

1. Dimensi balok

Tebal minimum balok ditentukan dalam SK SNI 03-2847-2013 adalah untuk balok dengan dua tumpuan sederhana memiliki tebal minimum $l/16$. Untuk balok dengan satu ujung menerus memiliki tebal pelat $l/18,5$, untuk balok dengan kedua ujung menerus memiliki tebal minimum $l/21$, untuk balok kontilever $l/8$.

2. Pendimensian kolom

3. Analisa pembebanan
4. Menentukan gaya-gaya dalam

Dalam menghitung dan menentukan besarnya momen yang bekerja pada suatu struktur bangunan, kita mengenal metode dengan metode cross, takabeya, ataupun metode dengan bantuan computer yaitu dengan menggunakan program SAP 2000 14. Berikut adalah cara menghitung besarnya momen dengan menggunakan :

1. Perencanaan portal dengan menggunakan SAP 2000 14

1. Perencanaan portal akibat beban mati

Langkah-langkah menentukan pembebanan pada portal adalah sebagai berikut:

- Beban pelat
- Beban balok
- Beban penutup lantai dan adukan
- Berat balok, Berat pasangan dinding (jika ada)

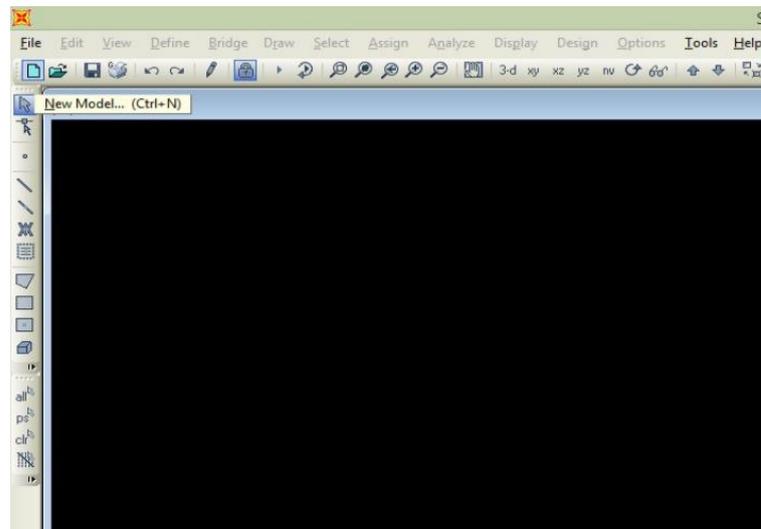
2. Perencanaan portal akibat beban hidup

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

- Menentukan pembebanan pada portal
- Perhitungan akibat beban hidup = Perhitungan akibat beban mati

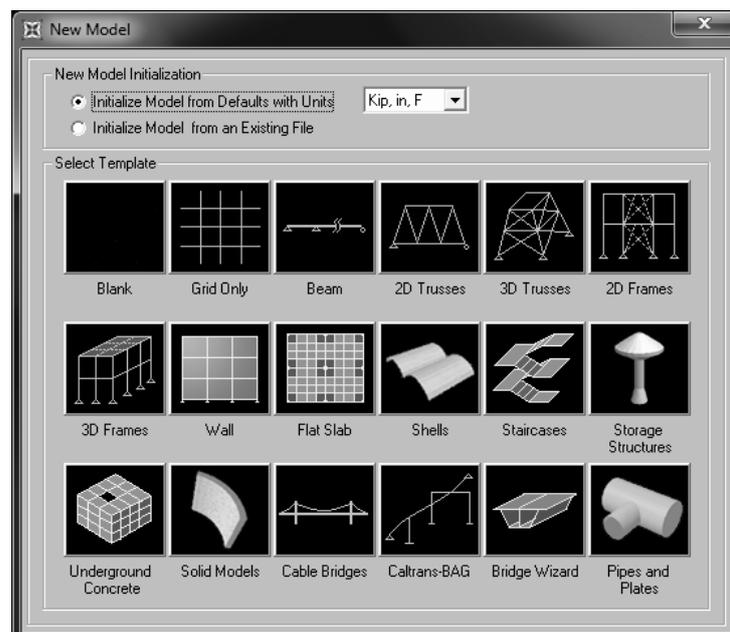
Langkah-langkah perhitungan dengan menggunakan metode SAP 2000 14 yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut :

1. Buat model struktur portal akibat beban mati dan beban hidup
 - a. Klik **New Model** atau CTRL+N



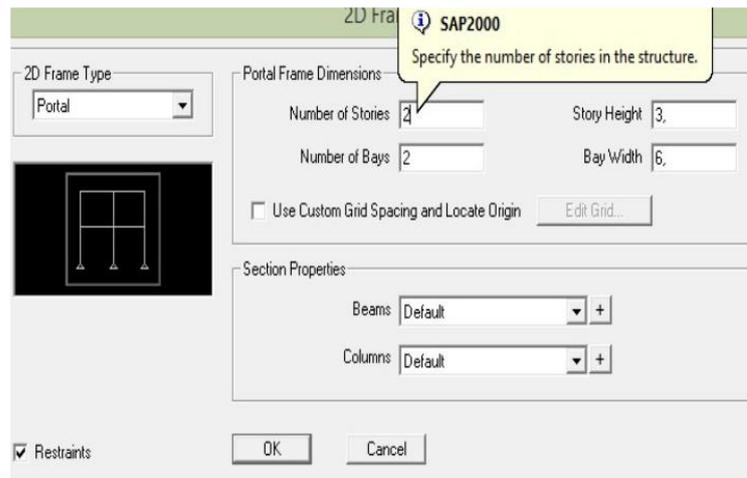
Gambar 2.6 Toolbar New Model

- b. Kemudian akan tampil kotak seperti gambar dibawah ini, tetapkan satuan yang akan dipakai, misal KN, m, C.



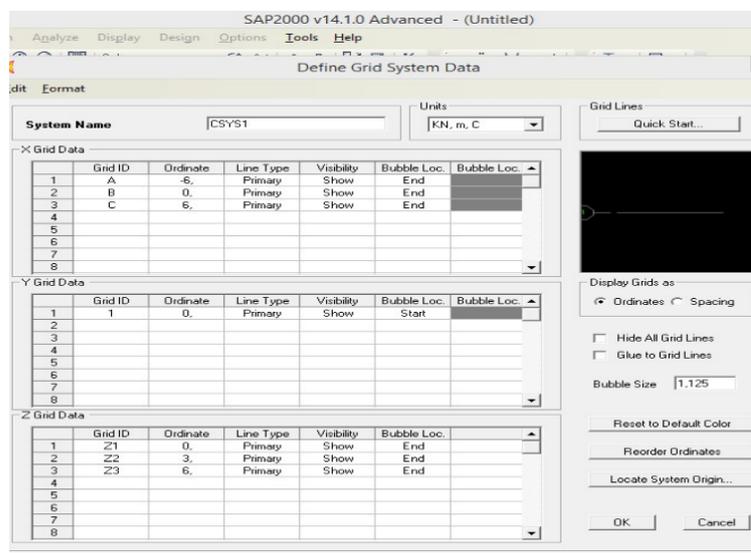
Gambar 2.7 Tampilan New Model

- c. Pilih model template *2D Frames*, akan muncul jendela seperti gambar 2.5. isikan *Number of stories*, *story height*, *Number of bays*, dan *bay width* masukan sesuai data-data perencanaan. Kemudian klik ok.



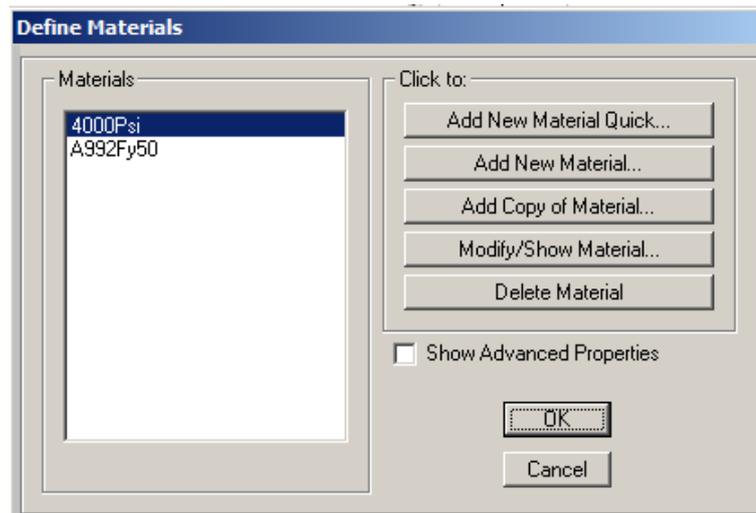
Gambar 2.8 Tampilan 2D Frames

- d. Untuk mengatur kembali jarak-jarak pada portal. Dapat dilakukan dengan cara klik 2x pada *Grid point* yang terdapat pada portal. Maka, akan muncul tampilan *Define Grid System Data* (dapat dilihat pada gambar 2.7) setelah itu dapat dilakukan penyesuaian kembali jarak portal dengan data perencanaan yang ada dan disesuaikan arah x, dan z pada SAP v.14.



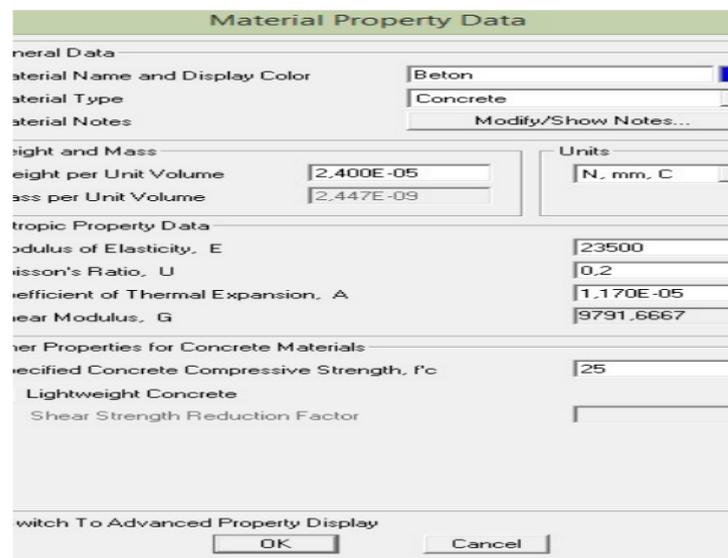
Gambar 2.9 Define Grid System data

2. Menentukan material
 - a. Langkah pertama klik *Define* pada toolbar > klik *materials* maka akan muncul jendela *Define Materials*.



Gambar 2.10 Jendela Define Materials

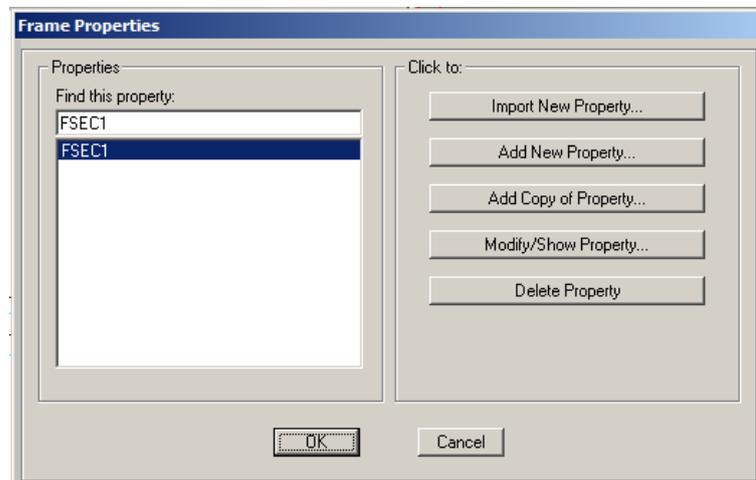
- b. Pilih add new material, maka akan muncul jendela property data. Ganti nilai weight per unit volume dengan 24 (nilai dari berat jenis beton). Ubah nilai modulus of elasticity dengan rumus $4700\sqrt{F_c} \cdot 1000$, serta ubah juga nilai F_c dan F_y sesuai dengan perencanaan dengan masing-masing dikali 1000, klik Ok.



Gambar 2.11 Jendela Material Property Data

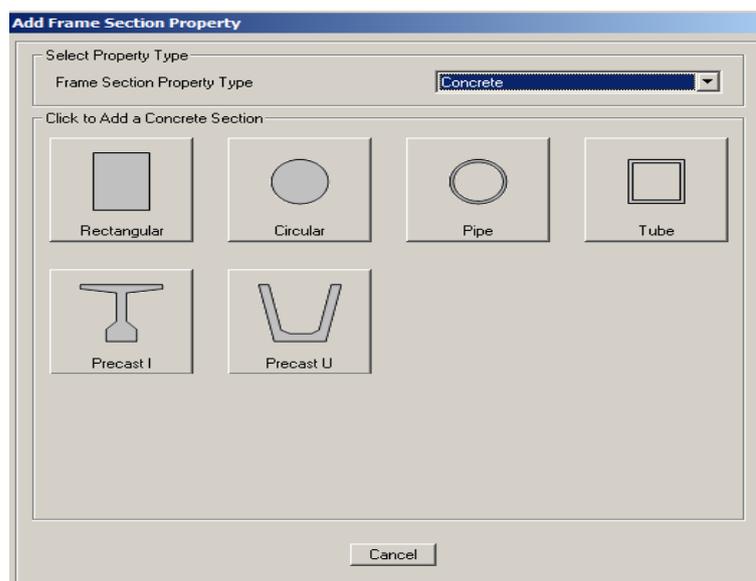
3. Menentukan nilai dimensi kolom dan balok
 - a. Blok frame balok/kolom, lalu pilih menu pada toolbar, *Define > Section*

properties > *Frame section*, setelah memilih menu diatas akan tampil toolbar frame properties seperti pada gambar 2.12



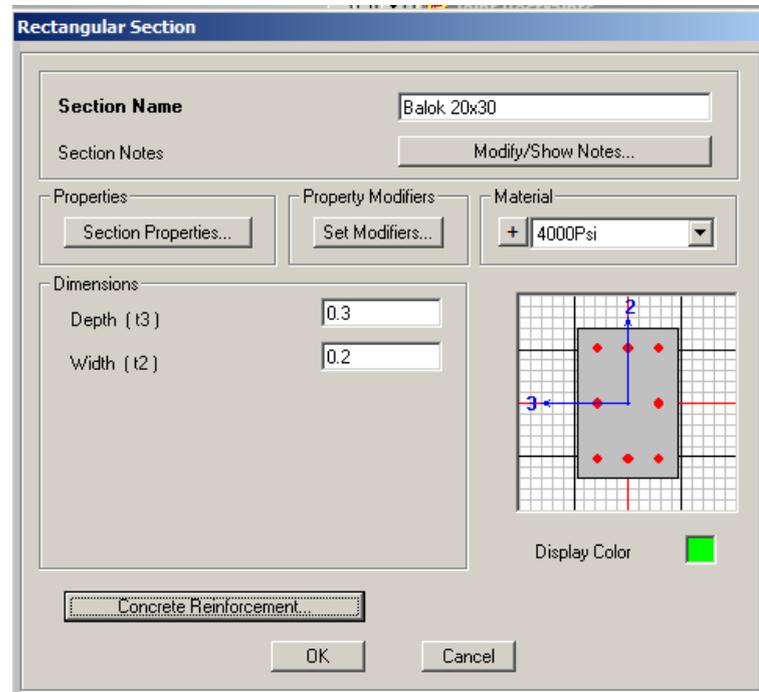
Gambar 2.12 Toolbar Frame Properties

- 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).



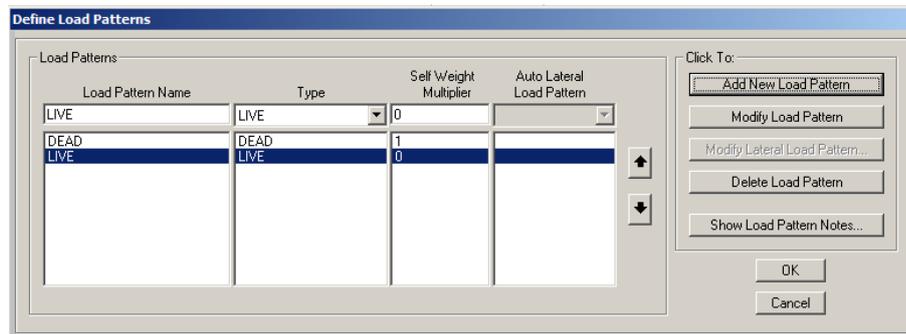
Gambar 2.13 Jendela Add Frame Section Property

Maka akan muncul jendela seperti gambar 2.14



Gambar 2.14 Jendela Rectangular Section

- c. Ganti section name pada nama balok (untuk balok), kolom (untuk kolom). Ganti ukuran tinggi (Depth) dan lebar (Width) balok/kolom sesuai dengan perencanaan. Kemudian klik Concrete Reinforcement, klik Column (untuk kolom), beam (untuk balok) 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.
4. Membuat cases beban mati dan beban hidup
 - a. Pilih menu pada toolbar, *Define – Load pattern* – buat nama pembebanan, tipe pembebanan dan nilai koefisiensinya diisi dengan nilai 0. Lalu klik *add new Load Pattern* seperti yang terlihat pada gambar. Apabila selesai klik OK.

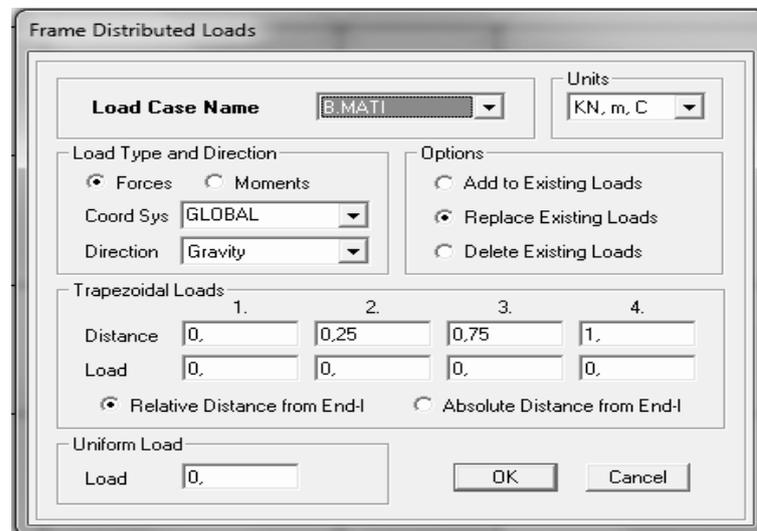


Gambar 2.15 Jendela Define Load Patterns

b. Input nilai beban mati dan beban hidup

- Akibat beban merata

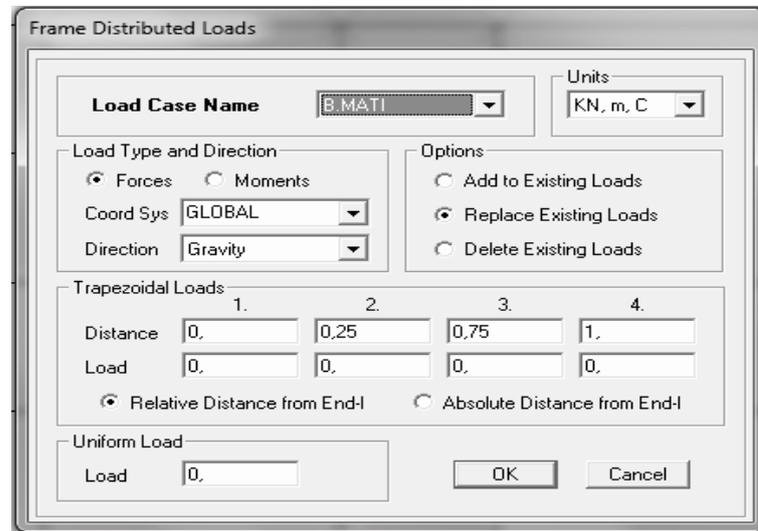
Blok frame yang diinput, lalu pilih menu pada toolbar, *Assign - Frame Loads – Distributed* - pilih beban mati atau beban hidup untuk pembebanan tersebut pada *Load Pattern Name* - klik *Absolute distance from end-1* (agar dapat mengatur jarak yang diinginkan) - atur jarak (distance) di titik satu diisi = 0 dan titik 2 diisi = panjang frame, serta isi nilai bebannya pada 2 titik tersebut atau dapat dilakukan menggunakan uniform load untuk beban merata yang beban sama rata.



Gambar 2.16 Jendela Frame Distributed Loads

- Akibat beban terpusat

Sama halnya seperti menginput data pembebanan merata, hanya saja setelah memilih menu *frame* – selanjutnya yang dipilih adalah *points*. Maka akan tampil jendela seperti berikut.

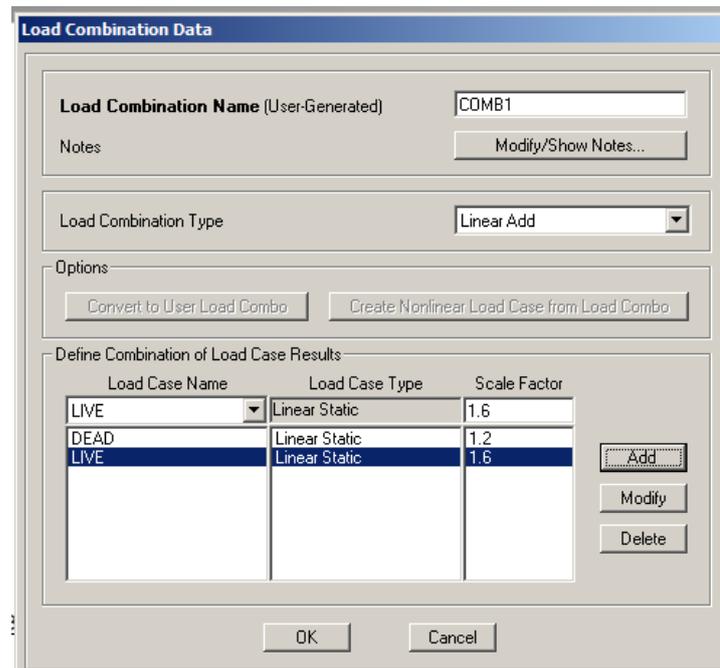


Gambar 2.17 Jendela Frame Point Loads

- Input Load Combination (beban kombinasi), yaitu

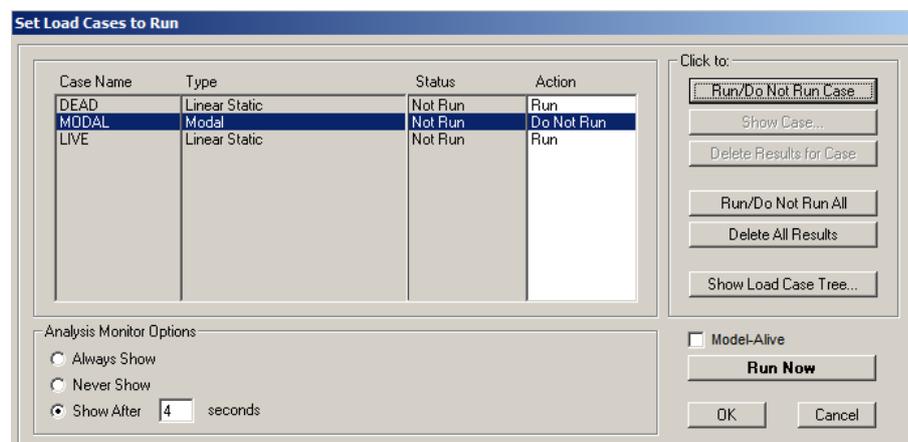
1,2 Beban Mati + 1,6 Beban Hidup

Blok seluruh frame yang akan dikombinasi, kemudian klik pada menu toolbar, *Define – combination – add new combo*, kemudian akan terlihat seperti



Gambar 2.18 Jendela Loads Combination

- Run analisis, seperti terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.19 Run Analisis

2.3.5 Perancangan Balok

Balok adalah elemen horizontal ataupun 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 balok interior dan balok penampang L pada balok-balok tepi. (Agus setiawan, 2016:6)

Beberapa jenis balok beton bertulang berdasarkan perencanaan lentur dan berdasarkan tumpuannya.

1. Berdasarkan perencanaan lentur jenis balok dibedakan sebagai berikut :
 - a. Balok persegi dengan tulangan tunggal

Balok persegi dengan tulangan tunggal merupakan balok yang hanya mempunyai tulangan tarik saja dan dapat mengalami keruntuhan akibat lentur.
 - b. Balok persegi dengan tulangan rangkap

Apabila besar penampang suatu balok dibatasi, mungkin dapat terjadi keadaan dimana kekuatan tekan beton tidak dapat memikul tekanan yang timbul akibat bekerjanya.
 - c. Balok "T"

Balok "T" merupakan balok yang berbentuk huruf T dan bukan berbentuk persegi, sebagian dari pelat akan bekerja sama dengan bagian atas bangunan untuk memikul tekan.
2. Berdasarkan tumpuannya, balok dibagi menjadi 2 antara lain :
 - a. Balok induk

Balok induk adalah balok yang bertumpu pada kolom. Balok ini berguna untuk memperkecil tebal pelat dan mengurangi besarnya lendutan yang terjadi. Balok anak direncanakan berdasarkan gaya maksimum yang bekerja pada balok yang berdimensi sama. Untuk merencanakan balok induk perlu diperhatikan hal-hal berikut :

 1. Menentukan mutu beton yang akan digunakan
 2. Menghitung pembebanan yang terjadi, seperti :
 - Beban mati
 - Beban hidup
 - Beban balok
 3. Menghitung beban ultimate
 - Gaya lintang desain balok maksimum

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

Dimana :

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup terfaktor unit luas

- Momen desain balok maksimum

$$M_u = 1,2 M_D + 1,6 M_L$$

Dimana :

M_u = momen terfaktor pada penampang

M_D = momen akibat beban mati

M_L = momen akibat beban hidup

4. Cek dimensi penampang balok

- Menentukan $d_{eff} = h - \text{tebal selimut beton } (p) - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$

- Menghitung nilai ρ

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad \rightarrow \text{ untuk mutu beton } f'_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_{min} = \sqrt{\frac{f'_c}{4f_y}} \quad \rightarrow \text{ untuk mutu beton } f'_c > 30 \text{ MPa}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Faktor β_1 dapat dihitung sebagai berikut :

- Untuk kuat tekan beton f'_c kurang atau sama dengan 28 Mpa

$$\beta_1 = 0,85$$

- Untuk $28 \text{ Mpa} < f'_c < 56 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f'_c - 28}{7}$$

- Untuk f'_c lebih dari 56 Mpa

$$\beta_1 = 0,65$$

$$Q = \left(\frac{1,7}{\emptyset f'_c} \right) \left(\frac{M_u}{b \cdot d_{eff} f^2} \right)$$

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

Dengan syarat jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks} \longrightarrow$ (OKE)

Jika $\rho < \rho_{min}$, maka penampang terlalu besar sehingga dimensi balok bisa dikurangi. Sedangkan jika $\rho > \rho_{maks}$, maka penampang terlalu kecil sehingga dimensi balok harus dibesarkan.

5. Penulangan lentur lapangan dan tumpuan

- Penulangan lentur lapangan dan tumpuan

- Tentukan $d_{eff} = h - \text{tebal selimut beton } (p) - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$

- Menghitung nilai ρ

$$Q = \left(\frac{1,7}{\emptyset f'_c} \right) \left(\frac{M_u}{b \cdot d_{eff} f^2} \right)$$

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

Bila $\rho < \rho_{min} \longrightarrow$ pakai ρ_{min}

- Menghitung A_s yang diperlukan

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

A_s = Luas tulangan yang di perlukan oleh balok untuk memikul momen lentur yang terjadi (mm^2)

ρ = rasio penulangan

d = tinggi efektif pelat (mm)

- Menentukan diameter tulangan yang dipakai dengan syarat A_s terpasang $\geq A_s$ direncanakan

- Prosedur pemeriksaan kecukupan penampang dapat dilakukan dengan urutan-urutan sebagai berikut :

1. Hitung besarnya momen terfaktor, M_u .

2. Hitung $\emptyset M_n$, dengan urutan :

- Periksa apakah $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$
- Hitung $a = A_s f_y / (0,85 f'_c b)$, dan periksa nilai ε_t dan \emptyset
- Hitung $\emptyset M_n = \emptyset A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$.

3. Jika $\emptyset M_n \geq M_u$, maka penampang dikatakan mencukupi

(Agus Setiawan, 2016:42)

6. Tulangan geser rencana

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$. Tulangan geser minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} \phi V_c$ 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. Namun apabila $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$ tidak diperlukan tulangan geser. (Agus Setiawan hal. 103)

Adapun prosedur dalam melakukan desain balok terhadap gaya geser adalah sebagai berikut :

a. Hitung gaya geser ultimit, V_u , dari beban terfaktor yang bekerja pada struktur. Nilai V_u yang diambil sebagai dasar desain adalah V_u pada lokasi penampang kritis, yaitu sejarak d dari muka tumpuan. Pada perhitungan ini nilai V_u dihasilkan dengan menggunakan metode SAP 2000 14.

b. Hitung nilai ϕV_c dari persamaan :

$$\phi V_c = \phi (0,17\lambda\sqrt{f'c'})b_wd$$

(SNI 2847 – 2013 hal.89 pasal 11.2.1 butir 1)

Dengan $\phi = 0,75$

c. Periksa nilai V_u

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

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

Dapat dipasang tulangan sengkang vertikal berdiameter 10 mm dengan jarak maksimum ditentukan dengan langkah g.

3) Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan sesuai langkah d hingga h

d. Jika $V_u > \phi V_c$, hitung gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s \quad \text{atau} \quad V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

e. Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} berikut ini :

$$V_{c1} = 0,33\sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d \quad V_{c2} = 0,66\sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$$

Apabila V_s lebih kecil dari pada V_{c2} , maka proses desain dapat dilanjutkan ke langkah berikutnya, namun apabila V_s lebih besar dari pada V_{c2} maka ukuran penampang harus diperbesar.

f. Hitung jarak tulangan sengkang berdasarkan persamaan :

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

g. Tentukan jarak maksimum tulangan sengkang sesuai dengan persyaratan dalam SNI 2847:2013. Jarak maksimum tersebut diambil dari nilai terkecil antara s_2 dan s_3 berikut ini :

- $s_2 = d/2 \leq 600$ mm, jika $V_s \leq V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$
 $s_2 = d/4 \leq 300$ mm, jika $V_{c1} < V_s \leq V_{c2} (=0,66 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d)$
- $s_3 = A_v \cdot f_y / 0,35 b_w \geq A_v \cdot f_y / (0,062 \sqrt{f'c'} \cdot b_w)$
 s_{maks} dipilih dari nilai terkecil antara s_2 dan s_3 .

h. Apabila nilai s_1 yang dihitung dalam langkah 6 lebih kecil dari s_{maks} (nilai terkecil antara s_2 dan s_3), maka gunakan jarak sengkang vertikal = s_1 , dan jika $s_1 > s_{maks}$ maka gunakan s_{maks} sebagai jarak antar tulangan sengkang.

i. Peraturan tidak mensyaratkan jarak minimum tulangan sengkang. Namun dalam kondisi normal, sebagai tujuan praktis dapat digunakan $s_{min} = 75$ mm untuk $d \leq 500$ mm, dan $s_{min} = 100$ mm untuk $d > 500$ mm. Jika nilai s yang diperoleh cukup kecil, maka dapat ditempuh jalan dengan memperbesar diameter tulangan sengkang atau menggunakan sengkang dengan kaki lebih dari dua.

Keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = Gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang beton

V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

- A_v = Luas penampang tulangan geser total pada daerah sejarak s, 2 As dimana As = luas penampang batang tulangan sengkang
 d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
 f_y = mutu baja

b. Balok Anak

Balok anak adalah balok yang bertumpu pada balok induk atau tidak langsung bertumpu ke kolom. Balok ini berguna untuk memperkecil tebal pelat dan mengurangi besarnya lendutan terjadi. Untuk merencanakan balok anak bertulang sama dengan perhitungan balok induk.

2.3.6 Perancangan Kolom

Kolom merupakan elemen penting yang memikul beban dari balok dan pelat. Kolom dapat memikul beban aksial saja, namun lebih sering kolom direncanakan sebagai pemikul beban kombinasi aksial dan lentur. Selain beban gravitasi, kolom juga dapat direncanakan sebagai pemikul beban lateral yang berasal dari beban gempa atau beban angin. (Agus setiawan, 2016:6)

Berikut adalah langkah-langkah dalam perancangan kolom :

1. Hitung beban terfaktor yang bekerja dengan menggunakan kombinasi pembebanan. Dari kombinasi tersebut, dipilih nilai maksimum P_u dan M_u dari hasil perhitungan SAP di portal.
2. Hitung besar eksentrisitas yang terjadi

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

Periksa terhadap syarat eksentrisitas minimum :

$$e_{min} = 15 + 0,03.h$$

Keterangan :

e = Eksentrisitas

M_u = momen terfaktor pada penampang

P_u = beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan

3. Desain awal penampang kolom dengan dimensi _ mm x _ mm dengan nilai $\lambda = 0,7$, hitung nilai K_n dan R_n sebagai berikut :

$$K_n = \frac{P_n}{f'c' A_g} = \frac{P_n}{\phi f'c' A_g}$$

$$R_n = \frac{P_n \cdot e}{f'c' \cdot A_g \cdot h} = K_n \cdot \frac{e}{h}$$

Maka diambil dari grafik Interaction Diagram nilai ρ_g

4. Periksa kelangsingan penampang

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ Mpa}$$

$$f'_c = \text{kuat tekan beton}$$

$$I = 0,70 \cdot I_g$$

5. Faktor tahanan ujung (Ψ), dapat dihitung

$$\Psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l_k} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l_k} \right)_{balok}}$$

Keterangan :

EI = Nilai kekakuan

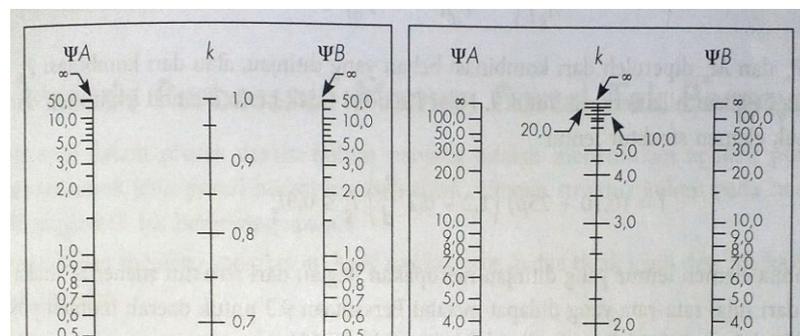
l_k = panjang kolom

l_b = panjang balok

(Agus setiawan, 2016:199)

6. Menentukan faktor panjang efektif kolom (k)

Nilai k didapat dari nomogram faktor panjang efektif kolom (portal bergoyang)



Gambar 2.20 Faktor Panjang Efektif Kolom (K)

7. Kelangsingan kolom

Kelangsingan kolom dengan ketentuan :

- Elemen struktur tekan bergoyang, apabila :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 22$$

- Elemen struktur tekan tak bergoyang, apabila :

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

(Agus setiawan, 2016:201)

Keterangan :

k = factor panjang efektif komponen struktur beton

Lu = panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang

r = jari – jari girasi penampang (0,3h untuk penampang persegi atau 0,25d untuk penampang lingkaran)

dimana M_1 dan M_2 adalah momen ujung terfaktor pada kolom, dengan $M_2 > M_1$. Rasio M_1/M_2 bernilai positif apabila terjadi kelengkungan tunggal, dan bernilai negatif apabila terjadi kelengkungan ganda (Agus setiawan, 2016:201).

Apabila $\frac{kl_u}{r} > 22$ atau $\frac{kl_u}{r} > 34 - 12 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$, maka perencanaan harus menggunakan metode pembesaran momen.

8. Pembesaran momen

a. Perbesaran momen portal tak bergoyang

Kekuatan kolom :

$$EI = \frac{0,2E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}} \quad \text{atau} \quad EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

Keterangan :

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$$

$$E_s = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$I_g = \left(\frac{bh^3}{12} \right) \text{ momen inersia bruto penampang terhadap sumbu yang ditinjau}$$

$$I_{se} = \text{momen inersia tulangan baja}$$

$$\beta_{dns} = \frac{\text{beban tetap aksial terfaktor maksimum}}{\text{beban aksial terfaktor maksimum}} = \frac{1,2 D}{1,2 D + 1,6 L}$$

Beban tekuk Euler :

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

Faktor perbesaran momen (δ_{ns}) :

$$C_m = 0,6 + \frac{0,4M_1}{M_2} \geq 0,4$$

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 P_c}} \geq 1,0$$

Lakukan desain kolom dengan beban aksial terfaktor P_u , serta momen M_c yang besarnya :

$$M_c = \delta_{ns} M_2$$

M_2 adalah momen ujung terfaktor yang terbesar

Nilai momen ujung terfaktor maksimum :

$$M_{2min} \geq P_u (15 + 0,03h)$$

Angka 15 dan h dinyatakan dalam mm

(Agus setiawan, 2016:202)

b. Perbesaran momen portal bergoyang

Faktor perbesaran momen : $\delta_s = \frac{1}{1-Q} \geq 1,0$

Bila δ_s yang dihasilkan besarnya melebihi 1,5, maka menggunakan

perhitungan : $\delta_s = \frac{1}{\frac{1-\sum P_u}{0,75 \sum P_c}} \geq 1,0$

Menghitung momen ujung yang telah diperbesar :

$$M_1 = M_{1ns} + \delta_s M_{1s}$$

$$M_2 = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

Apabila $M_2 > M_1$ yang dihasilkan dari analisa struktur, maka momen yang digunakan untuk desain kolom adalah :

$$M_c = M_{2ns} + \delta_s M_{2s}$$

(Agus setiawan, 2016:205)

9. Desain penulangan

menghitung tulangan kolom taksir dengan jumlah tulangan 2% luas kolom

$$\rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d} \longrightarrow A_s = A_s'$$

10. Menentukan tulangan yang dipakai

$$\rho = \rho' = \frac{A_s \text{ pakai}}{b \cdot d}$$

11. Memeriksa P_u terhadap beban seimbang

$$d = h - d'$$

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

Faktor β_1 dapat dihitung sebagai berikut :

- Untuk kuat tekan beton f_c' kurang atau sama dengan 28 Mpa

$$\beta_1 = 0,85$$

- Untuk $28 \text{ Mpa} < f_c' < 56 \text{ Mpa}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \frac{f_c' - 28}{7}$$

- Untuk f_c' lebih dari 56 Mpa

$$\beta_1 = 0,65$$

$$a_b = \beta \cdot C_b$$

$$\varepsilon'_s = \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$f'_s = f_y$$

$$\phi P_n = \phi \cdot (0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot b + A'_s \cdot f'_c - A_s \cdot f_y)$$

$$\phi P_n = P_u \longrightarrow \text{beton belum hancur pada daerah tarik}$$

$$\phi P_n < P_u \longrightarrow \text{beton hancur pada daerah tarik}$$

12. Memeriksa kekuatan penampang

a. Akibat keruntuhan tarik

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \left[\left(\frac{h}{2} - e \right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - 2 \right)^2 + \frac{2 A_s \cdot f_y \cdot (d - d')}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \right]$$

b. Akibat keruntuhan tekan

$$P_n = \frac{A_s \cdot f_y \cdot (d - d')}{\left(\frac{e}{d - d'} \right) + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f'_c}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} \right) + 1,18}$$

2.3.7 Perancangan Sloof

Sloof merupakan salah satu struktur bawah suatu bangunan yang menghubungkan pondasi dan berfungsi sebagai penerima beban dinding di atasnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada perencanaan dan perhitungan sloof:

1. Penentuan dimensi sloof
2. Penentuan pembebanan pada sloof

- Berat sendiri sloof
- Berat dinding dan plesteran

Kemudian semua beban dijumlahkan untuk mendapatkan beban total.

3. Perhitungan momen (menggunakan program SAP 2000 V14)
4. Menghitung momen rencana

$$M_u = 1,4 \times M$$

Nilai M didapat dari momen akibat beban mati di perhitungan SAP sloof.

5. Penulangan lentur lapangan dan tumpuan

- Penulangan lentur lapangan dan tumpuan
 - Tentukan $d_{\text{eff}} = h - p - \phi$ sengkang - $\frac{1}{2} \phi$ tulangan

- Menghitung nilai ρ

$$Q = \left(\frac{1,7}{\phi f_c'}\right) \left(\frac{M_u}{b \cdot d \cdot e f f^2}\right)$$

$$\rho = \frac{f_c'}{f_y} \left[0,85 - \sqrt{(0,85)^2 - Q}\right]$$

M_u = momen terfaktor pada penampang (KNm)

b = lebar penampang (mm) diambil 1 m

d = tinggi efektif pelat (mm)

ϕ = faktor reduksi rencana (SNI-03-2847-2013:66)

Dalam penggunaan ρ ada ketentuan yaitu $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ → (OKE)

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

$$\rho_{max} = 0,75 \times \left(\frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}\right)$$

- Menghitung A_s yang diperlukan

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

A_s = Luas tulangan yang di perlukan oleh balok untuk memikul momen lentur yang terjadi (mm^2)

ρ = rasio penulangan

d = tinggi efektif pelat (mm)

- Menentukan diameter tulangan yang dipakai dengan syarat A_s terpasang $\geq A_s$ direncanakan

6. Tulangan geser rencana

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$. Tulangan geser minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} \phi V_c$ 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. Namun apabila $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$ tidak diperlukan tulangan geser. (Agus Setiawan hal. 103)

Adapun prosedur dalam melakukan desain balok terhadap gaya geser adalah

sebagai berikut :

a. Hitung gaya geser ultimit, V_u , dari beban terfaktor yang bekerja pada struktur. Nilai V_u yang diambil sebagai dasar desain adalah V_u pada lokasi penampang kritis, yaitu sejarak d dari muka tumpuan. Pada perhitungan ini nilai V_u dihasilkan dengan menggunakan metode SAP 2000 14.

b. Hitung nilai ϕV_c dari persamaan :

$$\phi V_c = \phi (0,17\lambda\sqrt{f'c'})b_w d$$

(SNI 2847 – 2013 hal.89 pasal 11.2.1 butir 1)

Dengan $\phi = 0,75$

c. Periksa nilai V_u

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

2) Jika $\frac{1}{2}\phi V_u < V_u \leq \phi V_c$, dibutuhkan tulangan geser minimum. Dapat dipasang tulangan sengkang vertikal berdiameter 10 mm dengan jarak maksimum ditentukan dengan langkah g.

3) Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan sesuai langkah d hingga h

d. Jika $V_u > \phi V_c$, hitung gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s \quad \text{atau} \quad V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

e. Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} berikut ini :

$$V_{c1} = 0,33\sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{c2} = 0,66\sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$$

Apabila V_s lebih kecil dari pada V_{c2} , maka proses desain dapat dilanjutkan ke langkah berikutnya, namun apabila V_s lebih besar dari pada V_{c2} maka ukuran penampang harus diperbesar.

f. Hitung jarak tulangan sengkang berdasarkan persamaan :

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

g. Tentukan jarak maksimum tulangan sengkang sesuai dengan persyaratan dalam SNI 2847:2013. Jarak maksimum tersebut diambil dari nilai terkecil

antara s_2 dan s_3 berikut ini :

- $s_2 = d/2 \leq 600$ mm, jika $V_s \leq V_{c1} = 0,33 \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d$
 $s_2 = d/4 \leq 300$ mm, jika $V_{c1} < V_s \leq V_{c2} (=0,66 \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b_w \cdot d)$
- $s_3 = A_v \cdot f_y / 0,35 b_w \geq A_v \cdot f_y / (0,062 \sqrt{f'c'} \cdot b_w)$
 s_{maks} dipilih dari nilai terkecil antara s_2 dan s_3 .

- h. Apabila nilai s_1 yang dihitung dalam langkah 6 lebih kecil dari s_{maks} (nilai terkecil antara s_2 dan s_3), maka gunakan jarak sengkang vertikal = s_1 , dan jika $s_1 > s_{maks}$ maka gunakan s_{maks} sebagai jarak antar tulangan sengkang.
- i. Peraturan tidak mensyaratkan jarak minimum tulangan sengkang. Namun dalam kondisi normal, sebagai tujuan praktis dapat digunakan $s_{min} = 75$ mm untuk $d \leq 500$ mm, dan $s_{min} = 100$ mm untuk $d > 500$ mm. Jika nilai s yang diperoleh cukup kecil, maka dapat ditempuh jalan dengan memperbesar diameter tulangan sengkang atau menggunakan sengkang dengan kaki lebih dari dua.

Keterangan :

- V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton
- V_u = Gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang beton
- V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser
- A_v = Luas penampang tulangan geser total pada daerah sejarak s , 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 adalah elemen pemikul beban dari kolom yang kemudian menyalurkannya ke lapisan tanah keras. Pondasi beton bertulang dapat berupa pondasi pelat setempat atau pondasi jalur. Pada bangunan yang berada pada lapisan tanah dengan daya dukung jelek, terkadang digunakan pula system pondasi rakit (*raft foundation*) beton bertulang. (Setiawan, 2016:5)

Berikut langkah-langkah dalam perancangan pondasi tiang pancang :

1. Menghitung pembebanan

- Beban mati (W_D)
- Beban hidup (W_L)
- Beban lateral akibat tekanan tanah (*earth pressure*)
- Beban akibat tekanan air (*hydrostatic pressure*)

2. Menghitung daya dukung tiang

- Kekuatan bahan tiang pancang

$$Q_{\text{tiang}} = 0,33 \times f_c' \times A_{\text{tiang}}$$

- Kekuatan tanah

Berdasarkan pengujian SPT (*Standard Penetration Test*). (Meyerhof, 1956)

$$\begin{aligned} Q_{\text{ult}} &= Q_b + Q_s \\ &= 40 \cdot N \cdot A_b + \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{Q_{\text{ult}}}{F}$$

Dimana :

Q_{ijin} = daya dukung ijin tiang (ton)

N = nilai SPT pada ujung tiang

\bar{N} = rata-rata nilai SPT sepanjang tiang

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2)

A_s = luas kulit/selimut tiang (m^2)

F = faktor keamanan daya dukung ($F = 3$)

3. Menentukan jumlah tiang pancang

$$Q = (P \times 10\%) + P + \text{Berat poer}$$

$$n = \frac{Q}{Q_{\text{ijin}}}$$

Dimana :

Q = daya dukung tiang (ton)

n = jumlah tiang

P = beban yang bekerja pada tiang

4. Menentukan jarak antar tiang

Berdasarkan pada perhitungan daya dukung tanah oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, disyaratkan :

$$s = (2,5 - 3) B$$

$$s \text{ minimum} = 0,60 \text{ m}$$

$$s \text{ maksimum} = 2,0 \text{ m}$$

Dimana,

s = jarak masing-masing tiang dalam kelompok (m)

B = diameter tiang (m)

5. Efisiensi kelompok tiang pancang

$$Eg = 1 - \frac{\theta}{90^\circ} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right]$$

$$\theta = \arctan \frac{d}{s}$$

Dimana :

Eg = efisiensi kelompok tiang

B = diameter tiang

s = jarak antar tiang

m = jumlah baris tiang dalam kelompok tiang

n = jumlah kolom tiang dalam kelompok tiang

6. Daya dukung pondasi kelompok tiang

$$Q_{ult \text{ group}} = Q_{ult} \times n \times Eg \longrightarrow Q_{ult \text{ group}} > Q \text{ (AMAN)}$$

Dimana :

$Q_{ult \text{ group}}$ = daya dukung kelompok tiang (ton)

Q_{ult} = daya dukung batas pondasi satu tiang (ton)

n = jumlah/banyaknya pondasi tiang (buah)

Eg = efisiensi kelompok pondasi tiang (%)

7. Cek beban yang bekerja pada masing-masing tiang

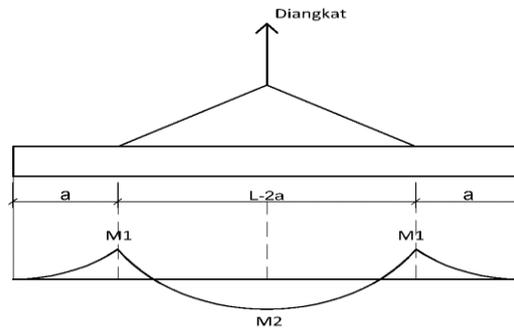
$$\sum(x)^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots$$

$$\sum(y)^2 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots$$

$$Q_s = \frac{Q}{n} \pm \frac{M_x y_1}{\sum y^2} \pm \frac{M_y x_1}{\sum x^2}$$

8. Pengecekan pengangkatan tiang pancang

- Pengangkatan pola 1 (pada waktu pengangkatan)

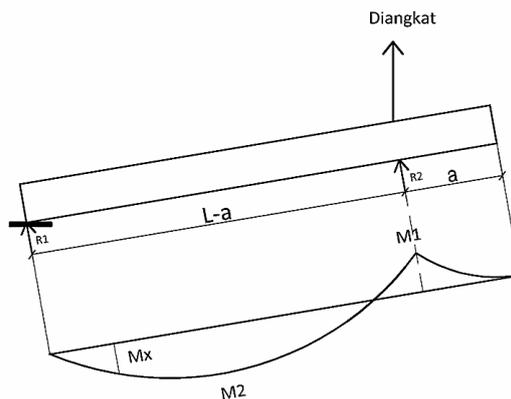


Gambar 2.21 Pengangkatan Pola 1

$$M_1 = M_2$$

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

- Pengangkatan pola 2 (pada waktu mendirikan)



Gambar 2.22 Pengangkatan Pola 2

$$M_1 = M_2$$

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

9. Penulangan tiang pancang

- Menentukan nilai deff

$$D_{\text{eff}} = h - p - \text{Øsenggang} - \frac{1}{2} \text{Ø tulangan}$$

- Berdasarkan nilai P yang paling besar

- Hitung arah absis x dan absis y

$$\text{Absis } x = \frac{Pu}{\text{Ø } Ag \cdot 0,85 f_c'} \cdot \left(\frac{e}{h} \right)$$

$$\text{Absis } y = \frac{Pu}{\phi Ag 0,85 f_c'}$$

Nilai ρ_g didapat pada grafik gideon

$\rho_g = 0,001 < \rho_{\min} = 0,01$, maka dipakai ρ_{\min}

$\rho = \rho_{\min} \cdot \beta$

sehingga $A_{Stot} = \rho \cdot b \cdot h$

b. Berdasarkan nilai momen saat pengangkatan

- Menentukan nilai d_{eff}

$$D_{eff} = h - p - \phi_{sengkang} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

- Menghitung R_n

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2}$$

Dimana :

R_n = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (MPa)

M_u = momen terfaktor pada penampang (N/mm)

b = lebar penampang (mm)

d_{eff} = tinggi efektif pelat (mm)

ϕ = faktor kuat rencana (0,9)

- Menentukan rasio penulangan (ρ)

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

- Menentukan luas tulangan

$$A_{s \text{ total}} = \rho \cdot b \cdot h$$

b. Perhitungan tulangan sengkang tiang pancang

- Menghitung nilai V_u

$$V_u = R_1 = \frac{q(L-a)}{2} - \frac{qa^2}{2(L-a)}$$

- $\phi V_c = \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$

Tulangan geser diperlukan apabila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$. Tulangan geser

minimum dipakai apabila nilai V_u melebihi $\frac{1}{2} \phi V_c$ 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. (Agus Setiawan hal :103)

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

$$V_u < \phi V_n$$

Dimana $V_n = V_c + V_s$

Sehingga :

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

Dengan besar faktor reduksi ϕ untuk geser adalah sebesar 0,75 (Agus Setiawan hal :99)

- Luas minimum tulangan geser

$$A_{v_{\min}} = 0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{b_w S}{f_{yt}} \right) \geq \frac{0,35 \cdot b_w S}{f_{yt}}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.6.1)

- Jarak maksimum tulangan geser

Jika $V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \rightarrow$ maka $S = d/2$ atau 600 mm

Jika $V_s \leq 0,66 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \rightarrow$ maka $S = d/4$ atau 300 mm

Dengan batasan kebutuhan luas minimum luas tulangan geser :

$$S_{\max} = \frac{A_v \cdot f_{yt}}{0,062 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w}, \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ Mpa}$$

$$S_{\max} = \frac{A_v \cdot f_{yt}}{0,35 \cdot b_w}, \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa}$$

Sehingga, untuk sengkang vertikal dapat dihitung menggunakan rumus :

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

Keterangan :

V_c = Kuat geser nominal yang disumbangkan beton

- V_u = Gaya geser terfaktor yang bekerja pada penampang beton
 V_n = Kuat geser nominal
 V_s = Kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser
 A_v = Luas penampang tulangan geser total pada daerah sejarak s ,
 $2 A_s$ dimana A_s = luas penampang batang tulangan sengkang
 d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik
 f_y = mutu baja

12. Perhitungan penulangan pile cap

- Hitung beban terfaktor yang dipikul oleh kolom
- Periksa terhadap geser dua arah

a. Geser dua arah disekitar kolom

$$b_o = 4 (c+d)$$

nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai terkecil antara :

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \cdot \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \cdot \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\text{Maka } \phi V_n = 0,75 V_n$$

b. Geser dua arah disekitar tiang pancang

$$b_o = 4 (b + c/2 + d/2)$$

nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai terkecil antara :

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \cdot \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \cdot \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\text{Maka } \phi V_n = 0,75 V_n$$

- c. geser satu arah tidak terlalu menentukan keruntuhan geser, karena tiang pancang berada dalam daerah kritis peninjauan terhadap geser satu arah

yang terletak sejarak d dari muka kolom.

- d. Desain terhadap lentur, nilai momn lentur digunakan untuk mendesain penulangan pile cap diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom.

- Menghitung nilai $\rho_{perlu} = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f_c' b d^2}} \right]$

- $A_s \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d$

- $A_s \text{ perlu} = \rho_{min} \cdot b \cdot d$

Tulangan yang dipakai menggunakan nilai A_s terbesar

13. Perhitungan tulangan pokok pasak

- 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 : $A_s \text{ min} = 0,005 A_g$

- Kontrol panjang penyaluran pasak

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

2.4 Pengelolaan Proyek

Manajemen proyek konstruksi adalah suatu proses penerapan fungsi-fungsi manajemen (perencanaan, pelaksanaan, dan penerapan) secara sistematis pada suatu proyek dengan menggunakan sumber daya yang ada secara efektif dan efisien agar tercapai tujuan proyek secara optimal.

Dokumen Tender merupakan suatu dokumen lelang berupa gambar rencana dari bangunan secara lengkap, spesifikasi dan bill of quantity (BOQ) yang digunakan oleh calon peserta lelang sebagai dasar perhitungan harga penawaran. Dokumen ini diberikan kepada calon peserta lelang beberapa hari sebelumnya dengan cara mengganti biaya pengandaan. (Wulfram I, 2005:83)

Pengelolaan proyek dibagi menjadi tiga bagian pekerjaan. Tiga bagian pekerjaan tersebut adalah Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS), Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan Rencana Pelaksanaan yang terbagi atas Network Planning, Barchart, dan Kurva S.

2.4.1 Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS)

Yang dimaksud dengan Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) adalah 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 pelaksanaan yang akan dilakukan nantinya. Adapapun semua hal yang terdapat didalam sebuah RKS adalah sebagai berikut :

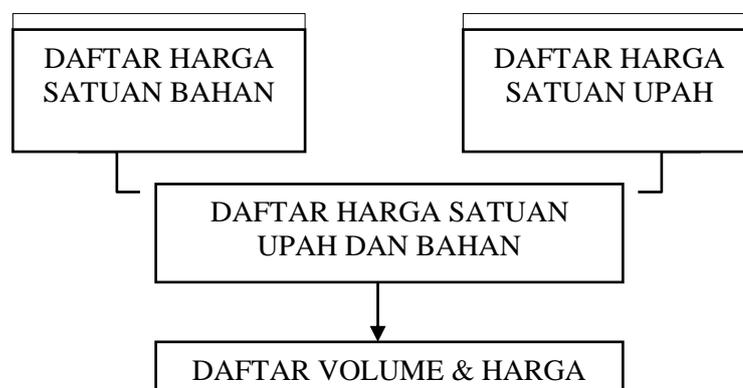
1. Syarat Umum :
 - a. Keterangan tentang pemberi tugas
 - b. Keterangan mengenai perencanaan
 - c. Syarat-syarat peserta lelang
 - d. Bentuk surat penawaran
2. Syarat Administrasi
 - a. Jangka waktu pelaksanaan pekerjaan
 - b. Tanggal penyerahan pekerjaan/barang
 - c. Syarat-syarat pembayaran
 - d. Denda atas keterlambatan
 - e. Besarnya jaminan pelaksanaan
3. Syarat Teknis
 - a. Jenis dan uraian pekerjaan yang harus dilaksanakan
 - b. Jenis dan mutu bahan, antara lain bahwa semaksimal mungkin harus menggunakan hasil produksi dalam negeri dengan memperlihatkan potensi nasional
 - c. Gambar detail, gambar konstruksi, dan segala sesuatu yang menjadi pelengkap untuk menunjang semua kegiatan proyek.

2.4.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan besarnya biaya yang dibutuhkan untuk semua bahan yang digunakan dan upah pekerja yang terlibat, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda di masing-masing daerah karena perbedaan harga bahan upah dan tenaga kerja. Tujuan dari pembuatan RAB ini adalah untuk memberikan gambaran yang pasti tentang besarnya biaya yang dibutuhkan. (Bachtiar Ibrahim, 2001:3)

Tahap-tahap yang sebaiknya dilakukan sebelum menyusun rencana anggaran biaya adalah sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan data tentang jenis, harga serta kemampuan pasar yang menyediakan bahan/material konstruksi secara kontinu.
- b. Mengumpulkan data tentang upah pekerja yang berlaku di lokasi proyek dan atau upah pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek.
- c. Menghitung analisa bahan dan upah dengan menggunakan analisa harga satuan.
- d. Menghitung harga satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dan daftar kuantitas pekerjaan.
- e. Membuat rekapitulasi. (Wulfram I, 2005:142)





REKAPITULASI

Gambar 2.23 Tahapan Penyelesaian Rekapitulasi Harga Sebuah Proyek

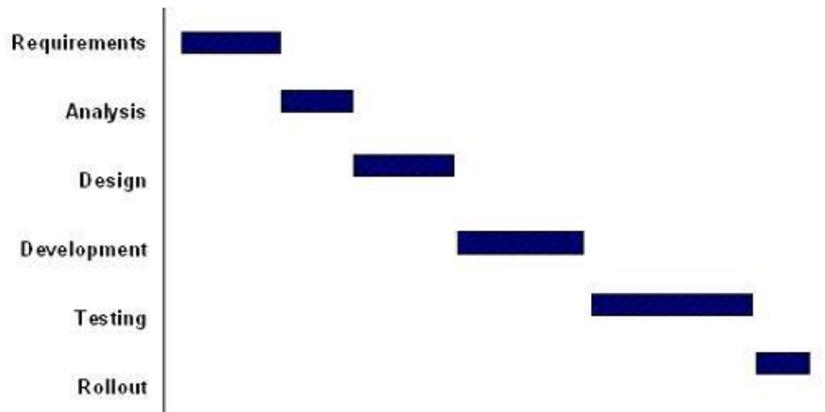
2.4.3 Rencana Pelaksanaan (Time Schedule)

Sebelum pelaksanaan kegiatan proyek konstruksi dimulai, biasanya didahului dengan penyusunan rencana kerja waktu kegiatan yang disesuaikan dengan metoda konstruksi yang akan digunakan. Pihak pengelola proyek melakukan kegiatan pendataan lokasi proyek guna mendapatkan informasi detail untuk keperluan penyusunan rencana kerja. Rencana pelaksanaan kerja terdiri dari barchart, kurva S dan network planning (NWP). (Wulfram I, 2005:153)

a. Barchart

Rencana kerja yang paling sering digunakan adalah diagram batang (barchart) atau gant chart. Barchart sering digunakan secara meluas dalam sebuah proyek konstruksi karena lebih sederhana, mudah dalam pembuatannya serta mudah untuk dimengerti oleh pemakainya.

Barchart adalah sekumpulan daftar kegiatan yang disusun dalam kolom arah vertikal. Kolom arah horizontal menunjukkan skala waktu. Saat mulai dan akhir sebuah kegiatan dapat terlihat dengan jelas, sedangkan durasi kegiatan digambarkan oleh panjangnya diagram batang.



Gambar 2.24 Contoh Barchart

Adapun keuntungan dari penggunaan barchart ini sendiri adalah sebagai berikut :

- Bentuknya sederhana
- Mudah dibuat
- Mudah dimengerti
- Mudah dibaca

Sedangkan kekurangan dari penggunaan barchart ini sendiri adalah sebagai berikut :

- Hubungan antara pekerjaan yang satu dengan yang lainnya kurang jelas
- Sukar mengadakan perbaikan
- Sulit digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan yang besar

Proses penyusunan diagram batang untuk membuat suatu barchart dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

- Daftar item kegiatan yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- Urutan pekerjaan dari daftar item kegiatan tersebut diatas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan terlebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
- Waktu pelaksanaan pekerjaan adalah jangka waktu pelaksanaan dari

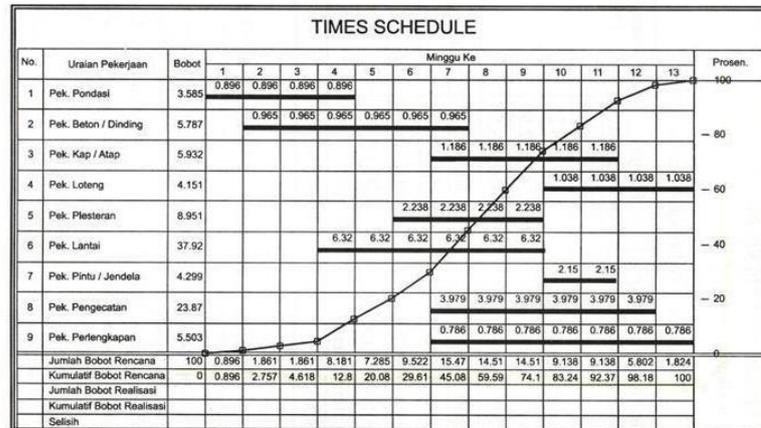
seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan kegiatan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan. (Wulfram I, 2005:162)

b. Kurva S

Kurva S adalah kurva yang menggambarkan kumulatif progress setiap waktu dalam pelaksanaan pekerjaan di sebuah proyek konstruksi. Kurva S tersebut dibuat berdasarkan rencana atau pelaksanaan progres pekerjaan dari setiap pekerjaan. Dengan kurva S kita dapat mengetahui progress pada setiap waktu. Progress tersebut dapat berupa rencana dan pelaksanaan. Untuk setiap bar chart yang dilengkapi dengan progress dapat dibuat kurva S. Bentuk kurva S biasanya mempunyai kemiringan yang landai pada setiap tahap permulaan dan tahap akhir dari pelaksanaan proyek.

Kurva S diperlukan untuk menggambar progress pada momen tertentu dalam sebuah proyek pembangunan. Rencana progress yang dibuat dalam kurva S merupakan referensi/kesepakatan dari semua pihak atas progress yang dihasilkan oleh kontraktor pada setiap momen waktu tertentu.

Bila kurva S dari rencana progress dan pelaksanaan dibandingkan maka dapat diketahui secara visual besarnya dan kecenderungan dari penyimpangan yang terjadi, apakah pelaksanaan lebih cepat atau lebih lambat dari rencana yang disepakati. Dengan mengetahui hal ini tentu dapat dimulai tindakan-tindakan koreksi sehingga pekerjaan dapat dilakukan sesuai dengan yang dikehendaki atau rencana.



Gambar 2.25 Contoh Kurva

Kurva S dibuat dengan sumbu vertikal sebagai nilai kumulatif biaya atau orang/hari atau penyelesaian pekerjaan dan sumbu horizontal sebagai waktu kalender masing-masing dari angka 0 sampai 100, kurva tersebut harus berbentuk kurva S karena kegiatan proyek berlangsung sebagai berikut:

- Kemajuan awalnya bergerak lambat.
- Kegiatan akan bergerak cepat dalam kurun waktu yang lebih lama.
- Akhirnya, kecepatan kemajuan menurun dan berhenti pada titik akhir.

c. Network Planning (NWP)

Network Planning merupakan suatu cara atau teknik dalam bidang perencanaan dan pengawasan suatu proyek. Produk yang dihasilkan dari network planning ini adalah kegiatan yang ada dalam proyek. Network planning digunakan untuk mengkoordinasikan berbagai pekerjaan, mengetahui apakah suatu pekerjaan bebas dan tergantung dengan pekerjaan lainnya, menunjukkan waktu penyelesaian yang kritis atau tidak, dan kepastian dalam penggunaan sumber daya.

Network panning memiliki beberapa tipe, yaitu preseden, metode jalur kritis (*Critical Path Methode*), program evaluation dan review technique (PERT), Grafis Evaluation dan review technique (GERT), adapun kegunaan dari NWP adalah :

- a. Merencanakan, *Scheduling* dan mengawasi proyek secara logis.

- b. Memikirkan secara menyeluruh, tetapi juga secara detail dari proyek.
- c. Mendokumentasikan dan mengkomunikasikan secara *Scheduling* (waktu) dan alternative-alternatif lain penyelesaian proyek dengan tambahan biaya.
- d. Mengawasi proyek dengan lebih efisien, sebab hanya jalur-jalur kritis (*Critical Path*) saja yang perlu pengawasan ketat.

Adapun data-data yang diperlukan dalam menyusun sebuah NWP dalam suatu proyek konstruksi adalah sebagai berikut :

- a. Urutan pekerjaan yang logis.

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

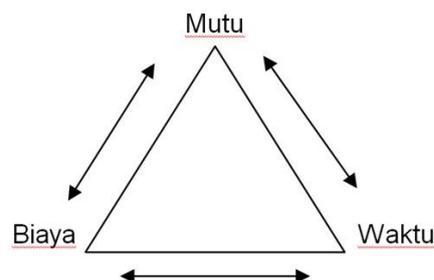
- b. Taksiran waktu penyelesaian setiap pekerjaan.

Biasanya memakai waktu rata-rata berdasarkan pengalaman. Kalau proyek itu baru sama sekali biasanya diberi slack/kelonggaran waktu.

- c. Biaya untuk mempercepat pekerjaan.

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

Pengendalian sebuah proyek konstruksi direncanakan sebaik mungkin diharapkan agar dapat menyelaraskan antara biaya proyek yang ekonomis, menghasilkan mutu pekerjaan yang baik/berkualitas dan selesai tepat waktu karena ketiganya adalah 3 elemen yang saling mempengaruhi yaitu mutu, biaya , dan waktu. Seperti terlihat pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.26 Siklus Biaya, Mutu, dan Waktu

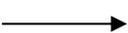
Ilustrasi siklus diatas menunjukkan bahwa apabila biaya proyek berkurang/dikurangi, sementara waktu pelaksanaan tetap maka secara otomatis anggaran belanja material akan dikurangi dan mutu pekerjaan akan berkurang. Secara umum proyek akan merugi, akan tetapi jika waktu pelaksanaan mundur/terlambat, sementara tidak ada rencana penambahan anggaran, maka mutu pekerjaan juga akan berkurang, secara umum proyek akan merugi.

Namun, jika mutu ingin dijaga, sementara waktu pelaksanaan mundur/terlambat, maka akan terjadi peningkatan anggaran belanja. Secara umum proyek akan merugi, sehingga dapat disimpulkan bahwa inti dari ketiga komponen proyek konstruksi di atas bagaimana menjadwalkan dan mengendalikan pelaksanaan proyek agar berjalan sesuai dengan schedule yang telah ditetapkan, selesai tepat waktu dan tidak terjadi pengurangan mutu pekerjaan ataupun penambahan anggaran biaya.

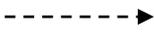
Adapun pembaguan macam-macam dari *Network Planning* (NWP) adalah sebagai berikut :

- a. CMD : Chart Method Diagram
- b. NMT : Network Management Technique
- c. PEP : Program Evaluation Procedure
- d. CPA : Critical Path Analysis
- e. CPM : Critical Path Method
- f. PERT : Program Evaluation and Review Technique

Pada perkembangannya NWP ini juga dikenal dalam 2 bahasa/symbol diagram network, yaitu sebagai berikut :

1. Even on the node, yaitu peristiwa yang menggambarkan dalam lingkaran
2. Activity on the node, yaitu kegiatan yang digambarkan dalam lingkaran
3.  **Arrow**, bentuknya berupa anak panah yang berarti aktivitas atau kegiatan, dimana suatu pekerjaan penyelesaiannya membutuhkan *duration* (jangka waktu) dan *resource* (Tenaga, equipment, material dan biaya).
4.  **Node/Even** bentuknya berupa lingkaran bulat yang berarti peristiwa atau kejadian, permulaan atau akhir dari satu atau

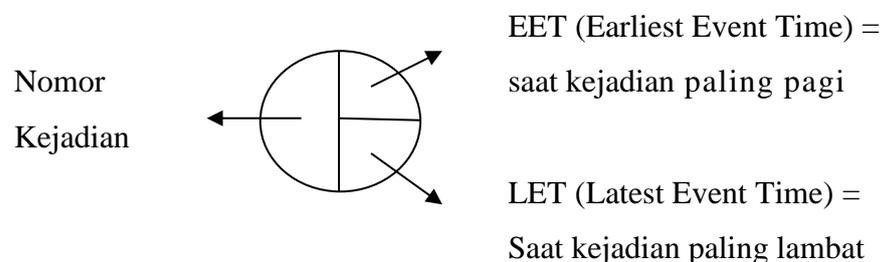
Lebih kegiatan.

5.  **Doble Arrow** berupa anak panah sejajar yang berarti lintasan kritis (*Critical Path*).
6.  **Dummy** berupa anak panah putus-putus yang berarti kegiatan semu atau aktivitas semu. *Dummy* bukan merupakan aktivitas/kegiatan tetapi dianggap kegiatan/aktivitas hanya saja tidak membutuhkan duration dan resource tertentu.
7.  **Jalur Kritis**, merupakan jalur yang memiliki rangkaian komponen-komponen kegiatan dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek tercepat.

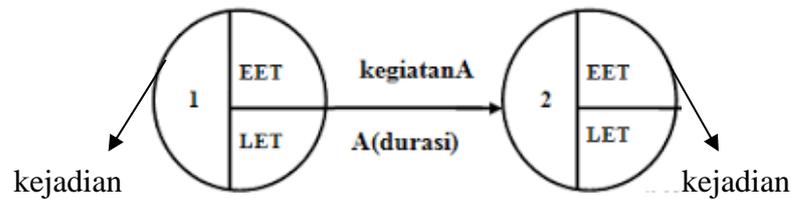
Syarat-syarat pembuatan pembuatan network diagram :

1. Dalam penggambaran, network diagram harus jelas dan mudah untuk dibaca.
2. Harus dimulai dari event/kejadian dan diakhiri pada event/kejadian.
3. Kegiatan disimbolkan dengan anak panah yang digambar garis lurus dan boleh patah.
4. Dihindari terjadinya perpotongan anak-anak panah.
5. Diantara dua kejadian, hanya boleh ada satu anak panah.
6. Penggunaan kegiatan semu ditunjukkan dengan garis putus-putus dan jumlahnya seperlunya saja.
7. Penulisan kejadian dan kegiatan seperti gambar 2.27 dan 2.26

(Wulfram I, 2005:234)



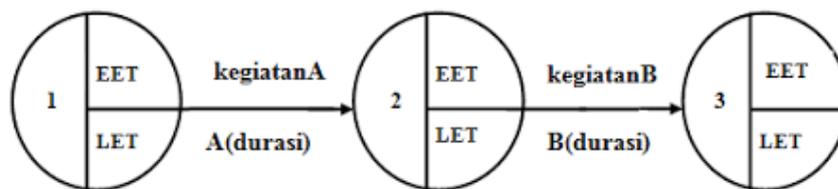
Gambar 2.27 Penulisan Kejadian



Gambar 2.28 Simbol Antar Kejadian

Perhitungan EET dan LET adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung besarnya nilai EET, digunakan perhitungan ke depan (Forward Analysis), dimulai dari kegiatan paling awal dan dilanjutkan dengan kegiatan berikutnya. Perhitungan dilakukan dengan ilustrasi seperti pada gambar 2.29

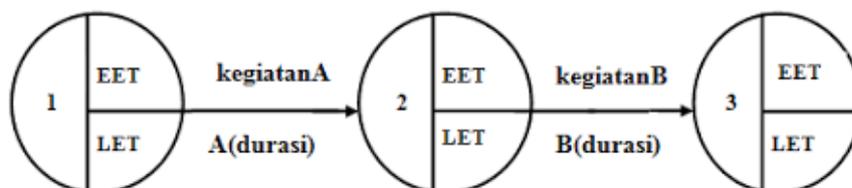


Gambar 2.29 Kejadian dan Kegiatan

$$EET_2 = EET_1 + \text{Durasi A}$$

$$EET_3 = EET_2 + \text{Durasi B}$$

2. Untuk menghitung besarnya nilai LET, digunakan perhitungan ke belakang (Backward Analysis), dimulai dari kegiatan paling akhir dan dilanjutkan dengan kegiatan sebelumnya. Perhitungan dilakukan dengan ilustrasi seperti pada gambar 2.30



Gambar 2.30 Kejadian dan Kegiatan

$$LET_2 = LET_3 - \text{Durasi B}$$

$$LET_1 = LET_2 - \text{Durasi A}$$