

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Uraian Umum

Perencanaan struktur dapat didefinisikan sebagai campuran antara seni dan ilmu pengetahuan yang dikombinasikan dengan intuisi seorang ahli struktur mengenai perilaku struktur dengan dasar-dasar pengetahuan dalam statika, dinamika, mekanika bahan, dan analisa struktur, untuk menghasilkan suatu struktur yang ekonomis dan aman, selama masa layannya. Tujuan dari perencanaan struktur adalah menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomis dan kemudahan pelaksanaan. Beban yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan suatu struktur gedung diantaranya beban mati, beban hidup, dan beban angin sebagai beban pokok.

Menurut Ervianto (2005), kegiatan yang dilaksanakan pada tahap perencanaan ini :

- a. Mengembangkan ikhtisar proyek menjadi penyelesaian akhir
- b. Memeriksa masalah teknis
- c. Meminta persetujuan akhir ikhtisar dari pemilik proyek
- d. Mempersiapkan :
 - 1) Rancangan skema (prarancangan) termasuk taksiran biaya
 - 2) Rancangan terinci
 - 3) Gambar kerja, spesifikasi dan jadwal
 - 4) Daftar kuantitas
 - 5) Taksiran biaya akhir
 - 6) Program pelaksanaan pendahuluan, termasuk jadwal waktu

2.2 Ruang Lingkup Perencanaan Struktur

Struktur adalah suatu kesatuan dan rangkaian beberapa elemen yang direncanakan agar mampu menerima beban luar maupun beban sendiri tanpa mengalami perubahan bentuk yang melampaui batas persyaratan.

Ada dua struktur pendukung bangunan yaitu :

a. Struktur Bangunan Atas

Struktur bangunan atas harus sanggup mewujudkan perencanaan dari segi arsitektur dan harus mampu menjamin mutu baik dari segi keamanan maupun kenyamanan bagi penggunanya. Dalam perhitungan perancangan untuk struktur atas bangunan tersebut meliputi :

- 1) Perhitungan pelat atap dan pelat lantai
- 2) Perhitungan tangga
- 3) Perhitungan balok
- 4) Perhitungan kolom

b. Struktur bangunan bawah

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

- 1) Perhitungan Sloof
- 2) Perhitungan pondasi

2.3 Dasar-Dasar Perencanaan

Dalam perencanaan bangunan, penulis berpedoman pada peraturan-peraturan yang telah ditetapkan dan berlaku di Indonesia. Peraturan-peraturan yang dijadikan pedoman tersebut antara lain:

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013). Dalam tata cara ini terdapat persyaratan-persyaratan dan ketentuan dalam teknis perencanaan serta pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung sebagai pedoman atau acuan dalam perencanaan untuk mendapatkan struktur yang aman dan ekonomis
2. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain (SNI 1727-2013). Pedoman ini digunakan untuk mengetahui nilai beban minimum suatu konstruksi terhadap perencanaan bangunan yang akan dilakukan.

3. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Pedoman ini digunakan untuk menentukan beban yang diizinkan untuk merencanakan pembebanan pada bangunan gedung.
4. Buku Perancangan Struktur Beton Bertulang oleh Agus Setiawan. Buku ini berisi dasar-dasar pengertian sistem struktur beton bertulang dan perilaku serta kekuatan komponen struktur beton bertulang.
5. Buku Analisis dan Perancangan Fondasi II oleh Hary Christady Hardiyatmo. Pedoman ini dipakai dalam perhitungan pondasi tiang pancang.

2.4 Perencanaan Kontruksi

2.4.1. Perencanaan Pelat

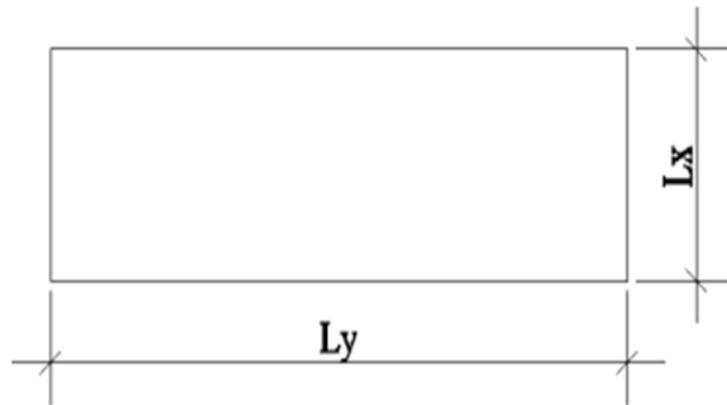
Pelat beton dibuat untuk menyediakan suatu permukaan horizontal yang rata pada lantai bangunan atap, jembatan, atau jenis struktur lainnya. Pelat beton dapat ditumpu oleh dinding balok, kolom atau dapat juga terletak langsung diatas tanah. Pada struktur balok-pelat, umumnya balok dan plat dicor secara bersamaan sehingga menghasilkan suatu kesatuan struktur yang monolit. Pada suatu konstruksi bangunan gedung, pelat terdiri dari pelat atap dan pelat lantai. Ketebalan dari pelat beton umumnya jauh lebih kecil dibandingkan dengan ukuran bentangnya. (Setiawan, 2016:252).

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

1. Pelat satu arah (*One Way Slab*)

Jika sistem pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengalami lendutan dalam arah tegak lurus dari sisi tumpuan. Beban akan didistribusikan oleh pelat dalam satu arah saja yaitu ke arah tumpuan. Pelat jenis ini disebut juga dengan pelat satu arah. Apabila pelat tertumpu di keempat sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar

atau sama dengan 2 ($\frac{L_y}{L_x} \geq 2$), maka hampir 95% beban akan dilimpahkan dalam arah bentang pendek, dan pelat akan menjadi sistem pelat satu arah. Sistem pelat satu arah cocok digunakan pada bentangan 3-6 meter, dengan beban hidup sebesar 2,5-5 kN/m². Seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pelat Satu Arah

Langkah-langkah mendesain pelat satu arah, sebagai berikut :

- a. Penentuan tebal minimum pelat satu arah.

Tabel 2.1 Tebal minimum pelat satu arah bila lendutan tidak dihitung.

Komponen Struktur	Tabel Minimum, h			
	Dua Tumpuan Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
	Komponen Tidak Mendukung Atau Menyatu Dengan Partisi Atau Konstruksi Lain Yang Akan Rusak Akibat Lendutan Besar			
Plat Pasif satu arah	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Balok atau plat rusuk satu arah	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

(Sumber : SNI 2847-2013)

Catatan :

Panjang bentang dalam mm = Bentang bersih + tebal kolom

= Jarak dari as ke as

Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal ($w_c = 2400 \text{ kg/m}^3$) dan tulangan BJTD 40. Untuk kondisi lain, nilai diatas harus dimodifikasi sebagai berikut:

- (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis diantara 1500 kg/m^3 sampai 2000 kg/m^3 , nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003 w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09, dimana w_c adalah berat jenis dalam kg/m^3 .
- (b) Untuk f_y lebih kecil 400 MPa nilainya harus dikalikan dengan

$$\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

- b. Menghitung beban ultimate (W_U), termasuk beban sendiri pelat dan beban hidup serta menghitung momen rencana

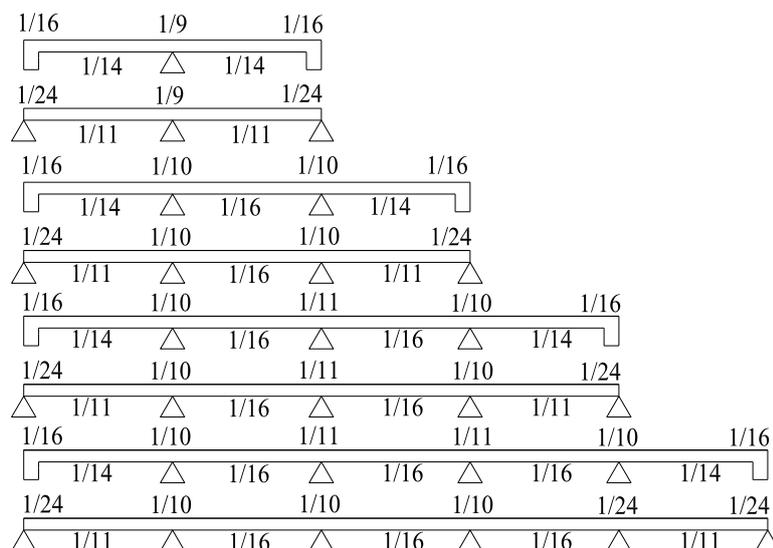
$$W_U = 1,2 W_D + 1,6 W_L$$

Dengan :

W_D = beban mati pelat (KN/m)

W_L = beban hidup pelat (KN/m)

- c. Pendistribusian momen dengan metode koefisien momen, Koefisien momen dikalikan $W_U \cdot L_n^2$ seperti pada gambar 2.2. dengan catatan:



Gambar 2.2 Koefisien Momen (W.C. Vis dan Gideon Kusuma, 1993:75)

- 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 pelat (d_{eff})
- $d_{eff} = h - \text{tebal selimut beton} - (\text{diameter tulangan}/2)$
- tebal selimut pada tumpuan atap (P) = 40mm dan
- tebal selimut pada lapangan atap dan lantai = 20 mm

Tabel 2.2 Tabel Selimut Beton

Kriteria	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-56	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah: <u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u> Batang D-44 dan D-56	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil	20
<u>Balok, kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang D-19 dan yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

Sumber : SNI – 2847 – 2013 butir 7.7.1 .

- e. Menentukan rasio penulangan

$$\rho = \frac{f'c}{f_y} \left(0,85 - \sqrt{(0,85)^2 - \frac{1,7 \cdot Mu}{\phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)$$

Keterangan :

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

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

d = tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (Sumber SNI 2847:2013,66)

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

1) Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} dan A_s yang digunakan A_{smin}
 ρ_{min} untuk pelat lantai adalah 0,0018 berdasarkan SNI 2847:2013,57.

2) Jika $\rho > \rho_{max}$, maka pelat dibuat lebih tebal sehingga dilakukan perhitungan ulang

f. Hitung A_s yang diperlukan.

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

$$A_s \text{ Minimum} = 0,0018 \cdot b \cdot h$$

(Digunakan 0,0018 karena tulangan yang digunakan merupakan jenis ulir)

Dimana :

A_s = luas penampang (mm^2)

ρ = rasio penulangan

b = lebar penampang (mm)

d_{eff} = tinggi efektif (mm)

g. Menggunakan tabel tulangan, pilih tulangan pokok yang akan dipasang. Periksa jarak maksimum antara tulangan dari pusat ke pusat $3h$ atau 500mm .

h. Pilih tulangan susut dan suhu. Untuk tulangan susut dan suhu dihitung :

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:

- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350 adalah $0,0020 \times \frac{420}{f_y}$.

- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 adalah $0,0018 \times \frac{420}{f_y}$.

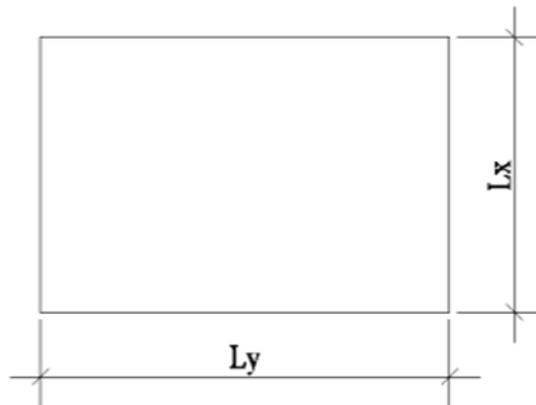
- Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35% adalah $0,0018 \times \frac{420}{f_y}$.

- 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 pelat beton ditopang di keempat sisinya, dan rasio antara bentang panjang terhadap bentang pendeknya kurang dari 2, maka pelat tersebut dikategorikan sebagai sistem pelat dua arah. (Setiawan, 2016:252)

Pelat dengan tulangan pokok dua arah ini akan dijumpai jika pelat beton menahan beban yang berupa momen lentur pada bentang dua arah. Contoh pelat dua arah adalah pelat yang ditumpu oleh empat sisi yang saling sejajar. Seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pelat Dua Arah

Pelat dikatakan dua arah apabila $\frac{L_y}{L_x} < 2$, dimana L_y adalah panjang sisi panjang dan L_x adalah panjang sisi pendek.

Langkah-langkah perencanaan pelat dua arah sebagai berikut :

- a. Menghitung tebal minimum pelat. Tebal minimum pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :
 - Untuk α_m sama atau lebih kecil dari 0,2 , harus menggunakan tabel 2.3

Tabel 2.3 Tebal Minimum Pelat Dua Arah

Tegangan Leleh (Mpa)	Tanpa Penebalan			Dengan Penebalan		
	Panel Luar		Panel Dalam	Panel Luar		Panel Dalam
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir	
280	$\frac{\ell_n}{33}$	$\frac{\ell_n}{36}$	$\frac{\ell_n}{36}$	$\frac{\ell_n}{36}$	$\frac{\ell_n}{40}$	$\frac{\ell_n}{40}$
420	$\frac{\ell_n}{30}$	$\frac{\ell_n}{33}$	$\frac{\ell_n}{33}$	$\frac{\ell_n}{33}$	$\frac{\ell_n}{36}$	$\frac{\ell_n}{36}$
520	$\frac{\ell_n}{28}$	$\frac{\ell_n}{31}$	$\frac{\ell_n}{31}$	$\frac{\ell_n}{31}$	$\frac{\ell_n}{34}$	$\frac{\ell_n}{34}$

(Sumber : SNI 2847-2013)

- Untuk α_m lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)}$$

dan tidak boleh kurang dari 120mm

- Untuk α_m lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90mm

Dimana :

$$\alpha_m = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} \cdot I_s}$$

α_m = nilai rata-rata rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur pelat (α) untuk semua balok pada tepi-tepi dari suatu panel

E_{cb} = modulus elastisitas balok beton

E_{cs} = modulus elastisitas pelat beton

I_b = inersia balok $\left(\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \right)$

I_s = inersia pelat $\left(\frac{1}{12} \cdot \ell_n \cdot t^3\right)$

ℓ_n = jarak bentang bersih

h = tinggi balok

t = tebal pelat

β = rasio bentang panjang bersih pelat terhadap bentang pendek bersih pelat

- b. Menghitung beban ultimate (W_U), termasuk beban sendiri pelat dan beban hidup serta menghitung momen rencana

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

Dengan :

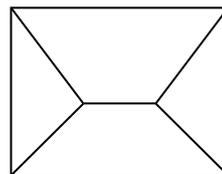
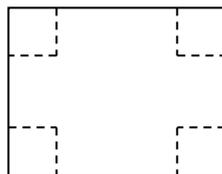
W_D = beban mati pelat (KN/m)

W_L = beban hidup pelat (KN/m)

- c. Mencari momen yang menentukan. Momen-momen yang menentukan sesuai dengan tabel 14 dari buku Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang jilid I karangan *W.C. Vis dan Gideon H. Kusuma (1993:89)*

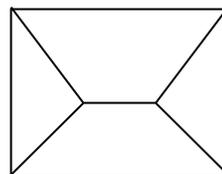
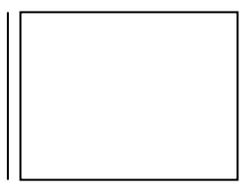
Tabel 2.4 Momen yang menentukan per meter lebar dalam jalur tengah pada pelat dua arah akibat beban terbagi rata

Cara I:



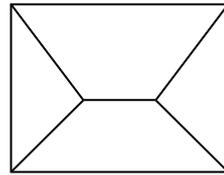
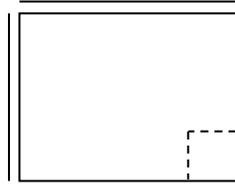
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \\ M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly} \end{aligned}$$

Cara II:



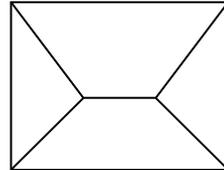
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \end{aligned}$$

Cara III:



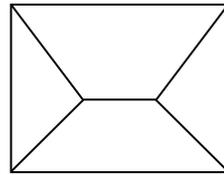
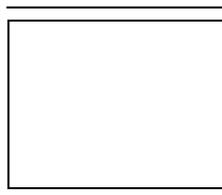
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \\ M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly} \end{aligned}$$

Cara IV:



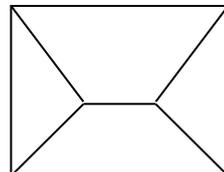
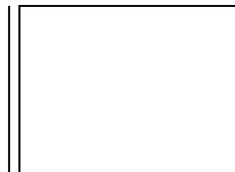
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \end{aligned}$$

Cara V:



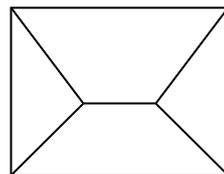
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly} \end{aligned}$$

Cara VI:



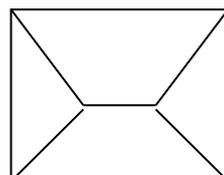
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \\ M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly} \end{aligned}$$

Cara VII:



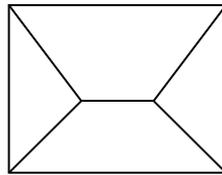
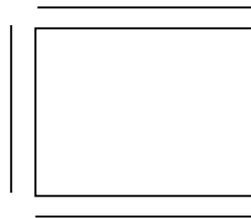
$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \\ M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly} \end{aligned}$$

Cara VIII:



$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\ M_{tix} &= \frac{1}{2} \cdot M_{lx} \end{aligned}$$

Cara IX:



$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\
 M_{ly} &= 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\
 M_{tx} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\
 M_{ty} &= -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen} \\
 M_{tiy} &= \frac{1}{2} \cdot M_{ly}
 \end{aligned}$$

Dimana:

- M_{lx} adalah momen lapangan maksimum per meter lebar di arah x.
- M_{ly} adalah momen lapangan maksimum per meter lebar di arah y
- M_{tx} adalah momen tumpuan maksimum per meter lebar di arah x
- M_{ty} adalah momen tumpuan maksimum per meter lebar di arah y
- M_{tiy} adalah momen jepit tak terduga (insidental) per meter lebar di arah x.
- M_{tiy} adalah momen jepit tak terduga (insidental) per meter lebar di arah y.

d. Menghitung tinggi efektif (d_{eff})

$$d_{eff \ x} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \phi_{tulangan \text{ arah x}}$$

$$d_{eff \ y} = h - \text{tebal selimut beton} - \phi_{tulangan \text{ arah x}} - \frac{1}{2} \phi_{tulangan \text{ arah y}}$$

e. Menentukan rasio penulangan

$$\rho = \frac{f'c}{f_y} \left(0,85 - \sqrt{(0,85)^2 - \frac{1,7 \cdot Mu}{\phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2}} \right)$$

Keterangan :

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

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

d = tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (Sumber SNI 2847:2013,66)

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

1) Jika $\rho < \rho_{min}$, maka menggunakan ρ_{min} dan As yang digunakan

$As_{min} \rho_{min}$ untuk pelat lantai 0,0018 berdasarkan SNI 2847:2013,57.

2) Jika $\rho < \rho_{max}$, maka pelat dibuat lebih tebal sehingga dilakukan perhitungan ulang

f. Hitung A_s yang diperlukan.

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

A_s = luas penampang (mm^2)

ρ = rasio penulangan

b = lebar penampang (mm)

d_{eff} = tinggi efektif (mm)

$A_s \text{ Min} = 0,0018 \cdot b \cdot h$ (0,0018 karena tulangan yang digunakan jenis ulir)

g. Dengan menggunakan tabel tulangan, pilih tulangan pokok yang akan dipasang.

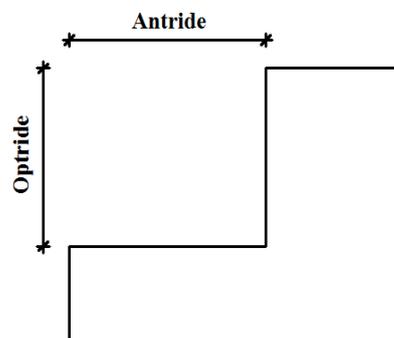
2.4.2 Perencanaan Tangga

Tangga adalah salah satu bagian dari suatu bangunan yang berfungsi sebagai alat penghubung lantai bawah dengan lantai yang ada di atasnya pada bangunan bertingkat dalam kegiatan tertentu. Secara umum tangga itu terdiri dari:

a. Anak Tangga (Trede)

Anak tangga terdiri dari dua, yaitu :

1. *Antrade* (Langkah datar), adalah bagian dari anak tangga dan pelat tangga bidang horizontal yang merupakan bidang pijak telapak kaki.
2. *Optrede* (Langkah tegak), yaitu bagian dari anak tangga pada bidang vertikal yang merupakan selisih tinggi antara 2 buah anak tangga yang berurutan.



Gambar 2.4 Optride dan Antrade

- b. Bordes adalah bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak luas dan berfungsi sebagai tempat beristirahat bila terasa lelah. Bordes dibuat apabila jarak tempuh tangga sangat panjang atau lebar tangga cukup akan tetapi ruangan yang tersedia untuk tangga biasa tidak mencukupi.

Syarat-syarat umum tangga:

- a. Tangga harus mudah dijalani atau dinaiki
- b. Tangga harus cukup kuat dan kaku
- c. Ukuran tangga harus sesuai dengan sifat dan fungsinya
- d. Material yang digunakan untuk pembuatan tangga terutama pada gedung-gedung umum harus berkualitas baik, tahan dan bebas dari bahaya kebakaran.
- e. Letak tangga harus strategis

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
 $2 \text{ optrede} + 1 \text{ antrede} = 58-70 \text{ cm}$
- d. Syarat bordes, $L = Ln + 2a$
 $a = \text{antride} ; Ln = \text{Langkah}$
- e. Sudut kemiringan
 Maksimum = 45°
 Minimum = 25°

Langkah - langkah perhitungan tangga:

1. Menentukan ukuran dan dimensi
 - a. Tentukan perkiraan tinggi opride 15 cm – 20 cm
 - b. Jumlah opride , Jumlah Opride = $\frac{\text{tinggi tangga}}{\text{ukuran opride}}$
 - c. Tinggi opride sebenarnya, Opride Sebenarnya = $\frac{\text{tinggi tangga}}{\text{jumlah opride}}$
 - d. Ln/ 1 langkah (58 – 64 cm)

$$\text{Ln/ 1 langkah} = 1 \text{ antrede} + 2 \text{ Optrede}$$
 - e. Sudut kemiringan tangga

$$\text{Sudut kemiringan tangga} = \text{Arc tan } \theta = \frac{\text{Opride}}{\text{Antride}}$$
 - f. Menentukan tebal pelat

2. Menentukan Pembebanan :
 - 1) Pembebanan pelat anak tangga
 - a) Beban mati
 - Berat sendiri pelat + anak tangga
 - Berat penutup lantai
 - Berat spesi
 - Berat sandaran
 - b) Beban hidup
 - Beban hidup yang bekerja pada tangga 1,33 kN (SNI 1727 2013)
 - 2) Pembebanan bordes
 - a) Beban mati
 - Berat sendiri pelat bordes
 - Berat penutup lantai
 - Berat spesi
 - Berat sandaran
 - b) Beban hidup
 - Beban hidup yang bekerja pada tangga 1,33 kN (SNI 1727:2013)

3. Perhitungan gaya-gaya yang bekerja menggunakan SANSPRO V.5.10

4. Perhitungan tulangan tangga dan bordes

a) Momen yang bekerja (M_u)

b) Menentukan tinggi efektif (d_{eff})

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

c) Menentukan rasio penulangan (ρ)

$$\rho = \frac{f'_c}{f_y} \left(0,85 - \sqrt{(0,85)^2 - \frac{1,7 \cdot M_u}{\phi \cdot f'_c \cdot b \cdot d^2}} \right)$$

Keterangan :

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

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

d = tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (Sumber SNI 2847:2013,66)

d) Menghitung luas tulangan (A_s) digunakan rumus :

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

e) Untuk 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:

- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir mutu 280 atau 350 adalah $0,0020 \times \frac{420}{f_y}$.
- Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 adalah $0,0018 \times \frac{420}{f_y}$.
- Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan leleh melebihi 420 MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar 0,35% adalah $0,0018 \times \frac{420}{f_y}$.

Tulangan susut dan suhu harus dipasang dengan jarak tidak lebih dari lima kali tebal pelat, atau tidak lebih jauh dari 450 mm.

- f) Memilih tulangan pokok yang akan di pasang

2.4.3 Perencanaan Balok Anak

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

1. Menentukan dimensi balok, mutu beton dan mutu baja yang akan digunakan.
2. Menghitung pembebanan yang terjadi pada balok anak untuk kemudian di proses menggunakan program SANSIRO V.5.10 untuk mendapatkan gaya dalamnya
3. Menentukan momen dan gaya geser maksimum berdasarkan hasil analisa menggunakan program SANSIRO V.5.10.
4. Penulangan lentur lapangan dan tumpuan

- a. Mencari nilai ρ

$$d_{\text{eff}} = h - p - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tulangan utama}$$

$$\rho_{\text{hitung}} = \frac{f'c}{f_y} \left(0,85 - \sqrt{(0,85)^2 - \frac{1,7 \cdot \text{Mu}}{\phi \cdot f'c \cdot b \cdot d_{\text{eff}}^2}} \right)$$

Keterangan :

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

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

d_{eff} = tinggi efektif (mm)

ϕ = Faktor reduksi rencana (Sumber SNI 2847:2013,66)

- b. Hitung As yang diperlukan

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

Keterangan :

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

ρ = Rasio penulangan

d_{eff} = Tinggi efektif pelat

- c. Menentukan diameter tulangan yang dipakai dengan syarat A_s terpasang $\geq A_s$ direncanakan
 - d. Lakukan pemeriksaan akhir, $\phi M_n > M_u$.
5. Perhitungan tulangan geser
- a. Hitung gaya geser ultimit (V_u) dari beban terfaktor yang bekerja pada struktur. Nilai V_u yang diambil sebagai dasar desain adalah nilai V_u pada lokasi penampang kritis, yaitu sejarak d dari muka tumpuan.
 - b. Hitung nilai ϕV_c dari persamaan :

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

Atau

$$\phi V_c = \phi \left(0,17\lambda \sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad \phi \left(0,29\lambda \sqrt{f'_c} \right) b_w d$$

Dengan $\phi = 0,75$

- c. Periksa nilai V_u
 - Jika $V_u < \frac{1}{2} \phi V_c$, tidak dibutuhkan tulangan geser.
 - Jika $\frac{1}{2} \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$, dibutuhkan tulangan geser minimum, dapat dipasang tulangan sengkang vertical berdiameter 10mm dengan jarak maksimum
 - Jika $V_u > \phi V_c$, tulangan geser harus disediakan langkah berikutnya.
- d. Jika $V_u > \phi V_c$, hitung gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser menggunakan persamaan berikut :

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

- e. Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2} dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

Apabila V_s lebih kecil dari V_{c1} , maka proses desain dapat dilakukan ke langkah berikutnya. Namun bila V_s lebih besar dari V_{c1} maka ukuran penampang harus diperbesar.

- f. Hitung jarak tulangan sengkang berdasarkan persamaan berikut : $s_t = \frac{A_v f_{yt} d}{V_s}$

- g. Tentukan jarak maksimum tulangan sengkang sesuai dengan persyaratan dalam SNI 2847 : 2013. Jarak maksimum tersebut diambil dari nilai terkecil antara s_1 dan s_2 berikut ini:

$$\text{➤ } s_2 = \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm, jika } V_s \leq V_{c1} = 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\text{➤ } s_2 = \frac{d}{4} \leq 300 \text{ mm, jika } V_{c1} < V_s \leq V_{c2} = 0,66\sqrt{f'_c} b_w d$$

$$\text{➤ } s_3 = A_v f_{yt} / 0,35 b_w \geq A_v f_{yt} / 0,62 b_w$$

s_{maks} dipilih dari nilai terkecil antara s_2 dan s_3 .

Jika nilai s_1 yang dihitung lebih kecil dari s_{maks} , maka gunakan s_1 sebagai jarak tulangan sengkang dan jika s_1 yang dihitung lebih besar dari s_{maks} , maka gunakan s_{maks} sebagai jarak tulangan sengkang

2.4.4 Perencanaan Portal

Portal adalah suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling berhubungan dan fungsinya menahan beban sebagai satu kesatuan yang lengkap. Portal yang dihitung adalah portal akibat beban mati, beban hidup dan beban angin. Portal dihitung dengan menggunakan program SANSPRO V.5.10.

Adapun langkah-langkah perencanaan portal akibat beban mati dan beban hidup adalah sebagai berikut :

- a. Portal akibat beban mati

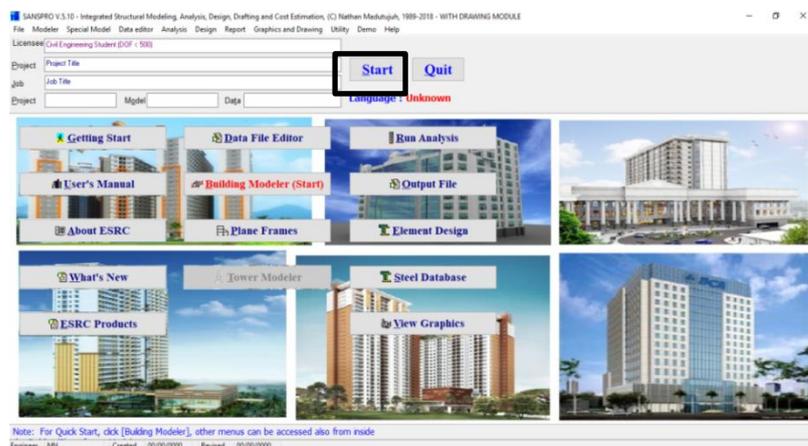
Portal ini ditinjau pada arah memanjang dan melintang.

b. Portal akibat beban hidup

Beban hidup yang digunakan yaitu berat beban hidup sumbangan dari pelat dan harus sesuai dengan peraturan SNI 1727:2013 tentang pembebanan gedung dengan berdasarkan kepada fungsi gedung yang akan dibangun.

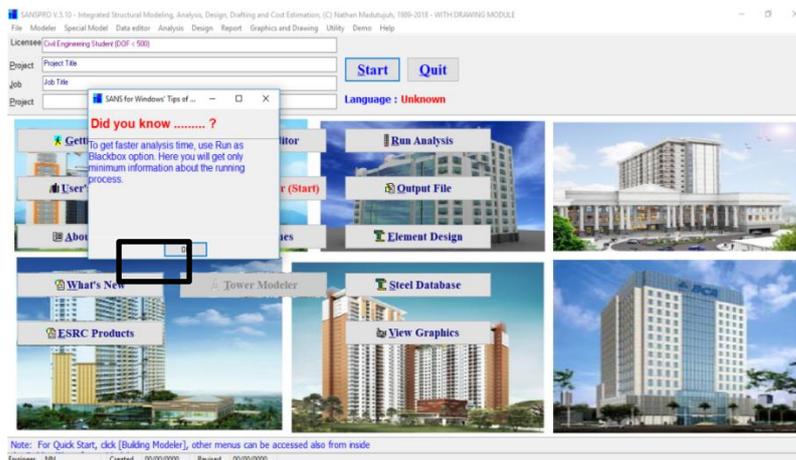
Adapun langkah-langkah menghitung portal dengan menggunakan program SANSPRO v.5.10 adalah sebagai berikut :

a. Buka aplikasi SANSPRO v.5.10, setelah aplikasi terbuka klik **Start**



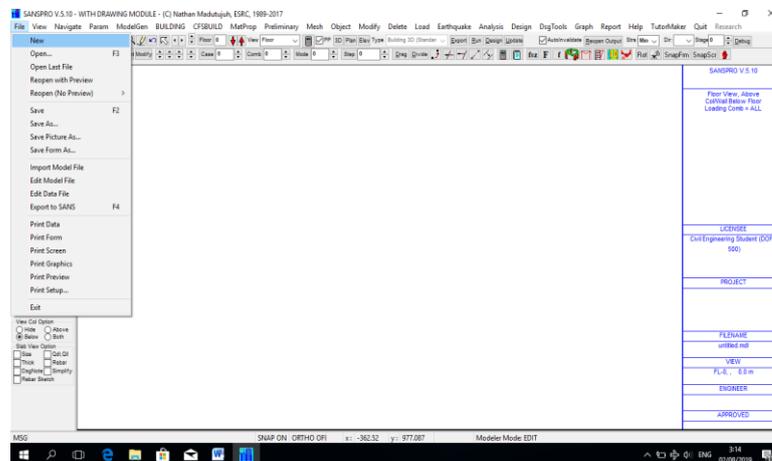
Gambar 2.5 Tampilan Depan Aplikasi SANSPRO v.5.10

Kemudian klik **Ok**.



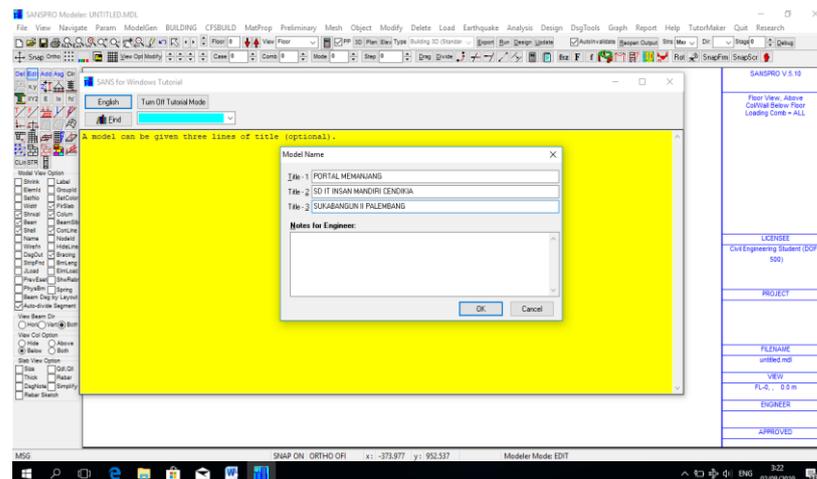
Gambar 2.6 Kotak Dialog SANSPRO v.5.10

- b. Setelah aplikasi SANSPRO v.5.10 terbuka kemudian klik **File – New**



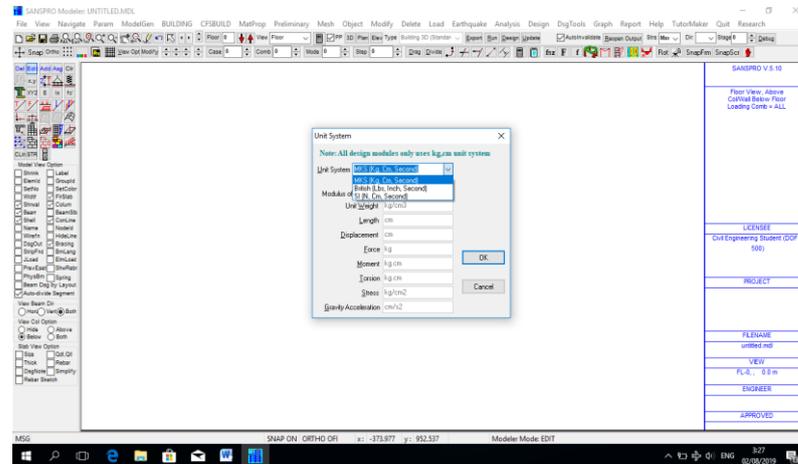
Gambar 2.7 Membuat Lembar Kerja Baru Pada SANSPRO v.5.10

- c. Masukkan data-data permodelan. Buat judul permodelan kemudian klik **Ok**



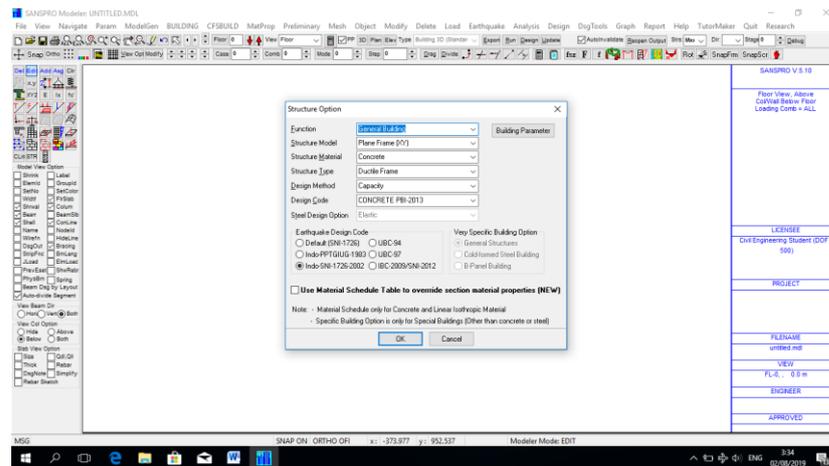
Gambar 2.8 Membuat Judul Permodelan pada SANSPRO v.5.10

Pilih unit yang akan digunakan kemudian klik **Ok**



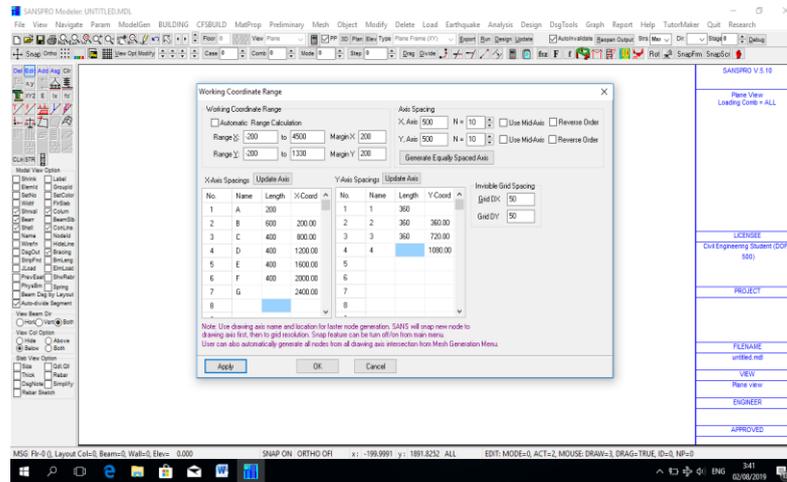
Gambar 2.9 Menentukan unit yang akan digunakan

Lakukan pengaturan pada *structure option* sesuai dengan bangunan yang di modelkan kemudian klik **Ok**



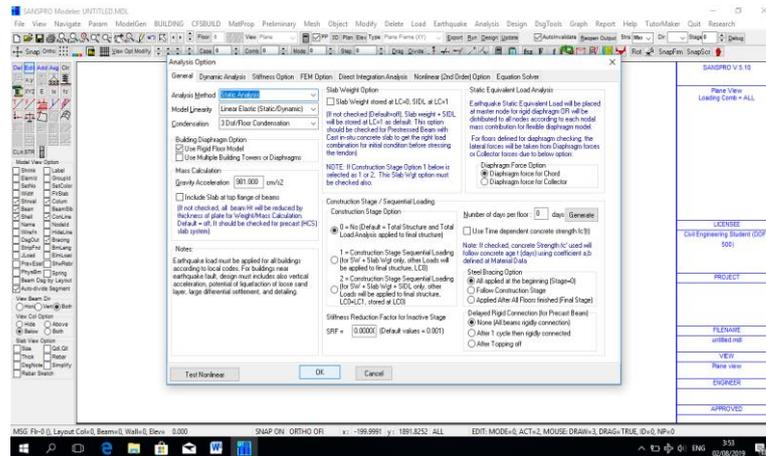
Gambar 2.10 Melakukan Pengaturan *Structure Option*

- d. Membuat garis As bangunan dengan cara mengklik **building – define coordinate axis**. Masukkan data-data sesuai perencanaan. Kemudian klik **Apply – Ok** (*coordinate axis* akan dihasilkan secara otomatis)



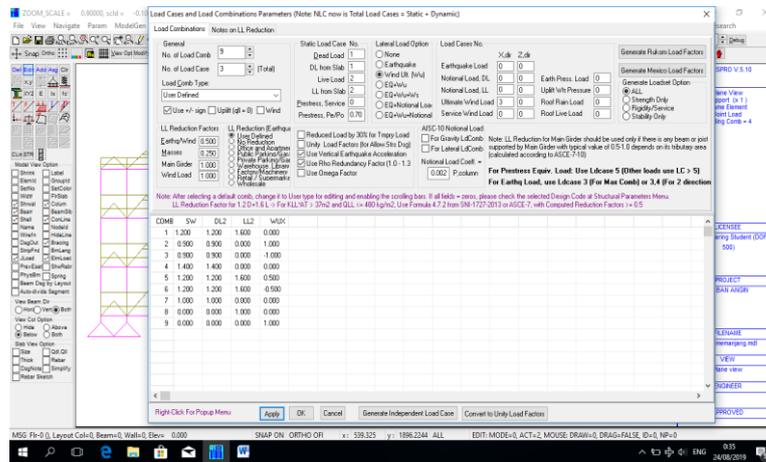
Gambar 2.11 Memasukkan jarak As

- e. Melakukan penganturan pada kotak dialog *Analysis Option* kemudian klik *Ok*



Gambar 2.12 Melakukan Pengaturan *Analysis Option*

- f. Pilih kombinasi pembebanan yang akan digunakan dalam perencanaan struktur kemudian klik *Apply - Ok*.

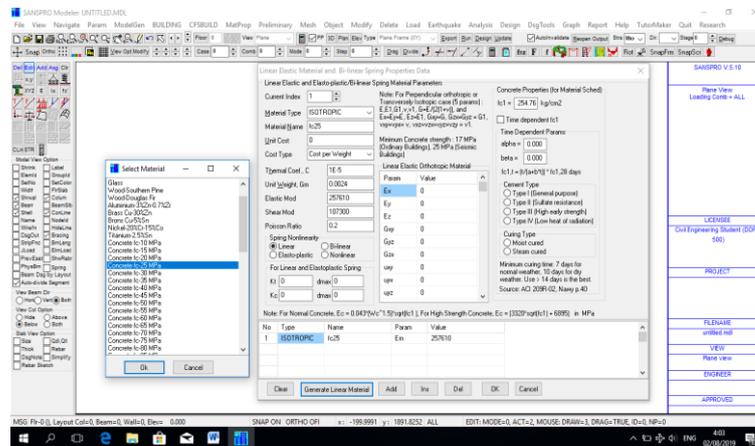


Gambar 2.13 Menentukan Kombinasi Pembebanan

- g. Menentukan kelengkapan elemen struktur bangunan sesuai perencanaan. Element data *set properties* dibagi kedalam 4 tabel, sebagai berikut :

1) *Material Table*

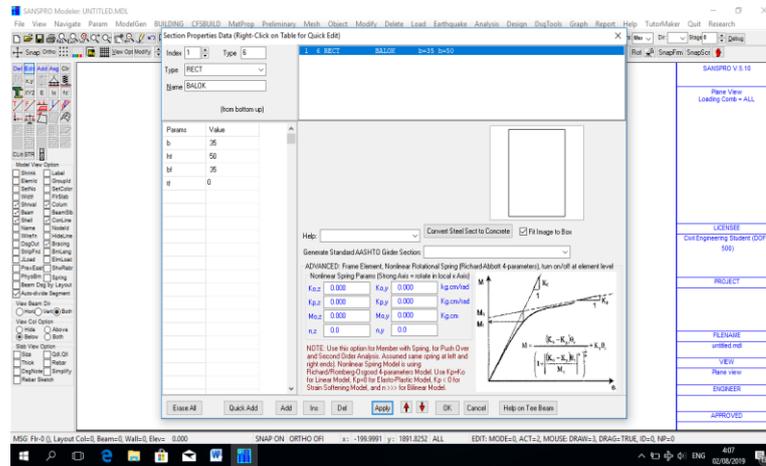
Klik **Generate Linear Material** – pilih material yang digunakan – **Ok** – **Ok**.



Gambar 2.14 Menentukan Material yang Digunakan

2) *Section Table*

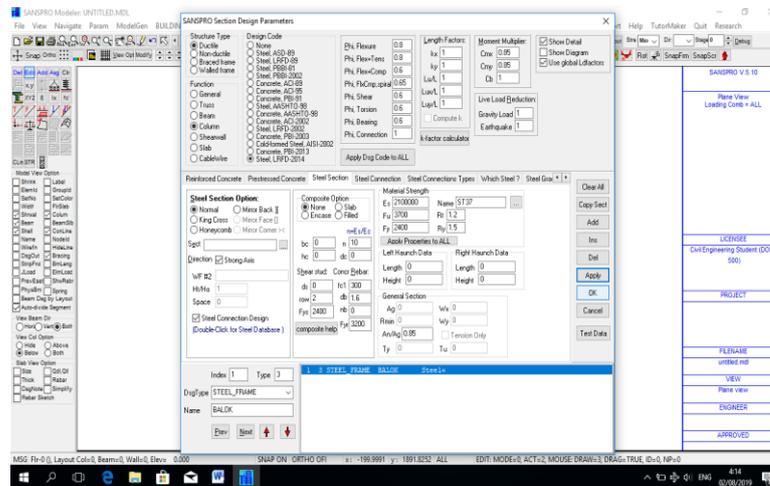
Klik **Add** – buat ukuran penampang yang akan digunakan – **Apply** – **Ok**.



Gambar 2.15 Membuat Penampang yang Digunakan

3) Design Table

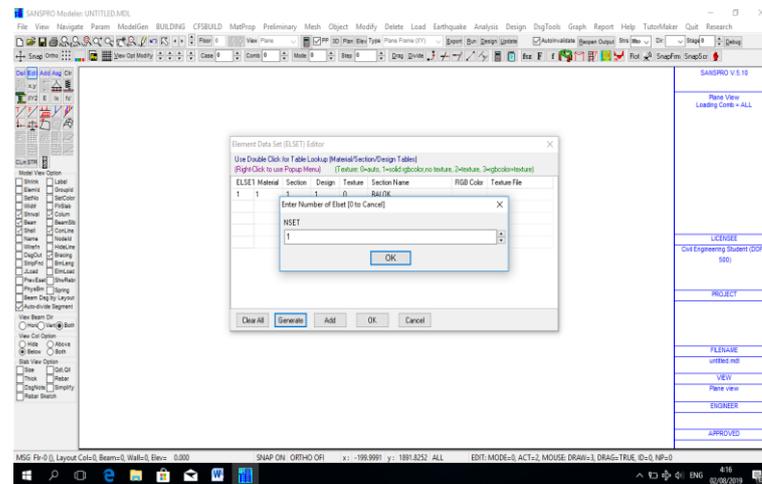
Tentukan spesifikasi struktur yang akan digunakan mulai dari mutu beton, mutu tulangan diameter tulangan, dll. Kemudian klik **Apply – Ok**.



Gambar 2.16 Menentukan Spesifikasi Struktur.

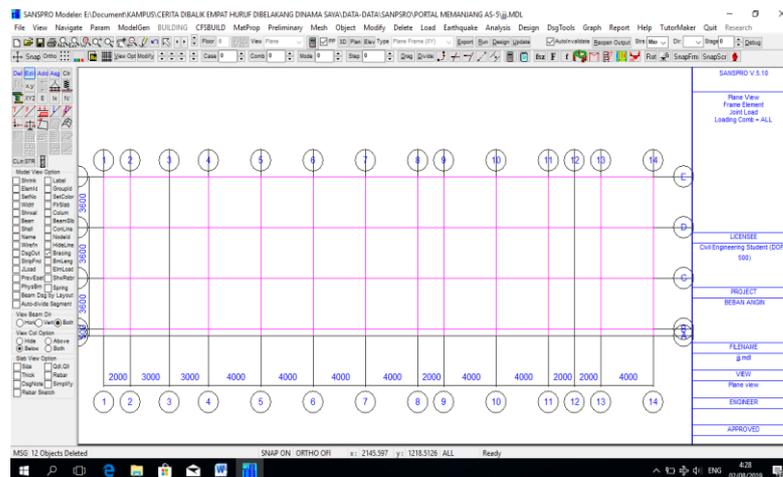
4) ELSET Table

Klik **Generate – Ok – Ok**.



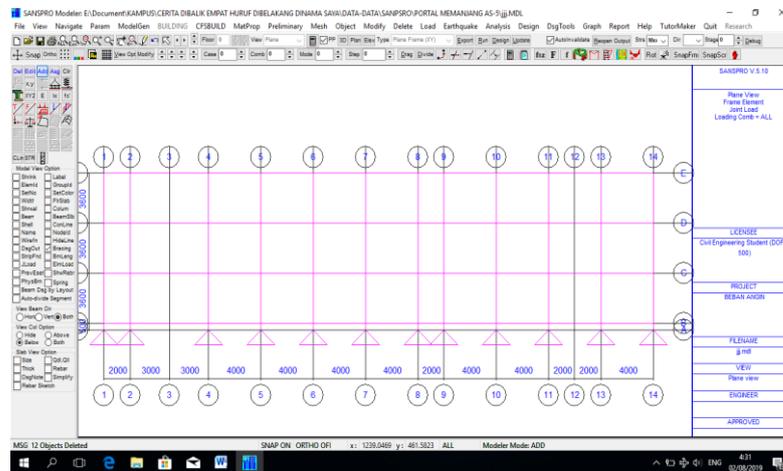
Gambar 2.17 Tabel ELSET

- h. Kemudian Lakukan Penggambaran Struktur. Klik ikon  klik ikon  lakukan penggambaran.



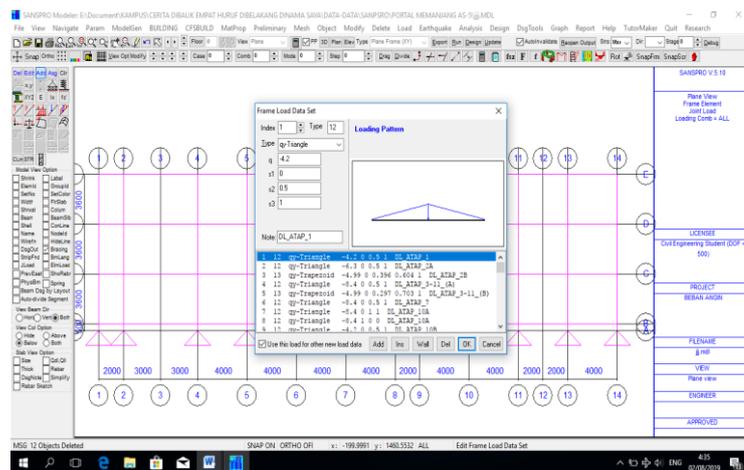
Gambar 2.18 Penggambaran Struktur

- i. Pilih tumpuan yang akan digunakan pada permodelan klik  klik  lakukan untuk semua tumpuan.



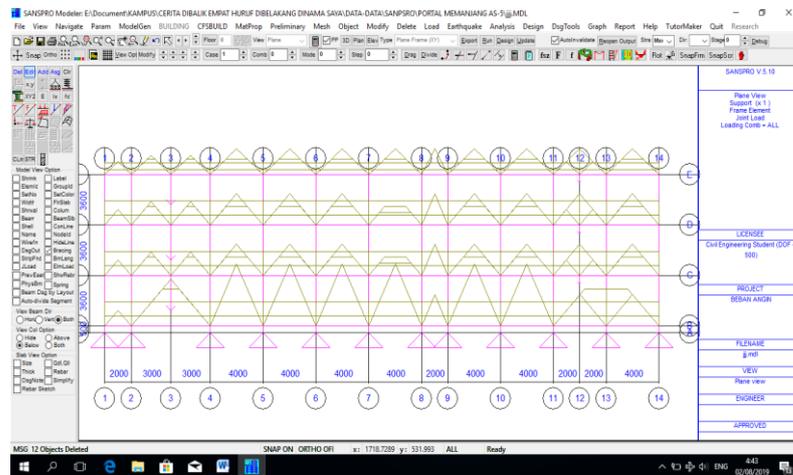
Gambar 2.19 Memulih Tumpuan yang Digunakan

- j. Memasukkan pembebanan yang akan membebani struktur pada tabel pembebanan. Klik , klik  setelah kotak dialog *Frame Load Data Set* muncul, masukkan semua beban yang membebani struktur.



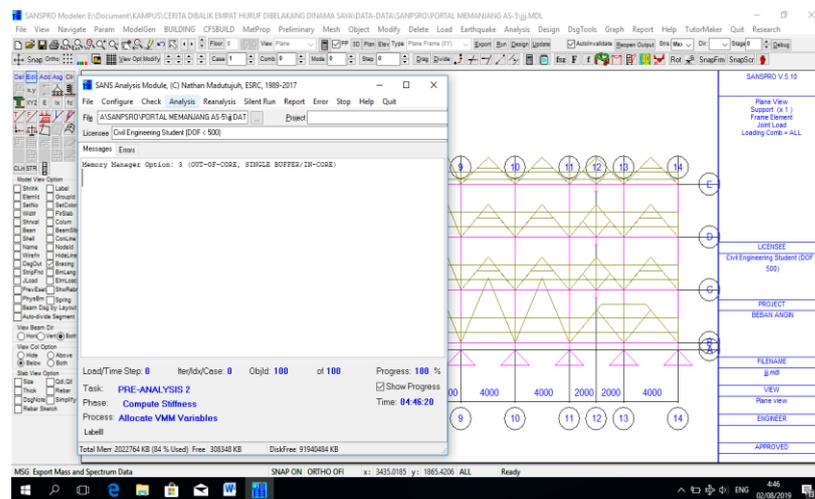
Gambar 2.20 Memasukkan Beban pada Tabel Pembebanan

- k. Tambah beban yang ada pada tabel pembebanan ke dalam struktur sesuai beban yang akan dipikul. Klik  (untuk beban merata) /  (untuk beban terpusat) klik  kemudian pilih beban yang akan ditambahkan, lakukan hingga seluruh struktur menerima beban masing – masing.



Gambar 2.21 Menambahkan Beban Pada Struktur

1. Menganalisis hasil perhitungan momen dengan cara klik menu *Analysis – Analysis Menu*. Kemudian SANSIRO analysis akan muncul lalu klik *Analysis* untuk memulai analisis.



Gambar 2.22 Menganalisis Hasil Perhitungan Pada SANSIRO..

A. Perencanaan Balok Induk

Balok induk merupakan penyangga Struktur utama pada bangunan yang secara fisik mengikat kolom-kolom utama bangunan. Seluruh gaya-gaya yang bekerja pada balok ini akhirnya didistribusikan ke pondasi melalui kolom bangunan.

Langkah perhitungan balok induk sama seperti balok anak, yang membedakan hanya data momen lentur yang dihitung berdasarkan data gaya dalam dari perhitungan portal pada program SANSPRO. Adapun langkah-langkah perhitungan balok induk adalah sebagai berikut :

1. Menentukan dimensi balok
2. Menentukan mutu beton dan baja yang akan digunakan
3. Menghitung pembebanan pada balok induk untuk kemudian diproses di SANSPRO untuk mendapatkan data gaya dalamnya
4. Menentukan momen dan gaya geser maksimum
5. Melakukan perhitungan balok bertulang tunggal dan rangkap untuk mengetahui apakah balok butuh tulangan tekan atau tidak
6. Menghitung tulangan tekan dan tarik yang dibutuhkan
7. Menghitung Penulangan geser.

B. Perencanaan Kolom

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (degan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih. Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai atau atap dan menyalurkannya ke pondasi. Pada struktur bangunan gedung beton bertulang, balok, pelat dan kolom umumnya dicor secara monolit, sehingga akan menimbulkan momen lentur pada kolom akibat kondisi tumpuan ujung. Di samping itu pada bangunan bertingkat tidak memungkinkan untuk menjamin kevertikalan kolom secara sempurna, dan akibatnya akan muncul beban yang eksentris terhadap pusat dari penampang kolom. Beban eksentris ini akan menimbulkan momen lentur (Setiawan, 2016 : 144).

Proses analisis dan desain untuk elemen kolom harus dipertimbangkan beberapa faktor bila kolom termasuk dalam kategori kolom panjang. Beberapa faktor lain yang turut mempengaruhi proses elemen kolom panjang adalah tinggi/panjang kolom, ukuran penampang, rasio kelangsingan dan kondisi tumpuan ujung.

Analisa kolom pada laporan akhir ini menggunakan metode *Resiprokal Bresler* yang mempertimbangkan eksentrisitas dua arah dengan mengasumsikan kolom terjadi keruntuhan tekan. Adapun langkah-langkah analisis kolom pendek sebagai berikut :

- 1) Menentukan nilai beban tekan ultimit kolom (P_u) pada saat lentur dua arah terjadi. Nilai P_u yang diambil adalah nilai P_u kombinasi dari tiap batang kolom dikurangi berat batang kolom yang ditinjau.
- 2) Menghitung nilai eksentrisitas (e_x dan e_y) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

- 3) Lakukan desain awal penampang kolom dengan menggunakan grafik untuk mendapatkan rasio (ρ_g) 1%-8% sehingga didapat

$$A_{st} = \rho_g \cdot b \cdot h$$

- 4) Periksa Kelangsingan Penampang dan Faktor Ketahanan Ujung,
- 5) Menghitung kekakuan kolom (EI), beban tekuk euler (P_c)

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

Atau

$$EI = \frac{0,4 E_c I_g}{1 + \beta_{dns}}$$

Keterangan :

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

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

I_g = Momen inersia bruto penampang terhadap sumbu yang ditinjau

I_{se} = Momen inersia tulangan baja

Untuk portal bergoyang nilai β_{dns} dapat diambil sama dengan nol. Untuk portal tidak bergoyang menggunakan rumus :

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

$$P_c = \frac{\pi^2 EI_k}{(k \cdot lu)^2}$$

- 6) Menghitung faktor perbesaran momen δ_{ns}

Faktor perbesaran momen untuk portal tidak bergoyang :

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

Faktor perbesaran momen untuk portal bergoyang :

$$\delta_s = \frac{1}{\frac{1 - \Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1,0$$

$$\Sigma P_u = n_{\text{Interior}} (P_u) + \frac{2}{3} n_{\text{Eksterior}} (P_u) + \frac{1}{3} n_{\text{sudut}} (P_u)$$

$$\Sigma P_c = (n_{\text{Interior}} \cdot P_c) + (n_{\text{Eksterior}} + n_{\text{sudut}}) \cdot P_c$$

- 7) Menghitung M_c (Momen rencana yang diperbesar)

Portal tidak bergoyang

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \text{ (dengan } M_2 \text{ adalah momen ujung terfaktor yang terbesar)}$$

Portal bergoyang

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

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

Apabila momen ujung M_2 lebih besar dari M_1 yang dihasilkan dari analisis struktur, maka momen yang digunakan untuk desain kolom adalah adalah :

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

- 8) Menentukan kapasitas beban P_{nx} terhadap sumbu x yang bekerja dengan eksentrisitas e_y . Analisa akan dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut:

- a) Analisa untuk keadaan seimbang

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y}$$

$$a_b = \beta_1 c_b$$

$$f'_s = 600 \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right)$$

Jika $f'_s > f_y$ maka $f'_s = f_y = 400 \text{ Mpa}$

Selanjutnya menghitung gaya-gaya yang bekerja pada penampang kolom:

$$C_c = 0,85f'_c a_b b$$

$$T = A_s f_y$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85f'_c)$$

$$\text{Maka nilai } P_{bx} = C_c + C_s - T$$

b) Periksa nilai e_y terhadap d , apabila $e_y < d$, maka asumsikan terjadi keruntuhan tekan kemudian lakukan analisa sebagai berikut :

(1) Analisa P_n dari kesetimbangan gaya dengan persamaan berikut :

$$P_n = C_c + C_s - T$$

Dengan :

$$C_c = 0,85f'_c a_b b$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85f'_c)$$

(asumsikan tulangan tekan sudah luluh)

$$T = A_s f_y \quad (f_s < f_y)$$

(2) Analisa P_n dengan mengambil jumlahan momen terhadap A_s dengan persamaan berikut :

$$P_n = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

Dengan $e' = e + d''$ (atau $e' = e + d - h/2$, jika $A_s = A'_s$).

(3) Asumsikan nilai c sehingga $c > c_b$. Hitung $a = \beta_1 c$. Asumsikan $f'_s = f_y$.

(4) Hitung nilai f_s berdasarkan asumsi nilai c dengan persamaan berikut :

$$f_s = \varepsilon_s E_s = 600 \left(\frac{d - c}{c} \right) \leq f_y$$

(5) Hitung nilai P_{n1} dan P_{n2} dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{n1} = C_c + C_s - T$$

$$P_{n2} = \frac{1}{e'} \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

Apabila P_{n1} cukup dekat dengan P_{n2} , maka nilai P_n diambil dari nilai terkecil antara P_{n1} dan P_{n2} atau rerata keduanya. Jika P_{n1} dan P_{n2} tidak cukup dekat, maka asumsikan nilai c dan a yang baru dan ulangi perhitungan hingga P_{n1} cukup dengan P_{n2} (kurang lebih 1%).

- (6) Periksa apakah tulangan tekan benar sudah luluh sesuai dengan asumsi semula, dengan menghitung ϵ'_s dan membandingkannya dengan ϵ_y . Bila $\epsilon'_s > \epsilon_y$ maka tulangan tekan sudah luluh. Jika belum luluh, maka f'_s dihitung sebagai berikut :

$$f_s = 600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) \leq f_y$$

- 9) Menentukan kapasitas beban P_{ny} terhadap sumbu y yang bekerja dengan eksentrisitas e_x . Analisa akan dilakukan dengan langkah – langkah yang sama seperti langkah sebelumnya.

Tentukan nilai P_0 dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_0 = 0,85 f'_c A_g + A_{st} (f_y - 0,85 f'_c)$$

- 10) Hitung P_n dengan menggunakan persamaan *Resiprokal Bresler* berikut:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_0}$$

Desain kolom dilakukan berdasarkan beban terfaktor, yang tidak boleh lebih besar daripada kuat rencana penampang, yaitu :

$$\phi M_n > M_u$$

$$\phi P_n > P_u$$

Dengan $\phi = 0,65$ untuk sengkang persegi dan $\phi = 0,75$ untuk sengkang spiral.

C. Perencanaan *Sloof*

Sloof adalah struktur bangunan gedung yang terletak diatas pondasi bangunan. Untuk ukuran lebar serta tinggi *sloof* beton bertulang adalah lebih dari 15/20 cm. Jenis dari konstruksi beton bertulang ini posisinya ada pada lantai 1 atau pun orang-orang yang biasa menyebutnya sebagai lantai dasar. Ini sebabnya kenapa kita sangat jarang sekali melihat bentuk *sloof* pada saat bangunan sudah berdiri tegak, meskipun bentuk *sloof* tersebut tak terlihat, akan tetapi fungsi dari *sloof* akan sangat dibutuhkan sekali di dalam suatu bangunan.

Fungsi *sloof* sangat penting dalam struktur, diantaranya sebagai penahan beban yang ada di atasnya seperti dinding, jendela, kusen untuk di salurkan ke ujung-ujungnya atau ke bagian pondasi sehingga pondasi tidak langsung menerima beban dari atas. Selain itu *sloof* juga memiliki fungsi sebagai berikut:

1. Menerima beban dari bagian bangunan diatasnya, seperti pasangan dinding, pintu, jendela, dan sejenisnya.
2. Meratakan beban yang diterima dari bangunan diatasnya untuk kemudian disalurkan menuju pilecap.
3. Sebagai pengikat antar kolom sehingga struktur bangunan menjadi kaku dan aman terhadap goncangan akibat angin, gempa, dan lain-lain.

Adapun langkah-langkah perhitungan *Sloof* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan dimensi *sloof*.
2. Menentukan mutu beton, dan baja yang akan digunakan
3. Menghitung pembebanan pada *sloof* untuk kemudian di proses menggunakan program SANSPRO untuk mendapatkan data gaya dalamnya.
4. Menentukan momen dan gaya geser maksimum berdasarkan hasil analisa menggunakan program SANSPRO.
5. Melakukan perhitungan struktur pada *sloof*.
6. Menghitung tulangan tekan dan tarik yang dibutuhkan.
7. Menghitung penulangan geser.

2.4.5 Perencanaan Pondasi

Pondasi merupakan struktur bawah dari suatu bangunan yang bertugas untuk memikul bangunan di atasnya. Seluruh muatan (beban) dari bangunan, termasuk beban yang bekerja pada bangunan dan berat pondasi sendiri, harus dipindahkan atau diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar dengan sebaik-baiknya.

Karena pondasi harus memikul bangunan beserta beban-beban yang bekerja pada bangunan, maka dalam perencanaan pondasi harus diperhitungkan dengan cermat terhadap 2 macam beban, yaitu beban gravitasi dan beban latera. Jenis pondasi dibagi menjadi 2 yaitu :

1. Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal biasanya dibuat dekat dengan permukaan tanah, umumnya kedalaman pondasi didirikan kurang $1/3$ dari lebar pondasi sampai dengan kedalaman kurang dari 3m. Kedalaman pondasi dangkal ini bukan aturan yang baku, tetapi merupakan sebagai dari pedoman pada dasarnya, permukaan pembebanan atau kondisi permukaan lainnya akan mempengaruhi kapasitas daya dukung pondasi dangkal.

Pondasi dangkal biasanya digunakan ketika tanah permukaan yang cukup kuat dan kaku untuk mendukung beban yang dikenakan dimana jenis struktur yang didukungnya tidak terlalu berat dan tidak terlalu tinggi, pondasi dangkal umumnya tidak cocok dalam tanah kompresif yang lemah atau sangat buruk, seperti tanah urug dengan kepadatan yang sangat buruk, pondasi dangkal juga tidak cocok untuk jenis tanah gambut, lapisan tanah muda dan jenis tanah deposito aluvial.

Apabila kedalaman alas pondasi (D_f) dibagi lebar terkecil alas pondasi (B) kurang dari 4, ($D_f/B < 4$) dan apabila letak tanah baik (kapasitas dukung ijin tanah $> 2,0 \text{ kg/cm}^2$) relatif dangkal (0,6-2,0 m) maka digunakan pondasi ini. Pondasi dangkal juga digunakan apabila bangunan yang beada di atasnya tidak terlalu besar. Rumah sederhana

misalnya pondasi ini juga bisa dipakai untuk bangunan umum lainnya yang berada diatas tanah yang keras.yang termasuk pondasi dangkal adalah sebagai berikut :

a. Pondasi Tapak (Pad Foundaions)

Pondasi tapak digunakan untuk mendukung beban titik individual seperti kolom struktural. Pondasi pad ini dapat dibuat dalam bentuk bukatan (melingkar), prsegi atau rectangular. Jenis pondasi ini biasanya biasanya terdiri dari lapisan beton bertulang dengan ketebalan yang seragam, tetapi pondasi pad dapat juga dibuat dalam bentuk bertingkat atau haundched jika pondasi ini dibutuhkan untuk menyebarkan beban dari kolom berat. Pondasi tapak disamping diterapkan dalam pondasi dangkal dapat juga digunakan untuk pondasi dalam

b. Pondasi Jalur atau Pondasi Memanjang (Strip Foundations)

Pondasi jalur/pondasi memanjang (kadang disebut juga pondasi menerus) adalah jenis pondasi yang digunakan untuk mendukung beban memanjang atau beban garis, baik untk mendukung beban dinding atau beban kolom dimana penempatan kolom jarak yang dekat dan fungsional kolom tidak terlalu mendukung beban berat sehingga pondasi tapak tidak terlalu dibutuhkan. Pondasi jalur/pondasi memanjang biasanya dapat dibuat dalam bentuk memanjang dengan potongan persegi maupun trapesium. Biasanya digunakan untuk pondasi dinding maupun kolom praktis. Bahan untuk pondasi ini dapat menggunakan pasangan batu pecah, batu kali, cor beton tanpa tulangan dan dapat juga menggunakan pasangan batu bata dengan catatan tidak mendukung beban stuktural.

c. Pondasi Tikar (Raft Foundations)

Pondasi tikar/pondasi raft digunakan untuk menyebarkan beban dari struktur atas area yang luas, biasanya dibuat untuk seluruh area struktur. Pondasi raft digunakan untuk ketika beban kolom

atau beban struktural lainnya berdekatan dan pondasi pada saling berinteraksi. Pondasi raft biasanya terdiri dari pelat beton bertulang yang membentang pada luasan yang ditentukan. Pondasi raft memiliki keunggulan mengurangi setempat dimana pelat beton akan mengimbangi gerakan diferensial antara posisi beban. Pondasi raft sering dipergunakan pada tanah lunak atau longgar dengan kapasitas daya tahan rendah karena pondasi raft dapat menyebarkan beban di area yang lebih besar.

d. Pondasi Rakit

Pondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk mengantar permukaan dari satu atau lebih kolom didalam beberapa garis/beberapa jalur dnegan tanah. Digunakan ditanah lunak atau susunan jarak kolomnya sangat dekat disemua arahnya, bila memakai telapak, sisinya berhimpit satu sama lain

2. Pondasi Dalam

Pondasi dalam adalah pondasi yang didirikan permukaan tanah dengan kedalam tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah, pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3m dibawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang, dinding pancang dan caissons atau pondasi kompensasi.

Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban kelapisan yang lebih dalam untuk mencapai kedalam yang tertentu sampai didapat jenis tanah yang mendukung daya beban struktur bangunan sehingga jenis tanah yang dapat cocok didekat permukaan tanah dapat dihindari.

Apabila lapisan atas berupa tanah lunak dan terdapat lapisan tanah yang keras yang dalam maka dibuat pondasi tiang pancang yang keras ($D_f/B > 10 \text{ m}$), tiang-tiang tersebut disatukan oleh poer/pile ca.

Pondasi ini juga dipakai pada bangunan dengan bentang yang cukup lebar (jarak antar kolom 6m) dan bangunan bertingkat. Jenis-jenis pondasi dalam sebagai berikut :

a. Pondasi Bore Pile

Pondasi Bore Pile adalah bentuk pondasi dalam yang dibangun di dalam permukaan tanah, pondasi di tempatkan sampai ke dalaman yang dibutuhkan dengan cara membuat lobang dengan sistim pengeboran atau pengerukan tanah. Setelah kedalaman sudah didapatkan kemudian pondasi pile dilakukan dengan pengecoran beton bertulang terhadap lobang yang sudah di bor. Sistim pengeboran dapat dilakukan dalam berbagai jenis baik sistim maual maupun sistim hidrolik.

Besar diameter dan kedalaman galian dan juga sistim penulangan beton bertulang didesain berdasarkan daya dukung tanah dan beban yang akan dipikul. Fungsional pondasi ini untuk menahan beban struktur melawan gaya angkat dan juga membantu struktur dalam melawan kekuatan gaya lateral dan gaya guling

b. Pondasi Tiang Pancang

Pada dasarnya sama dengan bore pile, hanya saja yang membedakan bahan dasarnya. Tiang pancang menggunakan beton jadi yang langsung ditancapkan langsung ketanah dengan menggunakan mesin pemancang mesin pemancang. Karena ujung tiang pancang lancip menyerupai paku oleh karena itu tiang pancang tidak memerlukan proses pengeboran. Pondasi tiang pancang dipergunakan pada tanah-tanah lembek, tanah berawa, dengan kondisi daya dukung tanah (σ tanah) kecil, kondisi air tanah dan keras pada posis sangat dalam. Bahan untuk pondasi tiang pancang adalah : bamboo, kayu besi/ kayu ulin, baja dan beton bertulang.

b. Pondasi Piers (Dinding Diafragma)

Pondasi piers adalah pondasi untuk meneruskan beban berat struktural yang dibuat dengan cara melakukan penggalian dalam, kemudian struktur pondasi pier dipasangkan kedalam galian tersebut. Satu keuntungan pondasi piers adalah bahwa pondasi jenis ini lebih murah dibandingkan dengan membangun pondasi dengan jenis pondasi menerus, hanya kerugian yang dialami adalah jika lempengan pondasi yang sudah dibuat mengalami kekurangan ukuran maka kekuatan jenis pondasi tidak normal. Pondasi piers standar dapat dibuat dari beton bertulang pre cast. Karena itu, aturan perencanaan pondasi piers terhadap balok beton diafragma adalah direncanakan. Pondasi piers dapat divisualisasikan sebagai bentuk tabel, struktur adalah sistem kolom vertikal yang terbuat dari beton bertulang ditempatkan dibawah bangunan yang ditanamkan dibawah tanah yang sudah digali. Lempengan beton diafragma ini mentransfer beban bangunan terhadap tanah. Balok dibangun diatas dinding diagrama vertikal (pondasi pier) yang menahan dinding rumah atau struktur. Banyak rumah didukung sepenuhnya dengan jenis pondasi ini, dimana beton yang dipasang juga berguna sebagai dinding pada ruang bawah tanah, dimana ruang tersebut digunakan sebagai gudang penyimpanan atau taman. Beton pondasi pier biasanya dalam bentuk precast dalam berbagai ukuran dan bentuk, dimana sering dijumpai dalam bentuk persegi memanjang dengan ketinggian sesuai dengan ukuran kedalaman yang diperlukan. Tapi beton dapat juga dibuat dalam bentuk bulatan. Setelah beton bertulang cukup kering kemudian dimasukkan kedalam tanah yang sudah digali dan disusun secara bersambungan. Setelah tersusun dengan baik kemudian baru dilanjutkan dengan konstruksi diatasnya.

Adapun beberapa syarat yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pondasi, antara lain:

- a. pondasi harus cukup kuat untuk mencegah penurunan (*settlement*) dan perputaran (rotasi) yang berlebihan.
- b. Tidak terjadi penurunan setempat yang terlalu besar bila dibandingkan dengan penurunan pondasi di dekatnya
- c. Cukup aman terhadap bahaya longsor
- d. Cukup aman terhadap bahaya guling

Perencanaan pondasi tiang beton harus menentukan:

1. Beban izin dan panjang pondasi untuk tiang pancang beton yang ditentukan adalah:

$$\text{Beban izin} = 30 - 50 \text{ ton}$$

$$\text{Panjang pondasi} = 15 - 18 \text{ m}$$

2. Daya dukung pondasi tiang pancang
 - a. Bila tiang pancang dipancangkan masuk kedalam tanah sampai mencapai lapisan tanah keras dan daya dukungnya ditekankan pada tahanan ujung tiang maka disebut pondasi tiang pancang dengan daya dukung ujung atau *end bearing pile* atau *point bearing pile*.
 - b. Bila tiang pancang dipancangkan tidak mencapai lapisan tanah keras dan untuk menahan beban dipikul oleh tahanan yang ditimbulkan oleh gesekan antara tiang dengan tanah, maka disebut pondasi tiang pancang dengan daya dukung gesek atau *friction bearing pile*.

Langkah-langkah perencanaan pondasi tiang pancang:

1. Menentukan daya dukung izin tanah melalui perhitungan dengan berdasarkan data-data yang ada sebagai berikut :
 - Berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang :

$$Q_{tiang} = 0,3 \times f'_c \times A_{tiang}$$
 - Berdasarkan ketahanan tanah

$$Q_{izin} = \frac{NK \times A_b}{F_b} + \frac{JHP \times o}{F_s}$$

Dimana:

NK : Nilai konus

\overline{JHP} : Jumlah Hambatan pekat

A_b : Luas tiang (m²)

F_b : Faktor keaman daya dukung ujung = 3

F_s : Faktor keaman daya dukung gesek = 3

2. Menentukan jumlah tiang pancang

$$N = \frac{P_{total}}{Q}$$

3. Menentukan jarak antar tiang

Apabila setelah dilakukan perhitungan jumlah tiang pancang langkah-langkah perencanaan selanjutnya adalah menentukan jarak antar masing-masing tiang pancang.

$$S = 2,5d - 3d$$

Dimana:

d = ukuran pile (tiang)

S = Jarak antar tiang

4. Menentukan efisiensi kelompok tiang (Eq)

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

Dimana :

Eq= efisiensi kelompok tiang

θ = arc tg $\frac{d}{s}$ (derajat)

d = ukuran tiang (m)

s = jarak tiang (m)

m = jumlah baris tiang dalam kelompok tiang

n = jumlah kolom tiang dalam kelompok tiang

5. Menentukan kemampuan tiang pancang terhadap sumbu x dan y.

$$P = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot x_{max}}{n_y \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_{max}}{n_y \sum y^2}$$

Dimana:

P : Beban yang diterima oleh tiang pancang

$\sum V$: Jumlah total beban

M_x : Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x

M_y : Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y

n : Banyak tiang pancang dalam kelompok tiang (*pile group*)

x_{max} : Absis terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang pancang

y_{max} : Ordinat terjauh tiang pancang terhadap titik berat kelompok tiang pancang

n_y : Banyak tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu y

n_x : Banyak tiang pancang dalam satu baris dalam arah sumbu x

$\sum x^2$: Jumlah kuadrat absis – absis tiang pancang

$\sum y^2$: Jumlah kuadrat ordinat – ordinat tiang pancang

Kontrol kemampuan tiang pancang:

$$P_{izin} = \frac{P}{n}$$

$$P_{izin} < P$$

6. Penulangan tiang pancang

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan.

a. Tulangan pokok tiang pancang

$$k = \frac{M_{max}}{\phi \cdot b \cdot d_{eff}^2} \text{ , didapat nilai } \rho \text{ dari tabel istimewa}$$

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

Keterangan :

b = ukuran tiang

d_{eff} = tinggi efektif

Mencari jumlah tulangan :

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi d^2} \quad , d = \text{diameter tulangan}$$

b. Tulangan geser tiang pancang

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f_c}}{6} \right) \times b_w \times d$$

$V_u < \phi V_c$ (perlu tulangan geser)

Dasar perencanaan tulangan geser adalah $V_u \leq \phi V_n$

Dimana :

$$V_n = V_c + V_s \quad , \text{ sehingga } V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

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

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{1}{2} d_{\text{eff}}$$

Keterangan :

V_c = kuat geser nominal yang diberikan beton

V_u = kuat geser terfaktor yang bekerja pada penampang beton

V_n = kuat geser nominal

V_s = kuat geser nominal yang diberikan tulangan geser

A_v = luas penampang tulangan geser total

$A_v = 2 \cdot A_s$, A_s = luas penampang tulangan sengkang

d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

7. Perhitungan pile cap

Pile cap merupakan bagian yang mengikat dan mengunci posisi tiang pancang. Langkah-langkah perencanaan *pile cap* adalah sebagai berikut :

1) Hitung Beban terfaktor yang dipakai oleh kolom. Maka

$$P_u = 1,2 P_D + 1,6 P_L$$

Sehingga

$$V_u = \frac{P_u}{\text{Jumlah Tiang pancang}}$$

2) Periksa terhadap geser dua arah dan tebal Pile Cap

a. Geser dua arah di sekitar kolom

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

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

- $V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c}\right)\lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$
- $V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2\right)\lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$
- $V_{c3} = 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$

Maka :

$$\phi V_n = 0,75 V_n > V_u$$

b. Geser dua arah di sekitar tiang pancang

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

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

- $V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c}\right)\lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$
- $V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_0} + 2\right)\lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$
- $V_{c3} = 0,33 \lambda \cdot \sqrt{f'c} b_0 d$

Maka :

$$\phi V_n = 0,75 V_n > V_u$$

3) Geser Satu arah tidak terlalu menentukan keruntuhan geser, karena tiang pancang berada di dalam daerah kritis peninjauan terhadap geser satu arah yang terletak sejarak d dari muka kolom.

4) Desain terhadap lentur. Nilai momen lentur yang digunakan untuk mendesain penulangan *Pile cap* diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom di masing-masing arah

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0,85 f'c}{fy} \left[\sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f'c}} \right]$$

$$As \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$As \text{ min} = 0,0018 \cdot b \cdot h$$

5) Dengan menggunakan tabel tulangan, pilih tulangan yang akan dipasang.

2.5 Manajemen proyek

2.5.1 Rencana kerja dan syarat-syarat (RKS)

Rencana kerja dan syarat-syarat 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 melaksanakan pekerjaan yang akan dilakukan nantinya.

2.5.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Tujuan rencana anggaran biaya (RAB) adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai bentuk konstruksi, besar biaya dan pelaksanaan atau penyelesaian.

2.5.3 Rencana Pelaksanaan

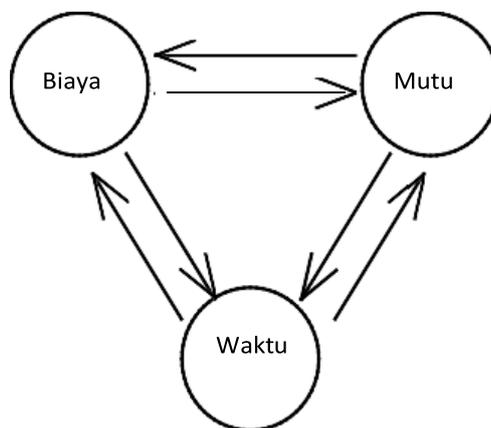
a. *Network Planning* (NWP)

Dalam menyelesaikan pekerjaan konstruksi dibutuhkan suatu perencanaan waktu yang akan diperlukan untuk menyelesaikan tiap pekerjaan yang akan dilaksanakan.

Network Planning juga merupakan suatu alat pengendalian pekerjaan di lapangan yang ditandai dengan simbol-simbol tertentu berupa urutan pekerjaan dalam suatu proyek kegunaan dari *Network Planning* adalah sebagai berikut:

- 1) Mengkoordinasi antar satu kegiatan dengan kegiatan yang lainnya
- 2) Mengetahui ketergantungan antara satu kegiatan dengan kegiatan lainnya
- 3) Mengetahui pekerjaan yang harus diselesaikan terlebih dahulu
- 4) Mengetahui berapa lama proyek dapat diselesaikan

Pengendalian proyek konstruksi ini juga diharapkan 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, seperti terlihat pada gambar 2.24 di bawah ini.



Gambar 2.23 Siklus Biaya, Mutu dan Waktu (BMW)

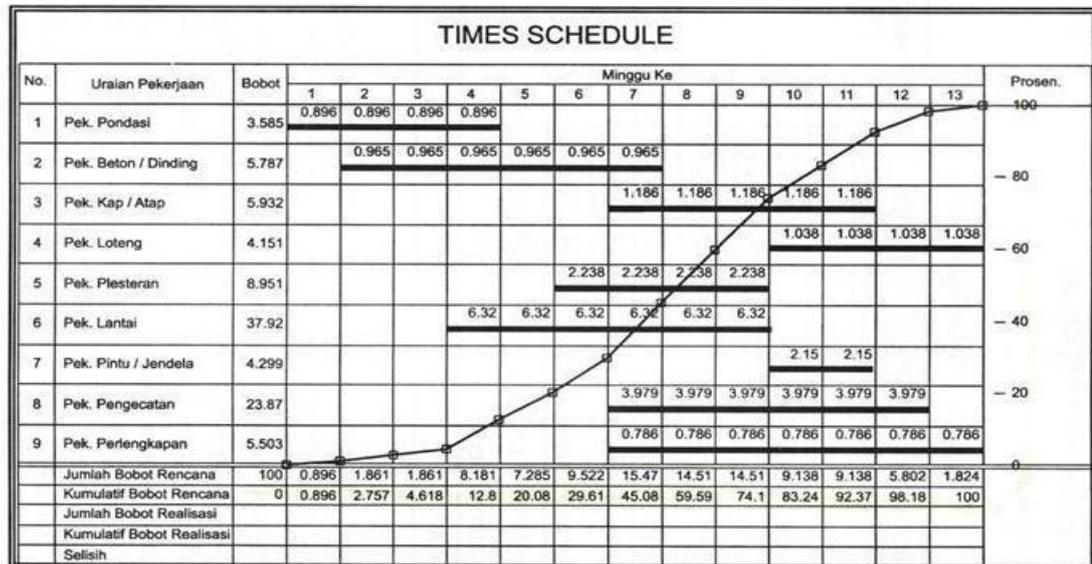
Ilustrasi siklus di atas menunjukkan bahwa apabila biaya proyek berkurang/dikurangi, sementara waktu pelaksanaan tetap maka secara otomatis anggaran belanja material akan dikurangi dan mutu pekerjaan akan berkurang. Secara umum proyek akan merugi. Akan tetapi, jika waktu pelaksanaan mundur/terlambat, 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 3 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.

b. Barchart dan Kurva S

Barchart merupakan diagram batang yang secara sederhana dapat menunjukkan informasi rencana jadwal proyek beserta durasinya, menguraikan tentang uraian setiap pekerjaan mulai dari tahap awal sampai berakhirnya pekerjaan, bobot pekerjaan dan pelaksanaan pekerjaan. Sedangkan kurva S dibuat berdasarkan bobot setiap pekerjaan dari awal sampai berakhirnya pekerjaan. Bobot pekerjaan merupakan persentase yang didapatkan dari perbandingan harga pekerjaan dan harga total keseluruhan dari jumlah penawaran.



Gambar 2.24 Contoh gambar *barchart* dan kurva S