

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Uraian Umum

Perencanaan struktur adalah suatu proses desain berdasarkan peraturan-peraturan yang berlaku di Indonesia. Perencanaan struktur dilakukan untuk menghasilkan suatu gedung yang kuat, aman, ekonomis dan sesuai standart yang berlaku sehingga dapat digunakan sebagaimana fungsinya.

Secara umum, struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas berupa plat lantai, balok dan kolom serta struktur bagian bawah berupa pondasi dan *sloof*. Struktur gedung dirancang untuk memberikan jaminan keselamatan penghuni gedung, maka dari itu gedung yang direncanakan harus memenuhi standart.

Dalam perencanaan struktur umumnya ada 3 hal utama yang harus diperhatikan :

- a. Keamanan dari struktur untuk memikul beban-beban layan dengan baik. Hal ini dapat dicapai dengan menyediakan kuat rencana kompeten struktur yang mencukupi.
- b. Lendutan dari komponen struktur akibat beban layan. Lendutan yang dapat terjadi pada suatu komponen struktur pada umumnya dibatasi oleh suatu nilai yang besarnya ditentukan oleh panjang bentang komponen struktur tersebut.
- c. kontrol terhadap lebar letak yang terjadi akibat beban layan. Retak yang terjadi pada struktur akan mengurangi penampilan dari struktur tersebut, disamping itu adanya retak akan memungkinkan udara masuk ke dalam beton dan menyebabkan korosi pada baja tulangan, yang pada akhirnya akan menurunkan kekuatan dari komponen tersebut. SNI 2847:2019 lebar retak dalam struktur sangat bervariasi.

2.2 Ruang Lingkup Perencanaan

Sebelum melakukan perencanaan bangunan, langkah awal yang dilakukan yaitu perencanaan gambar bangunan oleh seorang arsitek. Arsitek mendesign bangunan sesuai dengan keinginan pemilik (*owner*). Setelah gambar design disetujui oleh pemilik, selanjutnya dilakukan perencanaan struktur yang mampu menjamin keamanan dan stabilitas struktur tersebut.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Perencanaan bangunan gedung terdiri dari dua bagian, yaitu :

a. Struktur Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas merupakan seluruh elemen struktur yang terletak diatas muka tanah. Adapun Perhitungan perencanaan struktur bangunan atas meliputi:

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

b. Struktur Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Struktur bawah merupakan elemen struktur yang berada dibawah muka tanah. Adapun Perhitungan perencanaan struktur bangunan bawah meliputi:

- 1) Perhitungan *sloof*
- 2) Perhitungan pondasi

Ruang lingkup dari perencanaan bangunan Gedung Kuliah I Lahan Kampus Baru Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang Sumatera Selatan ini meliputi beberapa tahapan yaitu persiapan, studi kelayakan, perencanaan bangunan, perhitungan struktur, perhitungan biaya dan penjadwalan kerja yang diwujudkan melalui *Network Planning* (NWP) dan Kurva S.

2.3 Dasar-Dasar Perencanaan

Dalam menyelesaikan perhitungan perencanaan pembangunan Gedung Kuliah I Lahan Kampus Baru Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang Sumatera Selatan, penulis berpedoman pada peraturan yang dibuat oleh Badan Standarisasi Nasional yang berlaku di Indonesia dan berbagai jenis buku, diantaranya yaitu:

- a. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 2847:2019

Pada pedoman ini berisikan persyaratan-persyaratan umum serta ketentuan-ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur beton untuk bangunan gedung sebagai pedoman dalam perencanaan dan pelaksanaan untuk mendapatkan struktur yang aman.

- b. Beban design minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727:2020

Pada pedoman ini berisikan pembebanan yang diizinkan untuk perencanaan bangunan gedung dan memuat beban-beban yang harus diperhitungkan dalam konstruksi bangunan.

- c. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)

Dalam peraturan ini berisikan peraturan-peraturan pembebanan untuk perencanaan bangunan dan memuat ketentuan-ketentuan beban yang diizinkan dalam perhitungan konstruksi bangunan gedung.

- d. Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013 oleh Agus Setiawan

Buku ini berisi dasar-dasar pengertian sistem struktur beton bertulang dan ketentuan komponen struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2013 serta perhitungan untuk konstruksi beton.

- e. Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang oleh W.C. Vis dan Gideon Kusuma

Buku ini memuat pengertian-pengertian umum dan perhitungan gaya yang terjadi pada konstruksi beton. Buku ini juga berisi penjelasan

mengenai grafik dan tebal pelat ataupun kolom yang digunakan dalam perhitungan struktur beton bertulang.

2.4 Klasifikasi Pembebanan

Pembebanan pada struktur merupakan salah satu yang terpenting dalam perencanaan sebuah gedung. Kesalahan dalam perencanaan beban atau penerapan beban pada perhitungan akan mengakibatkan kesalahan yang fatal pada hasil desain bangunan tersebut. Untuk itu sangat penting bagi kita untuk merencanakan perhitungan pembebanan secara baik dan matang agar bangunan yang didesain nantinya akan aman pada saat dibangun akan digunakan sesuai fungsinya.

Besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku, beberapa jenis beban yang sering dijumpai antara lain :

a. Beban Mati atau *Dead Load* (D)

Berdasarkan SNI 1727:2020, 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 structural lainnya serta peralatan lain terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material.

Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau didalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil menurut **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung

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	2.200 kg/m ³
Beton bertulang	2.400 kg/m ³
Kayu (Kelas I)	1.000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, 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 lembab)	1.600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1.800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11.400 kg/m ³

Komponen Gedung :

Adukan, per cm tebal :	
- Dari semen	21 kg/m ²
- Dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- Satu batu	450 kg/m ²
- Setengah batu	250 kg/m ²

Dinding pasangan batako :	
Berlubang :	
- Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang :	
- Tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- Tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari :	11 kg/m ²
- Semen asbes (eternity dan bahan lian sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	10 kg/m ²
- Kaca, dengan tebal 3-5 mm	
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 mm dan jarak s.k.s. maksimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/taso. Per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m ²
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²

Sumber : PPIUG 1983

b. Beban Hidup Atau *Live Load* (L)

Berdasarkan SNI 1727:2020, Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Semua beban hidup yang memungkinkan dalam proses konstruksi perlu dipertimbangkan untuk memperoleh hasil perhitungan yang maksimal. Beban-beban yang perlu diketahui beratnya, harus berdasarkan aturan-aturan yang berlaku seperti yang disebutkan pada

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

Hunian atau penggunaan	Merata L_o psf (kN/m ²)	Terpusat Ib (kN)
Sistem lantai akses		
- Ruang kantor	50 (2,4)	2.000 (8,9)
- Ruang komputer	100 (4,79)	2.000 (8,9)
Ruang pertemuan		
- Kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Lobi	100 (4,79)	
- Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79)	
- Panggung pertemuan	100 (4,79)	
- Lantai podium	150 (7,18)	
- Tribun penonton stadion	100 (4,79)	
- Arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)	60 (2,87)	
- Ruang pertemuan lainnya	100 (4,79)	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak	

	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	
Dudukan 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 saat kebakaran - Hunian satu keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	
Tangga permanen		Lihat pasal 4.5.
Garasi/parkir (lihat pasal 4.10) - Mobil penumpang saja - Truk dan bus	40 (1,92) Lihat pasal 4.10.2	Lihat pasal 4.10.1 Lihat pasal 4.10.2
Pegangan tangga dan pagar pengaman	Lihat 4.5.1	Lihat 4.5.1

- Batang pegangan		Lihat 4.5.2
Perpustakaan		
- Ruang baca	60 (2,87)	1.000 (4,45)
- Ruang penyimpanan	150 (7,18)	1.000 (4,45)
- Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
Gedung perkantoran		
- Ruang arsip dan computer 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 di atas lantai pertama	80 (3,83)	2.000 (8,90)
Atap		
Atap datar, berhubung dan lengkung	20 (0,96)	
Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	
Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
Atap vegetatif dan atap lansekap		
- Atap bukan untuk hunian	20 (0,96)	
- Atap untuk tempat berkumpul	100 (4,79)	
- Atap untuk penggunaan	Sama dengan	

lainnya	penggunaan yang dilayani	
<i>Awning</i> dan kanopi		
- Atap konstruksi <i>fabric</i> yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24)	
Rangka penumpu layar penutup	5 (0,24)	200 (0,89)
Semua konstruksi lainnya Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja	Berdasarkan area tributari dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka 20 (0,96)	
- Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur utama pendukung atap diatas pabrik, gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel		200 (8,90)
- Semua komponen struktur atap utama lainnya		300 (1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja pemeliharaan		300 (1,33)

Sekolah		
- Ruang kelas	40 (1,92)	1.000 (4,45)
- Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1.000 (4,45)
- Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1,000 (4,45)
Scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit – langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk – truk	250 (11,97)	8.000 (35,60)
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 (1,33)
- Rumah tinggal untuk satu atau dua keluarga saja	40 (1,92)	300 (1,33)
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79)	

(Sumber : SNI 1727:2020)

2.5 Beton

Beton adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/batu pecah, semen serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton, yakni antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton. Sedangkan beton bertulang adalah kombinasi dari beton serta tulangan baja, yang bekerja Bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan

memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Selain itu tulangan baja juga mampu memikul beban tekan, seperti digunakan pada elemen kolom beton. (Setiawan, 2016:2)

Modulus elastisitas beton merupakan properti mekanik struktur beton yang sangat penting. Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 19.2.2 memberikan korelasi antara nilai modulus elastis beton dengan kuat tekan dan berat jenisnya. Dinyatakan bahwa :

- a. Untuk nilai w_c diantara 1400 dan 2560 kg/m³

$$E_c = w_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

- b. Untuk beton normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \text{ (MPa)}$$

2.6 Metode Perancangan Struktur

2.6.1 Pelat

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 (Setiawan, 2106). Pelat lantai pada umumnya dicor secara bersamaan dengan balok sehingga menjadi struktur yang monolit.

Pada umumnya struktur pelat beton dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu:

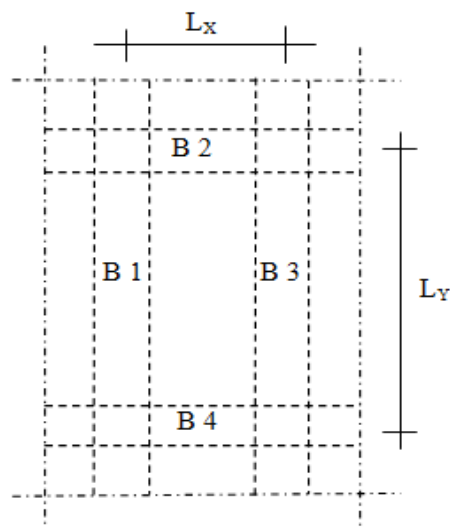
- a. Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Jika sistem pelat hanya ditumpu di kedua sisinya, maka pelat tersebut akan melentur atau mengala, I 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 ke empat

sisinya, dan rasio bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar atau sama dengan 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.

Ciri-cirinya adalah:

- Pelat ditumpu pada sisi yang saling berhadapan.
- Pelat persegi yang ditumpu pada dua sisinya dengan perbandingan antar sisi panjang pelat (l_y) dan sisi lebar pelat (l_x) > 2 atau secara matematis dapat ditulis $\frac{l_y}{l_x} > 2$.



Gambar 2. 1 Pelat Satu Arah

b. Pelat Dua Arah

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.

Sistem pelat dua arah sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berikut:

1. Sistem balok-pelat dua arah

Pada sistem struktur ini pelat ditumpu oleh balok di keempat sisinya. Beban dari pelat ditransfer ke keempat balok penumpu yang selanjutnya menstransfer bebannya ke kolom. Sistem pelat dua arah dengan balok ini dapat digunakan untuk bentangan 6-9 meter, dengan beban hidup sebesar 2,5-5,5 kN/m². Balok akan meningkatkan kekuatan pelat, sehingga lendutan yang terjadi akan relatif kecil.

2. Sistem slab *datar (flat slab)*

Ini merupakan sistem struktur pelat beton dua arah yang tidak memiliki balok penumpu di masing-masing sisinya. Beban pelat ditransfer langsung ke kolom. Kolom cenderung akan menimbulkan kegagalan geser pons pada pelat, yang dapat dicegah dengan beberapa alternatif:

- Memberikan penebalan setempat pada pelat (*drop panel*) serta menyediakan kepala kolom (*coloumn capital*).
- Menyediakan penebalan panel namun tanpa kepala kolom, panel di sekitar kolom harus cukup tebal untuk memikul terjadinya tegangan tarik diagonal yang muncul akibat geser pons.
- Menggunakan kepala kolom tanpa ada penebalan panel, namun hal ini jarang diaplikasikan Sistem slab datar dapat digunakan untuk bentangan 6-9 meter, dengan beban hidup sebesar 4-7 kN/m².

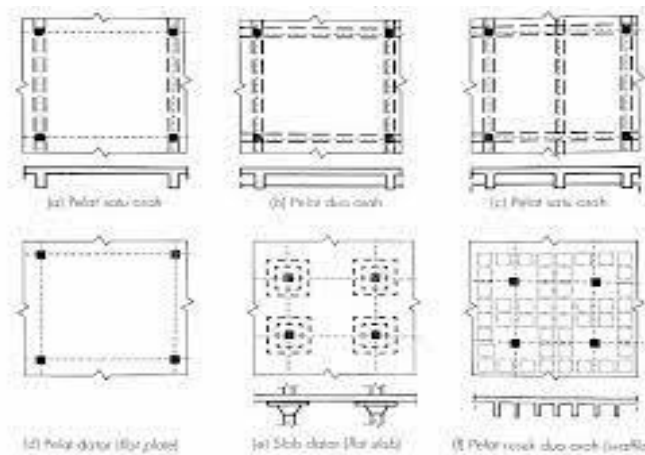
3. Sistem pelat datar (*flat plate*)

Sistem ini terdiri dari pelat yang tertumpu langsung ke kolom tanpa adanya penebalan panel dan kepala kolom. Potensi kegagalan struktur terbesar akan timbul akibat geser pons, yang akan menghasilkan tegangan tarik diagonal. Sebagai akibat tidak adanya penebalan panel dan kepala kolom, maka dibutuhkan ketebalan pelat yang lebih besar atau dengan memberikan penulangan ekstra di area sekitar kolom. Setiap slab datar dapat

digunakan untuk struktur pelat dengan bentangan 6-7,5 m dan beban hidup sebesar 2,5-4,5 kN/m².

4. Pelat dua arah berusuk dan pelat *waffle*

Ini merupakan sistem dua arah dengan ketebalan pelat antara 50 mm hingga 100 mm yang ditumpu oleh rusuk-rusuk dalam arah. Jarak antar rusuk anatar 500 mm 750 mm. Tepi-tepi pelat dapat ditopong balok, atau dapat juga pelat langsung menumpu pada kolom dengan memberikan penebalan pada pelat di sekitar kolom. Sistem pelat yang disebutkan terakhir sering disebut dengan istilah pelat *waffle*.



Gambar 2. 2 Jenis-jenis pelat dua arah

a) Desain Pelat Satu Arah

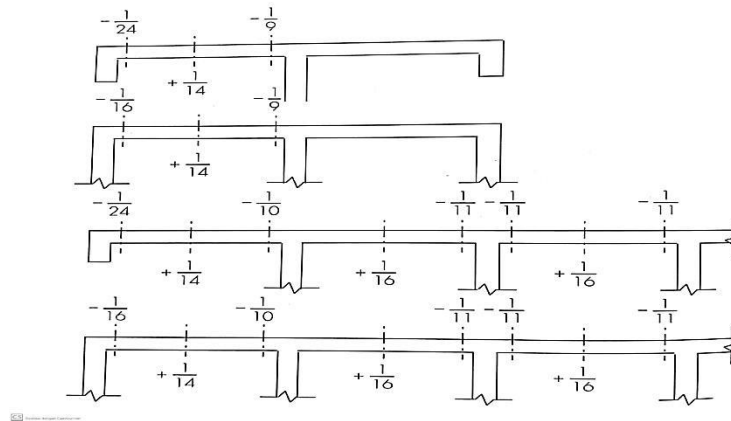
Pelat beton yang memiliki perbandingan panjang antara bentang panjang terhadap bentang pendek lebih atau sama dengan 2 dikategorikan sebagai pelat satu arah. Pada system pelat satu arah, hamper seluruh beban dilimpahkan dalam arah pendek. Desain pelat satu arah pada umumnya dapat dilakukan seperti halnya struktur balok yang dianggap memiliki lebar 1 m.

Jika pelat hanya terdiri dari satu bentangan saja, dengan anggapan tertumpu sederhana di kedua sisinya, maka momen lentur yang timbul akibat beban q yang terdistribusi merata adalah $M = qL^2/8$, dengan L adalah panjang bentang panjang antara kedua tumpuan. Bila pelat yang

sama tertumpu pada beberapa tumpuan, maka akan timbul momen positif dan momen negatif pada pelat yang dapat dihitung melalui prosedur analisis struktur, atau dapat juga menggunakan koefisien momen yang diberikan dalam SNI 2847:2019, Pasal 8.3.2. Nilai koefisien momen tersebut dapat digunakan jika:

1. Beda panjang bentang tidak terlalu jauh, dengan batasan panjang bentang tidak boleh melebihi 2,0 dari bentang pendek
2. Beban yang bekerja adalah beban merata
3. Beban hidup tidak melebihi 3 kali beban mati

Bila kondisi diatas tidak dipenuhi, maka harus dilakukan analisis struktur untuk menentukan momen-momen yang timbul pada struktur pelat menerus tersebut. Nilai koefisien momen seperti disyaratkan dalam SNI 2847:2019, Pasal 8.3.2 diperlihatkan dalam **Gambar 2.5** berikut:



Gambar 2.3 Koefisien momen untuk balok dan pelat menerus

Peraturan SNI memberikan beberapa batasan dalam hal desain pelat satu arah:

1. Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
2. Ketebalan minimum pelat satu arah yang menggunakan $f_y = 420$ MPa sesuai SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1 harus ditentukan sebagaimana terlihat pada

Tabel 2.3

Tabel 2.3 Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang

Kondisi Tumpuan	h Minimum
-----------------	-------------

Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

(Sumber: SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)

Untuk f_y selain 420 MPa, persamaan pada Tabel di atas harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y / 700)$.

- Selimit beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- Struktur pelat satu arah tegak lurus terhadap tulangan lentur. Persyaratan ini diatur dalam SNI 2847:2019, Tabel 24.4.3.2 Rasio luasan tulangan ulir susut dan suhu terhadap luas penampang beton bruto harus memenuhi batasan seperti ditunjukkan dalam **Tabel 2.4**

Tabel 2.4 Persyaratan tulangan susut dan suhu untuk pelat

Jenis Tulangan	f_y MPa	Rasio tulangan minimum	
Batang ulir	< 420	0,0020	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari	$0,0018 \times 420$
			$\frac{f_y}{700}$
			0,0014

(Sumber : SNI 2847:2019)

- Kecuali untuk pelat rusuk, maka jarak antar tulangan utama pada pelat harus kurang dari 3 kali ketebalan pelat atau tidak lebih dari 450 mm dan jarak antar tulangan yang disyaratkan tidak boleh melebihi 5 kali dan tidak lebih dari 450 mm (SNI 2847:2019, Pasal 7.7.2.3).

b) Desain Balok Pelat Dua Arah

- Analisa Dimensi Balok

Tabel 2.5 Tebal minimum pelat

Tebal minimum, h				
Komponen	Tertumpu	Satu ujung	Kedua ujung	Kantilever

struktur	sederhana	menerus	menerus	
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif Satu-Arah	1/20	1/24	1/28	1/10
Balok atau Pelat Rusuk satu-arah	1/16	1/18,5	1/21	1/8

(Sumber: SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)

2. Menentukan tebal minimum pelat dua arah, SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1 menentukan ketebalan minimum pelat untuk mencegah terjadinya lendutan berlebih. Ketebalan pelat dapat ditentukan menggunakan rumus empiris sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Ketebalan minimum pelat dua arah nonprategang dengan balok diantara tumpuan pada semua sisinya

αf_m	h minimum, mm	
$0,2 \alpha f_m \leq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 5\beta (\alpha f_m - 0,2)}$
	Tidak boleh kurang dari :	125
$\alpha f_m \geq 0,2$	Terbesar dari :	$\frac{\ln(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta}$
	Tidak boleh kurang dari :	90
$\alpha f_m \leq 0,2$	Harus menggunakan Tabel 2.8	

(Sumber : SNI 2847:2019)

- Pada pelat tepi tidak menerus, harus disediakan balok dengan $\alpha f_m \leq 0,80$ atau ketebalan minimum harus memenuhi dan harus diperbesar paling sedikit 10 persen pada pelat yang tidak menerus

Tabel 2. 7 ketebalan minimum pelat dua arah non prategang tanpa balok interior (mm)

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	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/36$	$l_n/40$	$l_n/40$
240	$l_n/30$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/33$	$l_n/36$	$l_n/36$
520	$l_n/28$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/31$	$l_n/34$	$l_n/34$

(Sumber: SNI 2847:2019)

Dimana:

l_n = panjang bentang bersih dalam arah memanjang dari konstruksi dua arah, diukur dari muka tumpuan pada pelat tanpa balok, dan 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_m = nilai rata-rata α_f untuk semua balok tepi-tepi dari suatu pelat.

α_f = rasio kekakuan lentur penampang balok ($E_{cb}I_b$), 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 balok sebesar proyeksi balok yang berada diatas atau dibawah pelat, namun lebih dari empatkali tebal pelat.

I_s = momen inersia bruto dari penampang pelat.

3. Menghitung beban-beban yang dipikul pelat seperti beban mati dan beban hidup serta menghitung momen ultimate (W_u).

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

Dimana:

W_U = Momen rencana


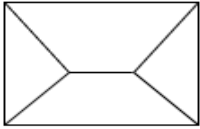

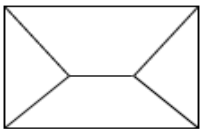
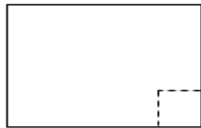
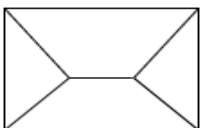

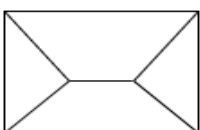
W_D = Jumlah beban mati pelat (kN/m)

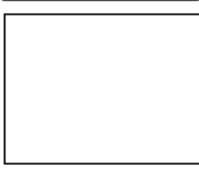
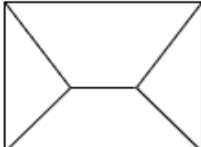

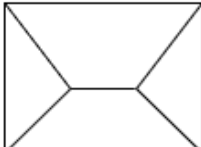



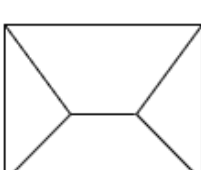


W_L = Jumlah beban hidup pelat (kN/m)

4. Mencari momen rencana (M_U)

Mencari momen yang bekerja pada arah x dan y.

Momen – momen yang menentukan sesuai dengan Tabel 14 dari buku Dasar – dasar Perencanaan Beton Bertulang Jilid 1 karangan *W.C. Vis dan Gideon H. Kusuma* dapat dilihat pada **Gambar 2.4** berikut ini :

<p style="text-align: center;">CARA I</p> 		<p>$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$</p>
<p style="text-align: center;">CARA II</p> 		<p>$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$</p>
<p style="text-align: center;">CARA III</p> 		<p>$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$</p>
<p style="text-align: center;">CARA IV</p> 		<p>$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$</p>

<p style="text-align: center;">CARA V</p> 		$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$
<p style="text-align: center;">CARA VI</p> 		$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$
<p style="text-align: center;">CARA VII</p> 		$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$
<p style="text-align: center;">CARA VIII</p> 		$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tix} = \frac{1}{2} \cdot M_{lx}$
<p style="text-align: center;">CARA IX</p> 		$M_{lx} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ly} = 0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tx} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{ty} = -0,001 \times W_u \times L^2 \times \text{koefisien momen}$ $M_{tiy} = \frac{1}{2} \cdot M_{ly}$

Gambar 2. 4 Mencari Momen Arah X dan Y

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_{tix} 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.

5. Mencari tulangan dari momen yang didapat rasio tulangan dalam beton (ρ) dan memperkirakan besarnya diameter tulangan utama dan untuk menentukan tinggi efektif arah x (d_x) dan arah y (d_y) yaitu:

Untuk tulangan tumpuan:

$$d_x = h - \text{tebal selimut beton} - 1/2 \phi \text{ tulangan arah x}$$

$$d_y = h - \text{tebal selimut beton} - 1/2 \phi \text{ tulangan arah y}$$

Untuk tulangan lapangan:

$$d_x = h - \text{tebal selimut beton} - 1/2 \phi \text{ tulangan arah x}$$

$$d_y = h - \text{tebal selimut beton} - \phi \text{ tulangan arah x} - 1/2 \phi \text{ tulangan arah y}$$

6. Tentukan Nilai $k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$ untuk mendapatkan nilai ρ (rasio tulangan)

Dimana:

K = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan (MPa)

M_u = Momen terfaktor pada penampang (kN/m)

b = Lebar penampang (mm) diambil 1 m

d_{eff} = Tinggi efektif pelat (mm)

ϕ = Faktor kuat rencana (0,9)

7. Menentukan rasio penulangan (ρ) ditentukan dengan melihat tabel. Jika $\rho > \rho_{max}$, maka ditambahkan balok anak untuk memperkecil momen.

Syarat: $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

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

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot k}{0,85 f'c}} \right)$$

Jika $\rho_{min} > \rho$ maka dipakai ρ_{min}

Jika $\rho_{max} < \rho$ maka dipakai ρ

8. Menghitung luas tulangan (A_s) digunakan rumus:

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

Dimana:

A_s = luas tulangan (mm^2)

ρ = rasio penulangan

d_{eff} = tinggi efektif (mm)

9. Mencari jumlah tulangan (n)

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

10. Mencari jarak antar tulangan

$$s = \frac{A_{sd}}{A_{stx}} \times 1000$$

11. 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 $\rightarrow d_y = h - p - \phi_{arah\ x} - \phi_{arah\ y}$

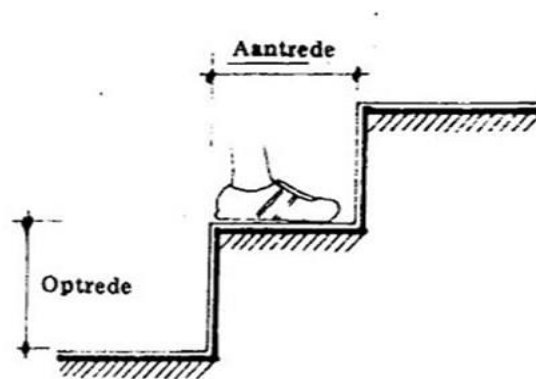
2.6.2 Perhitungan Tangga

Tangga adalah sebuah jalur vertikal yang sangat umum digunakan pada setiap bangunan yang dimiliki lebih dari satu lantai (vertikal). Tangga merupakan jalur yang mempunyai undak – undak (trap) yang menghubungkan satu lantai dengan lantai di atasnya. Tangga memiliki kedudukan sangat penting karena membawa pretise bagi penghuni bangunan tersebut (Heru, 2017:107).

Secara garis besarnya tangga itu terdiri dari beberapa bagian-bagian seperti berikut :

1. Anak Tangga (*Trede*)

Anak tangga merupakan bagian dari tangga yang berfungsi untuk memijakkan/melangkah kaki ke arah vertikal maupun horizontal (datar). Bidang *trede* datar yang merupakan tempat berpijaknya telapak kaki disebut *antrede* (langkah datar), sedangkan bidang *trede* tegak yang dimana selisih dari tinggi antara dua *trede* yang berurutan dinamakan *optrede* (langkah tegak/naik).



Gambar 2. 5 Antrade dan Optrade pada Tangga

Adapun ketentuan-ketentuan konstruksi tangga sebagai berikut :

- 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 1 anak tangga
 - $2 \text{ optrede} + 1 \text{ antrede} = 1 \text{ langkah}$

1 langkah = 58 cm – 64 cm (panjang satu langkah)

d) Sudut kemiringan

- Maksimum = 45°
- Minimum = 25°

e) Lebar tangga

Ukuran lebar tangga dipengaruhi oleh fungsi tangga pada jenis bangunan tertentu. Dengan kata lain lebar tangga sangat dipengaruhi oleh sejumlah orang yang akan menggunakan tangga tersebut.

Tabel 2. 8 Daftar Ukuran Lebar Tangga Ideal

No.	Digunakan untuk	Lebar efektif (cm)	Lebar total (cm)
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	>2109

(Sumber : Ilmu Bagunan Gedung, 1993)

2. Ibu Tangga (*Boom*)

Ibu tangga merupakan bagian tangga terdiri dari dua batang atau papan miring yang berfungsi menahan kedua ujung tangga.

3. Bordes

Bordes adalah bagian dari tangga yang merupakan bidang datar yang agak luas dan berfungsi sebagai tempat istirahat bila lelah. Bordes ini dibuat apabila jarak tempuh tangga sangat panjang yang mempunyai jumlah trede lebih dari 20 buah dan lebar tangga cukup akan tetapi ruangan yang tersedia untuk tangga tidak mencukupi. Menurut Supriadi (1993:18) Untuk menentukan Panjang bordes seperti berikut ini :

$$\text{Panjang bordes (L)} = L_n + a \text{ s/d } 2a$$

Dimana :

- L_n = satu langkah normal datar
- a = *antrede*

4. Pelengkap

Pelengkap tangkap terdiri dari tiang sandaran/pegangan dan ruji/balustrade.

- Tiang sandaran adalah tiang yang berdiri tegak dan ujung bawahnya tempat untuk memanjatkan *boom* serta ujung atasnya sebagai tempat dimana menumpanginya sandaran.
- Sandaran/pegangan adalah batang yang berfungsi sebagai pegangan tangan bagi yang menggunakan tangga tersebut yang mempunyai posisi sejajar dengan sisi atas *boom*.
- Ruji/*balustrade* merupakan susunan barisan papan-papan tegak yang berfungsi sebagai pagar pengaman yang letaknya berada disisi kanan dan kiri.

Syarat umum tangga diantaranya sebagai berikut :

a. Penempatannya

- Penempatan tangga diusahakan sehemat mungkin untuk menggunakan ruangan.
- Ditempatkan sedemikian rupa supaya mudah ditemukan orang dan mendapatkan sinar pada waktu siang hari.
- Diusahakan penempatannya tidak mengganggu ataupun menghalangi lalu lintas banyak orang.

b. Kekuatannya

- Bila menggunakan material kayu hendaknya memakai kelas I atau II, agar nanti tidak terjadinya pelenturan/goyang.
- Kokoh dan stabil bila di lalui sejumlah orang, barang dan sesuai dengan perencanaan.

c. Bentuknya

- Bentuk konstruksi diusahakan sederhana, layak, sehingga dengan mudah dan cepat dalam proses pengerjaan.
- Bentuknya rapi, indah dipandang dan serasi dengan keadaan disekitar tangga itu berada.

Langkah-langkah perhitungan tangga sebagai berikut :

1) Mendesign tangga, antara lain :

a. Rencanakan tinggi *optrede* dengan tinggi *optrede* 15 cm – 20 cm

$$b. \text{ Jumlah } optrede = \frac{h}{\text{ukuran } optrede}$$

c. Menentukan tinggi *optrede*

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

e. Hitung ukuran *antrede*

$$Antrede = Ln - 2 \text{ } optrede = 1 \text{ langkah } (58 \text{ cm} - 64 \text{ cm})$$

f. Hitung sudut kemiringan tangga

$$Arc \tan \theta = \frac{optrede}{antrede}$$

g. Menentukan tebal pelat tangga

$$\text{tebal pelat} = \frac{(\frac{1}{2} \times \text{tinggi tangga}) / \sin \alpha}{28}$$

2) Menentukan pembebanan

Pembebanan pada pelat anak tangga dan bordes

a. Beban mati

- Berat sendiri bordes + anak tangga
- Berat penutup lantai
- Berat spesi
- Berat sandaran

b. Beban hidup

Beban hidup untuk tangga dan bordes beban merata = 4,79
kN/m²(SNI 1727 – 2020 Tabel 4.3 – 1)

3) Menghitung gaya – gaya yang bekerja pada tangga dengan menggunakan program SAP2000 V19.

4) Perhitungan tulangan tangga

a. Menentukan momen yang bekerja berdasarkan analisa program SAP2000 V19.

b. Penentuan tulangan pokok dan tulangan susut dan suhu yang diperlukan.

c. Menentukan nilai $R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$

d. Menentukan tinggi efektif (d_{eff})

$$d_{\text{efektif}} = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \text{tulangan utama}$$

e. Menentukan rasio penulangan (ρ)

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

f. Menghitung luas tulangan (A_s)

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

Dimana:

A_s = luas tulangan (mm²)

ρ = rasio penulangan

d_{efektif} = tinggi efektif (mm)

g. Mencari tulangan (n)

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_b}$$

h. Mencari jarak antar tulangan (s)

$$S = \frac{1000 A_b}{A_s}$$

2.6.3 Perhitungan Balok

Balok merupakan batang horizontal dari rangka struktural yang memikul beban tegak lurus sepanjang batang tersebut biasanya terdiri dari beberapa komponen struktural contohnya dinding, pelat atau atap bangunan dan menyalurkannya ke komponen tumpuan atau struktur yang berada dibawahnya. Balok dikenal sebagai elemen lentur, yaitu elemen lentur struktur yang dominan dalam membawa gaya dalam berupa momen lentur dan momen geser.

Untuk menghitung daya dukung komponen balok lentur, karakteristik utama material beton yang kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan. Dalam proses desain suatu balok beton bertulang dengan momen ultimit, mengambil beberapa asumsi desain, sebagai berikut :

- a. Kesetimbangan harus tercapai disetiap penampang. Kesetimbangan adalah keseimbangan gaya pada penampang saat menghitung kekuatan nominal.
- b. Regangan beton dan tulangan nonprategang diasumsikan proporsional dengan jarak dari sumbu netral.
- c. Regangan pada beton prategang dan pada tulangan dengan lekatan (*bonded*) atau tanpa lekatan (*unbonded*) harus mengikutsertakan regangan yang diakibatkan oleh gaya prategang efektif.
- d. Perubahan regangan pada tulangan prategang dengan lekatan diasumsikan proporsional dengan jarak sumbu netral.
- e. Regangan maksimum untuk serat tekan terjauh pada beton diasumsikan sama dengan 0,003.
- f. Kekuatan Tarik beton diabaikan dalam perhitungan kekuatan lentur dan kekuatan aksial.
- g. Hubungan antara tegangan dan regangan beton dinyatakan dengan bentuk persegi, trapezium, parabolik atau bentuk lain yang memprediksikan kekuatan yang sesuai dengan hasil tes, sesuai dengan asumsi dalam SNI 2847:2019 pasal 22.2.

Faktor Reduksi Kekuatan

Kuat nominal dari suatu komponen struktur (baik yang memikul lentur, beban aksial, geser, maupun punter), yang dihitung berdasarkan kaidah-kaidah yang berlaku, harus dikalikan dengan suatu faktor reduksi yang besarnya kurang dari satu. Hasil kali antara kuat nominal dengan faktor reduksi disebut dengan istilah kuat rencana. Hal ini dilakukan dengan mengingat beberapa hal berikut:

1. Untuk mengantisipasi segala ketidakpastian dari kuat nominal penampang akibat dimensi, material, serta ketidakakuratan persamaan-persamaan dalam perencanaan.
2. Untuk merefleksikan tingkat daktilitas dan keandalan komponen struktur akibat efek yang ditimbulkan oleh beban kerja.
3. Untuk merefleksikan tingkat kepentingan suatu struktur. Dalam SNI 2847:2019, Pasal 21, Tabel 21.2, digunakan beberapa nilai faktor kekuatan, ϕ sebagai berikut:
 - Untuk penampang terkendali tarik $\phi = 0,90$
 - Untuk penampang terkendali tekan
 - a. Dengan tulangan spiral $\phi = 0,75$
 - b. Tulangan non-spiral $\phi = 0,65$
 - Untuk geser dan punter $\phi = 0,75$
 - Untuk tumpu pada beton $\phi = 0,65$

Berikut langkah-langkah perencanaan balok :

- 1) Menentukan mutu beton yang digunakan
- 2) Menentukan dimensi balok yang akan direncanakan
- 3) Menghitung pembebanan yang terjadi, yaitu
 - a. Beban Mati (*Dead Load*)
 - b. Beban Hidup (*Live Load*)
 - c. Berat Sendiri Balok
- 4) Menghitung beban ultimate

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

5) Menghitung momen rencana

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

6) Periksa dimensi penampang balok

a. Menentukan d_{eff}

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

b. Mencari nilai ρ

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \text{ (Digunakan untuk mutu beton } \leq 30 \text{ MPa) atau;}$$

$$\rho_{\text{min}} = \sqrt{\frac{f_c}{4f_y}} \text{ (Digunakan untuk mutu beton } > 30 \text{ MPa) atau;}$$

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

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \rho_b$$

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

Dengan beberapa syarat, seperti :

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

7) Penulangan lentur lapangan dan tumpuan

a. Menentukan d_{eff}

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

b. Mencari nilai ρ

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

c. Hitung As yang diperlukan

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

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

8) Perencanaan 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:

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

dengan:

$$\phi = 0,75$$

c. Periksa nilai V_u

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

$$V_u = \phi V_c + \phi V_s$$

atau

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

e. Hitung nilai V_{c1} dan V_{c2}

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

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

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

f. Hitung jarak tulangan sengkang berdasarkan persamaan:

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

2.6.4 Perhitungan Portal

Portal merupakan suatu sistem yang terdiri dari bagian-bagian struktur yang saling berhubungan dan berfungsi untuk menahan beban sebagai satu kesatuan yang lengkap. Portal dihitung dengan menggunakan program SAP2000.V19, portal yang dihitung adalah portal akibat beban mati dan beban hidup.

1. Portal Akibat Beban Mati

Portal ini ditinjau pada arah melintang dan memanjang. Pembebanan pada portal, yaitu :

- a. Berat sendiri pelat
- b. Berat penggantung dan plafon
- c. Berat penutup lantai
- d. Berat adukan
- e. Berat dari pasangan dinding bata

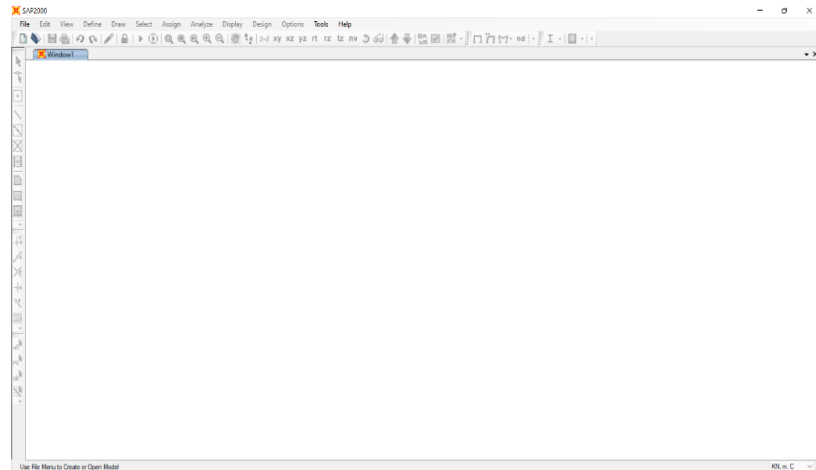
2. Portal Akibat Beban Hidup

Portal ini ditinjau pada arah melintang dan memanjang. Perhitungan portal menggunakan cara yang sama dengan perhitungan portal akibat beban mati. Pembebanan akibat beban hidup, yaitu :

- a. Beban hidup untuk pelat lantai
- b. Beban hidup pada atap

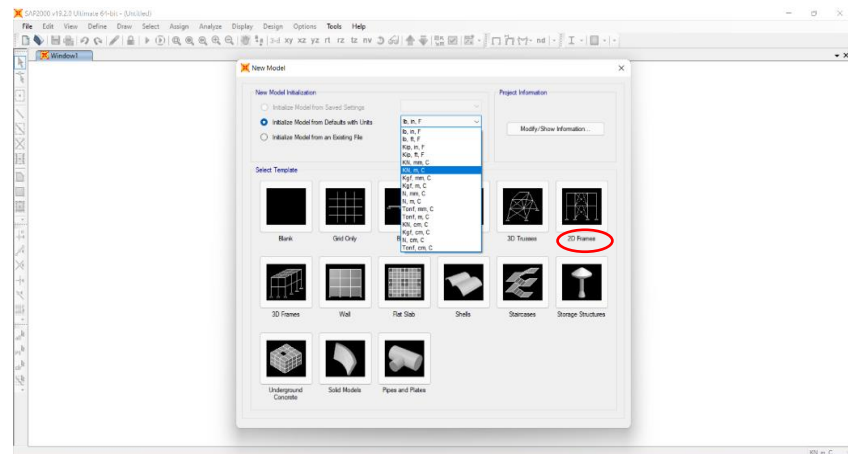
Langkah – langkah menghitung portal dengan menggunakan Program SAP2000.V19 sebagai berikut :

1. Membuka aplikasi SAP2000.V19, maka akan keluar tampilan seperti pada **Gambar 2.6** berikut ini :



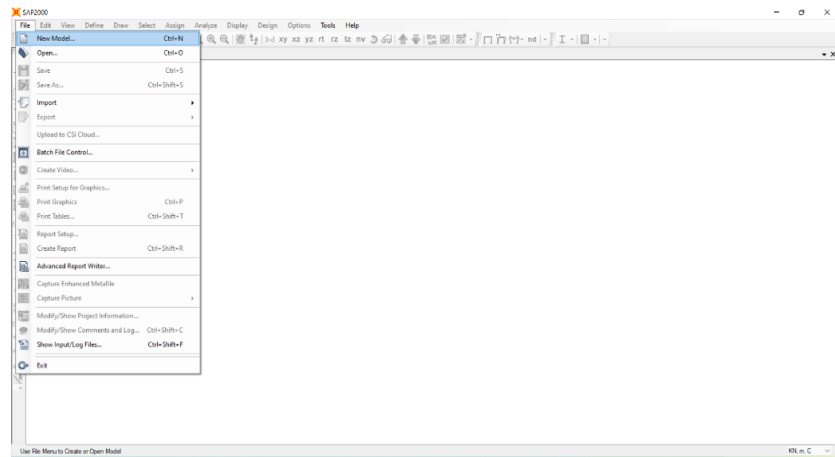
Gambar 2. 6 Tampilan Awal SAP 2000 V 19

2. Pada menu bar, klik file kemudian New model seperti pada **Gambar 2.7** berikut ini :



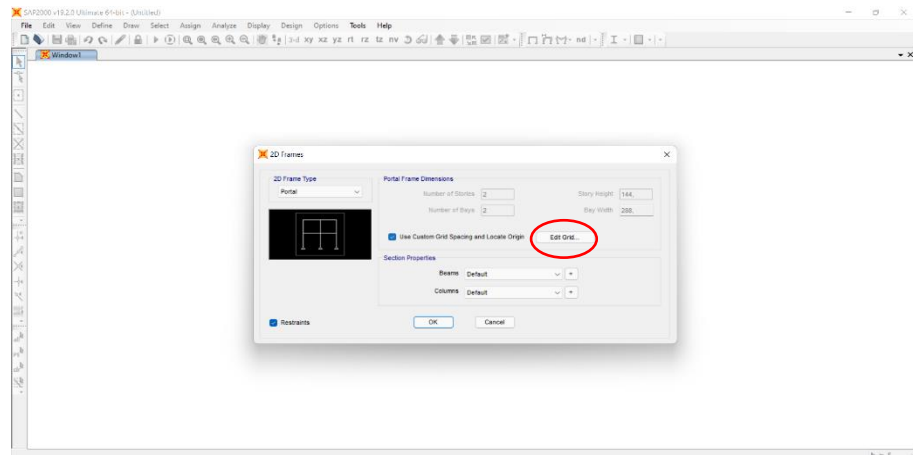
Gambar 2. 7 Model Struktur Konstruksi

3. Kemudian akan muncul pilihan New model. Pilihlah satuan dalam KN, m, C dan klik model grid 2D Frame seperti pada **Gambar 2.8** berikut ini :



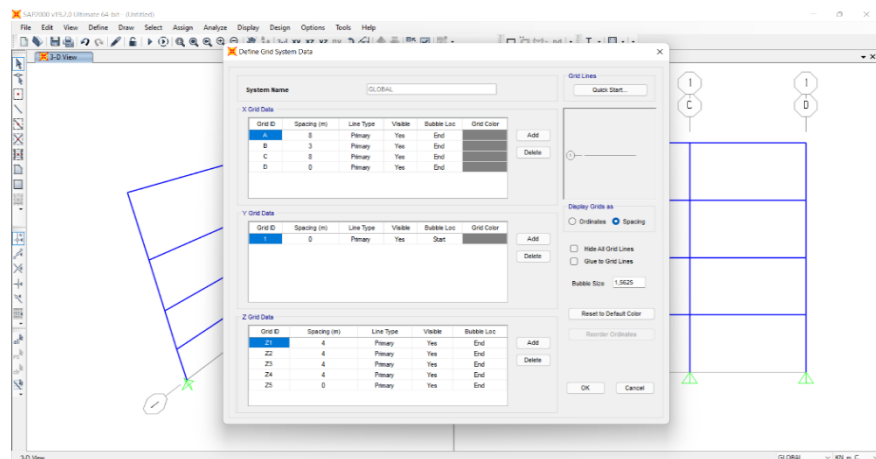
Gambar 2. 8 Tampilan Membuat Struktur

4. Setelah memilih 2D Frame, akan muncul pop up untuk mengisi jumlah Frame dimensi portal. Kemudian berikan centang pada use custom grid spacing dan locate origin lalu klik edit seperti pada **Gambar 2.9** berikut ini :



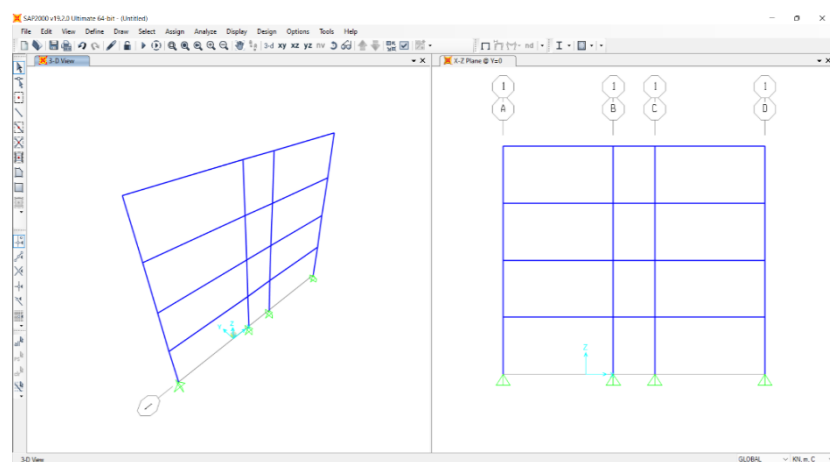
Gambar 2. 9 Kotak Isian Untuk Frame dan Dimensi Portal

5. Kemudian akan muncul kotak isian define grid system data, isi grid data sesuai dengan kebutuhan untuk membuat portal, pilih spacing pada display, lalu klik ok seperti pada **Gambar 2.10** berikut ini :



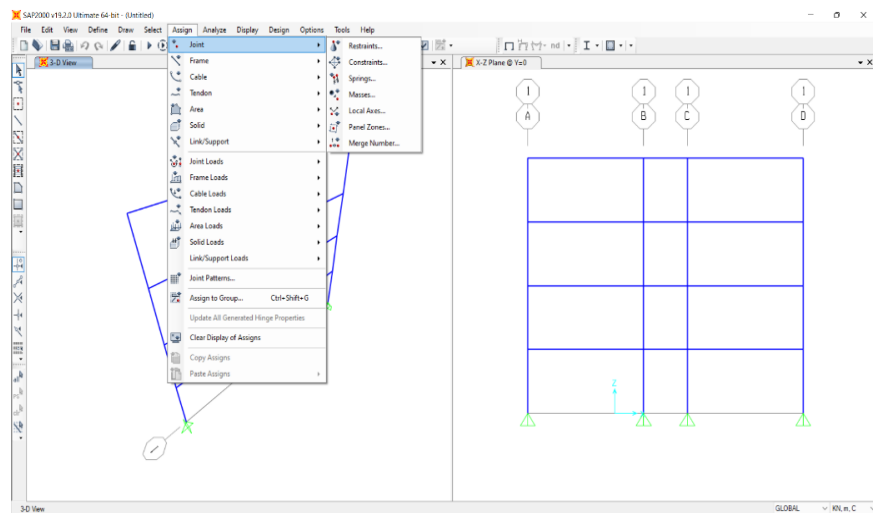
Gambar 2. 10 Define Grid System Data

6. Tampilan akan kembali pada kotak isian untuk memilih frame dan dimensi portal, lalu klik ok, selanjutnya program akan secara otomatis menggambar frame – frame portal berdasarkan data yang dimasukkan seperti pada **Gambar 2.11** berikut ini :

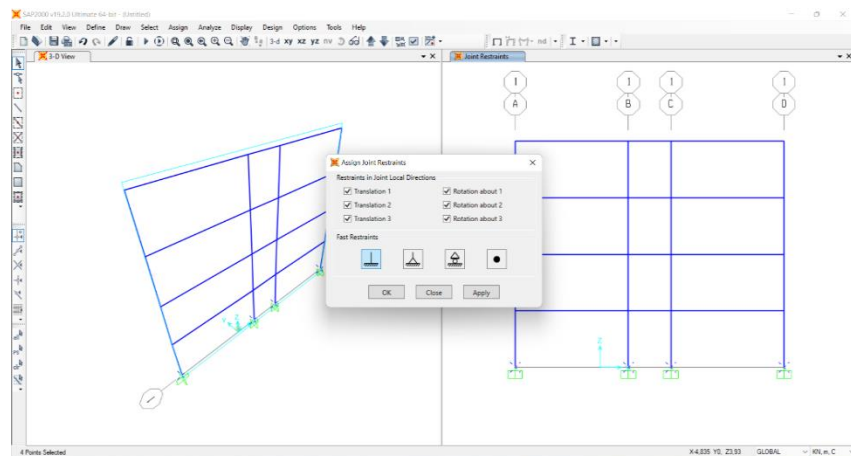


Gambar 2. 11 Frame Pada Portal

7. Kemudian untuk mengubah tumpuan pada portal, terlebih dahulu blok tumpuan pada portal, lalu klik *assign > joint > restrains* seperti pada **Gambar 2.12** berikut ini :

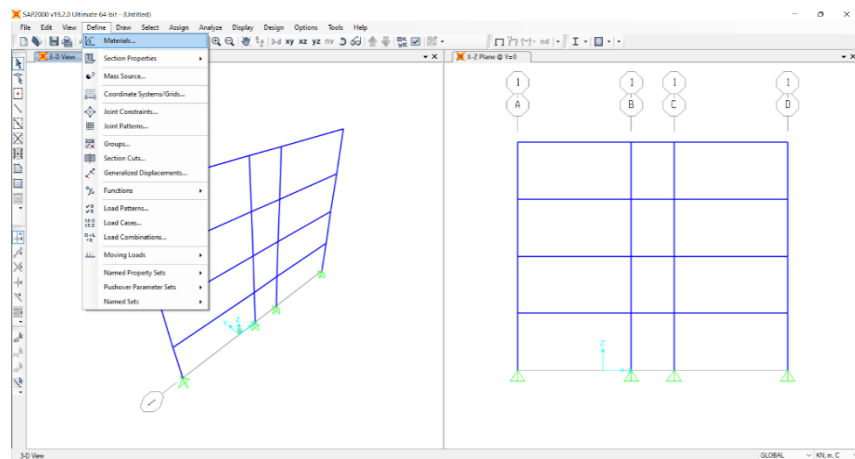


Gambar 2. 12 Tampilan Mengubah Tumpuan Portal
apply, dan klik ok seperti pada **Gambar 2.13** berikut ini :



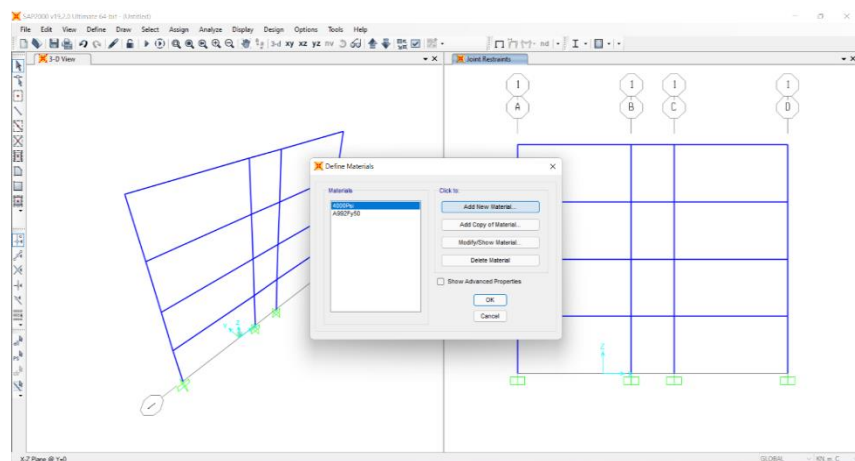
Gambar 2. 13 Assign Joint Restraints

9. Selanjutnya untuk menambahkan material, klik define > materials seperti pada **Gambar 2.14** berikut ini :



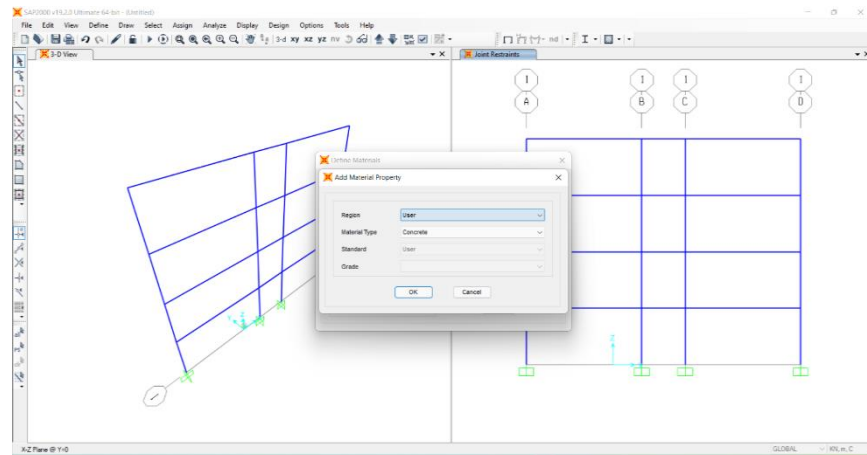
Gambar 2. 14 Tampilan Menambahkan Material

10. Pilih add new material untuk membuat bahan yang akan digunakan seperti pada **Gambar 2.15** berikut ini :



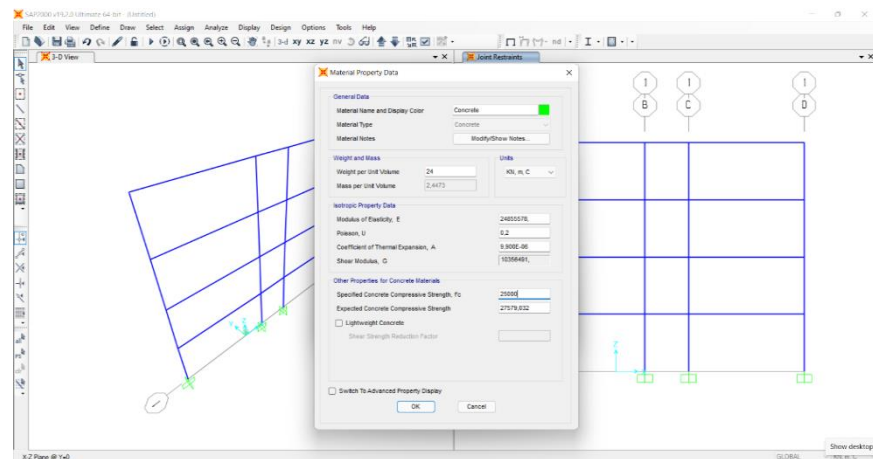
Gambar 2. 15 Define Materials

11. Lalu pilih *region*, *material type*, dan standar sesuai bahan yang direncanakan, lalu klik ok seperti pada **Gambar 2.16** berikut ini :



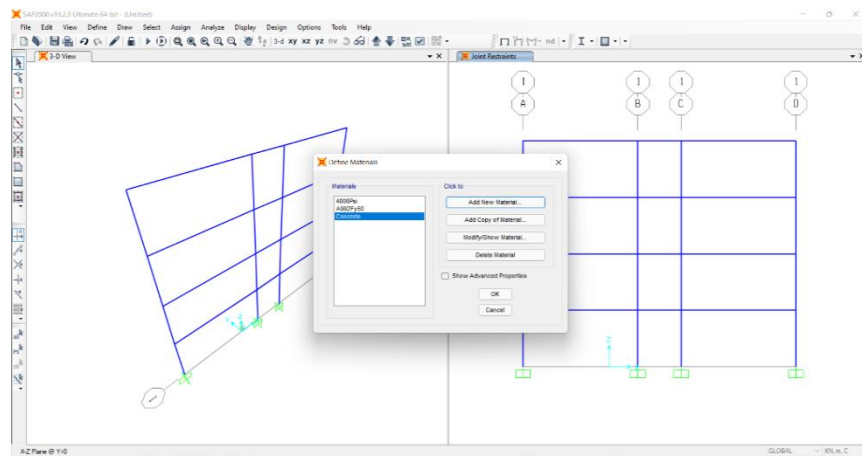
Gambar 2. 16 *Add Material Property*

12. Tahap selanjutnya akan tampil dialog *material property data*, isi data sesuai dengan yang dibutuhkan, lalu klik ok seperti pada **Gambar 2.18** berikut ini :



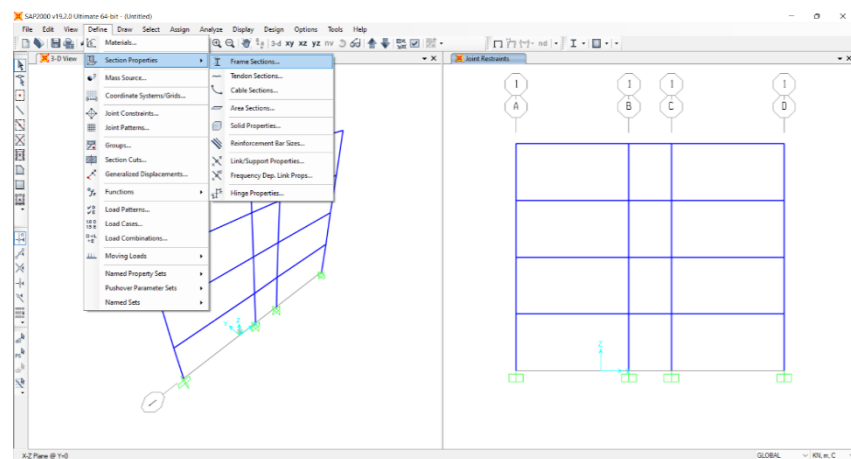
Gambar 2. 17 *Material Property Data*

13. Setelah *material property data* tertutup, maka tampilan akan Kembali pada kotak dialog *define material*. Jika masih ingin menambahkan material lainnya klik *add new material*. Namun jika telah selesai klik ok seperti pada **Gambar 2.18** berikut ini :



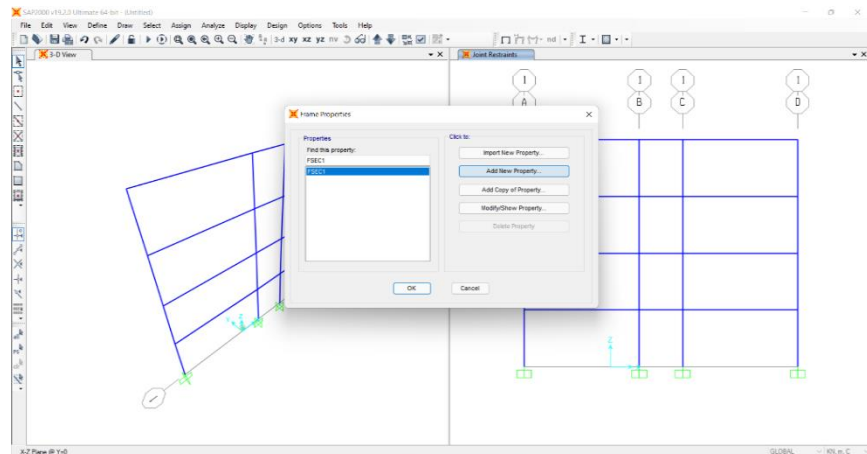
Gambar 2. 18 Menyimpan Material

14. Selanjutnya menabahkan balok dan kolom, klik *define* > *section properties* > *frame section* seperti pada **Gambar 2.19** berikut ini :



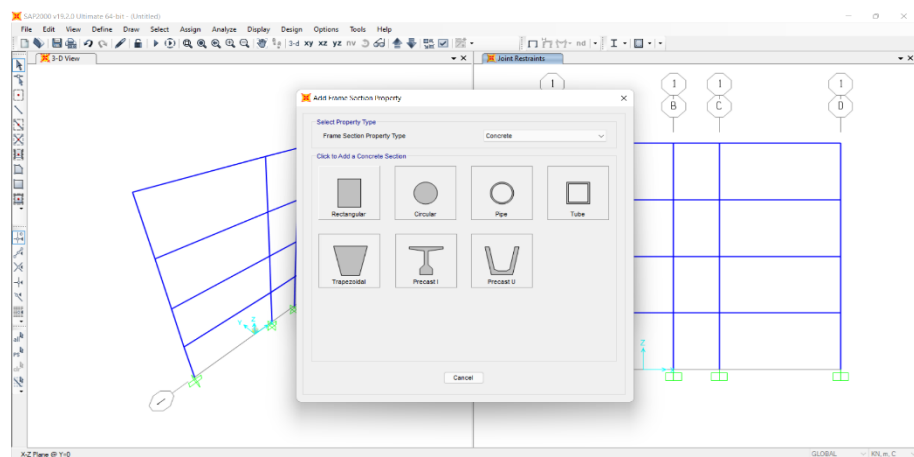
Gambar 2. 19 Menyimpan Material

15. Pilihlah dan klik *add new property* untuk membuat balok atau kolom seperti pada **Gambar 2.20** berikut ini :



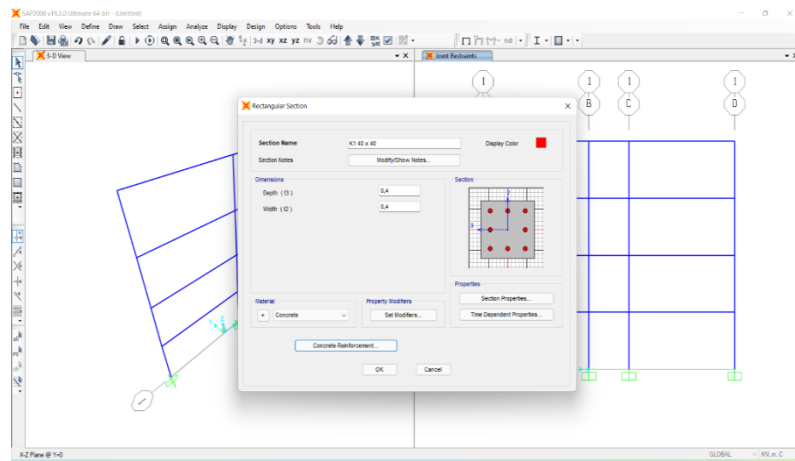
Gambar 2. 20 *Frame Properties*

16. Pilih *concrete* pada *frame section property type* dan klik *rectangular* seperti pada **Gambar 2.21** berikut ini :



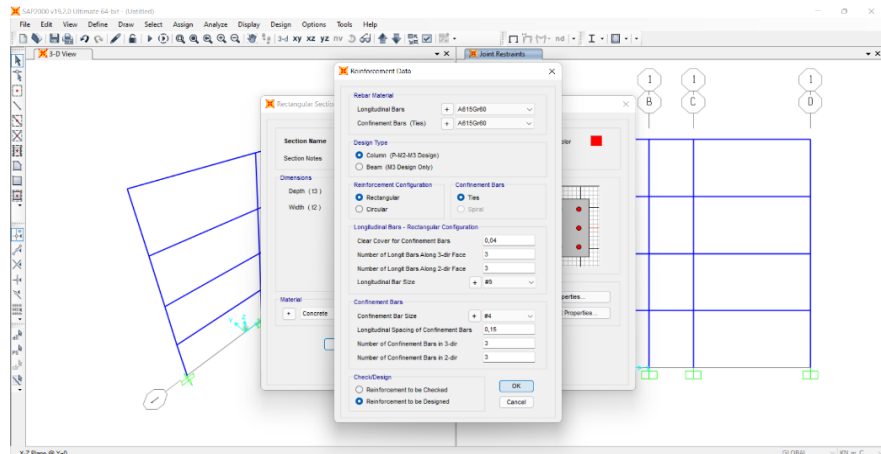
Gambar 2. 21 *Add Frame Section Property*

17. Kemudian itu isilah *section name*, *dimenstions* dan *material* yang direncanakan, lalu klik *concrete reinforcement* seperti pada **Gambar 2.22** berikut ini :



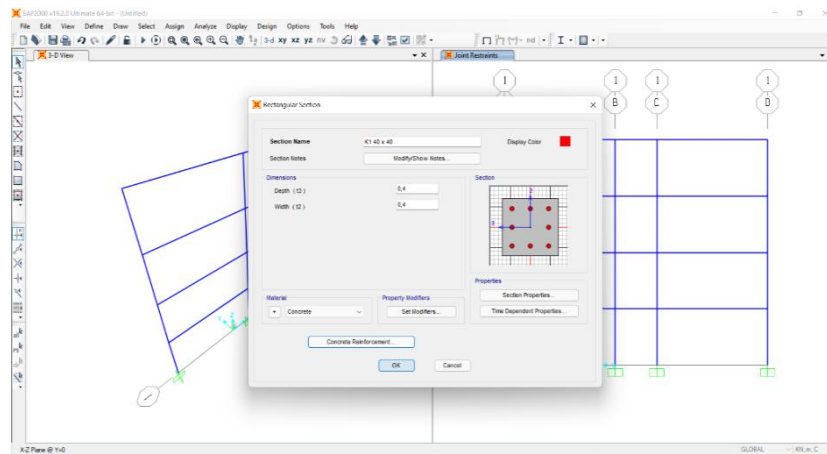
Gambar 2. 22 Rectangular Section

18. Maka akan muncul kotak dialog *reinforcement data*, klik *beam* untuk membuat balok dan kolom untuk membuat kolom pada *design type* lalu klik ok seperti pada **Gambar 2.23** berikut ini



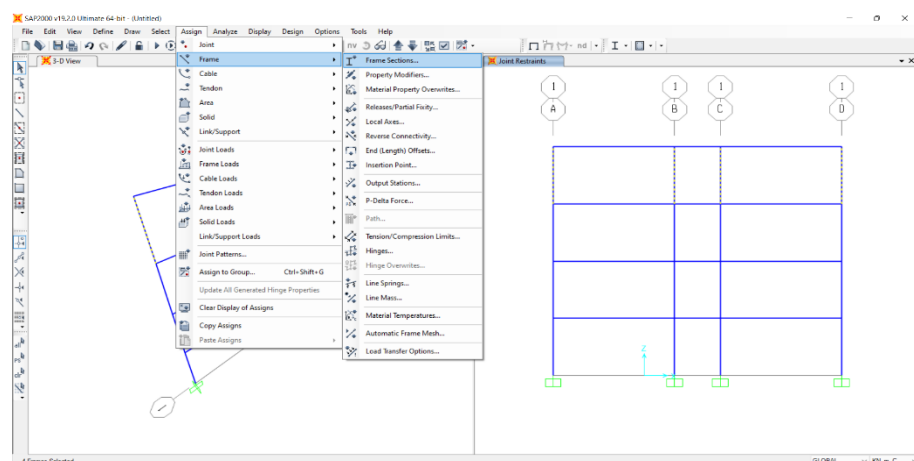
Gambar 2. 23 Reinforcement Data

19. Setelah klik ok maka data akan menyimpan *frame property* yang telah ditambahkan seperti pada **Gambar 2.24** berikut ini :



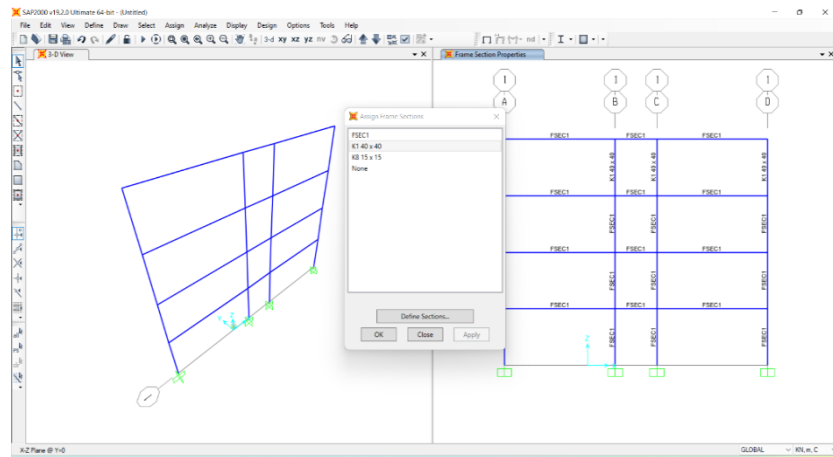
Gambar 2. 24 Menyimpan Frame Properties

20. Ubahlah *frame properties* pada portal menjadi sesuai dengan yang direncanakan. *Block* balok atau kolom, lalu klik *assign* > *frame* > *section* seperti pada **Gambar 2.25** berikut ini



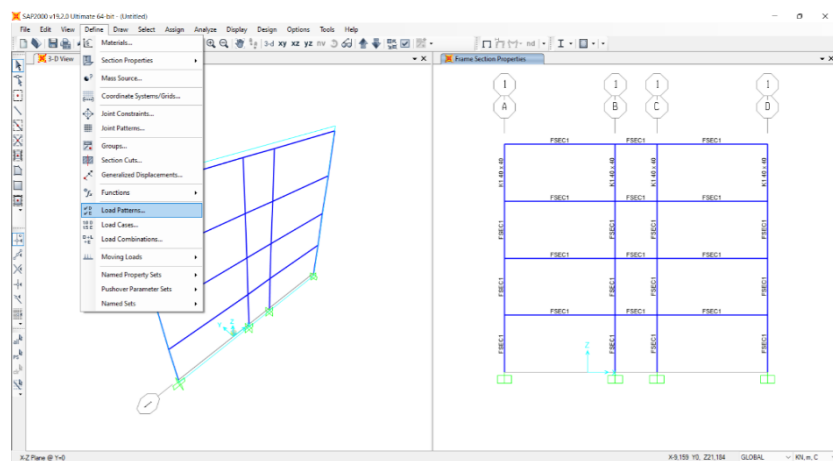
Gambar 2. 25 Tampilan Mengubah Kolom dan Balok

21. Selanjutnya, akan menampilkan kotak dialog *assign frame sections*, pilih balok atau kolom yang akan direncanakan, klik *apply* dan klik ok seperti pada **Gambar 2.26** berikut ini.



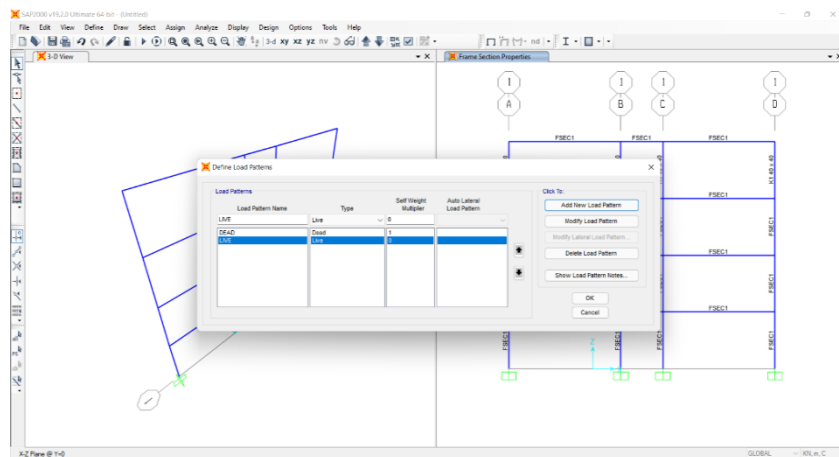
Gambar 2. 26 Assign Frame Sections

22. Untuk menambahkan beban, klik *define > load patterns* seperti pada **Gambar 2.27** berikut ini :



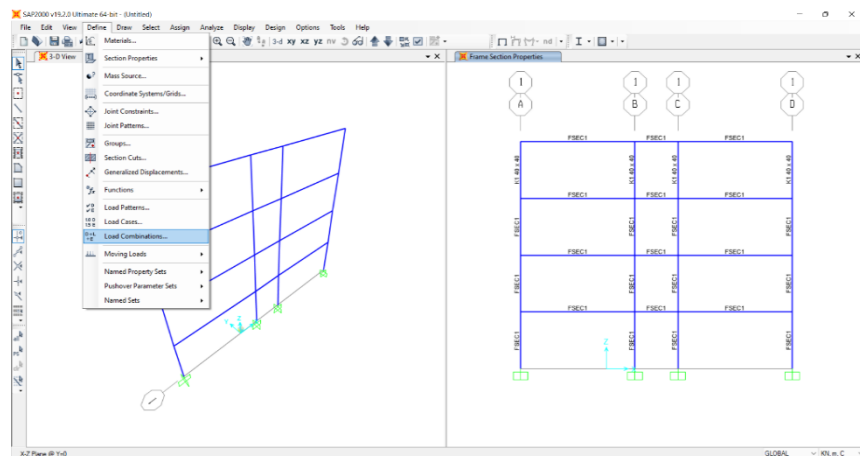
Gambar 2. 27 Tampilan Menambahkan Beban

23. Pada kotak dialog *define load patterns*, tambahkan *load patterns*, *name*, *type*, dan *self weight multiplier*, pilih *add new load patterns*, lalu klik ok seperti pada **Gambar 2.29** berikut ini :



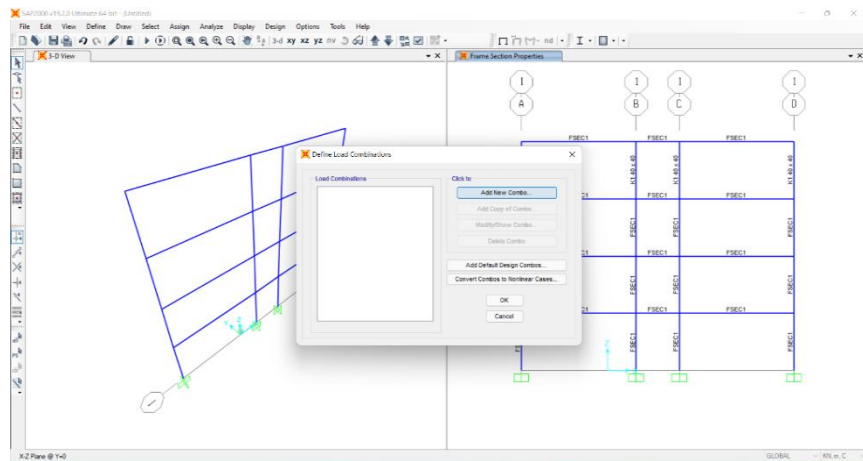
Gambar 2. 28 Define Load Patterns

24. Penambahan beban kombinasi, klik *define* > *load combination* seperti pada **Gambar 2.29** berikut ini :



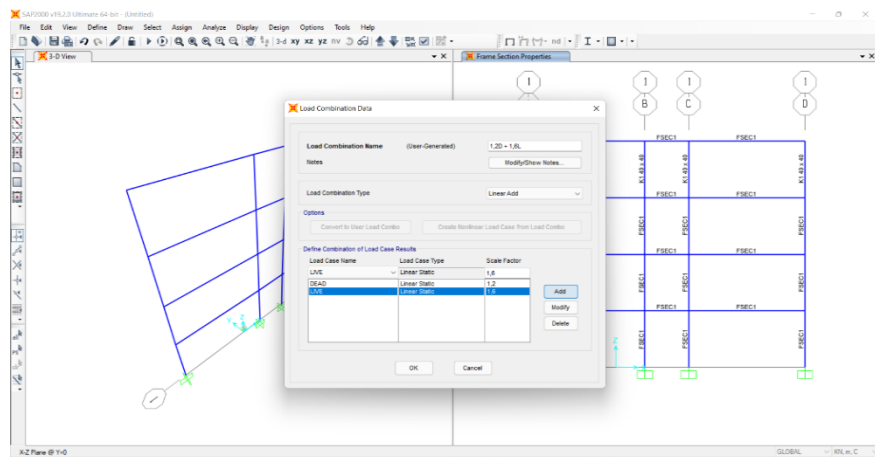
Gambar 2. 29 Tampilan Menambahkan Beban Kombinasi

25. Kemudian akan tampil kotak dialog *define load combinations*, lalu pilih *add new combo* seperti pada **Gambar 2.30** berikut ini :



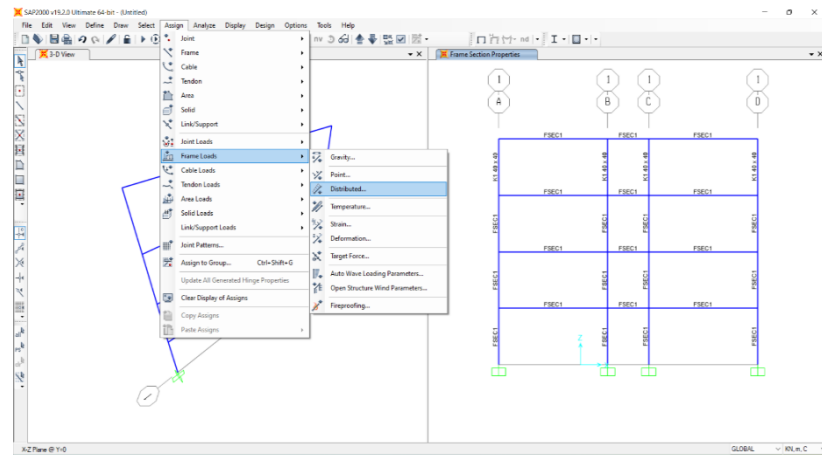
Gambar 2. 30 *Define Load Combinations*

26. Pada kotak dialog *load combination data*, isilah *load combination name*, *define combination of load case results* sesuai dengan beban kombinasi yang direncanakan, klik ok seperti pada **Gambar 2.31** berikut ini :



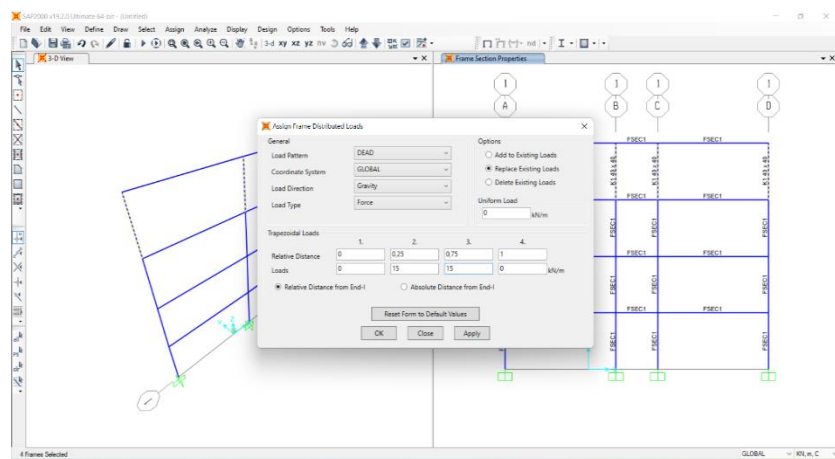
Gambar 2. 31 *Load Combination Data*

27. Untuk memasukkan beban pada portal, klik *assign > frame loads > point* untuk beban terpusat, klik *assign > frame loads > distributed* untuk beban merata seperti pada **Gambar 2.32** berikut ini :



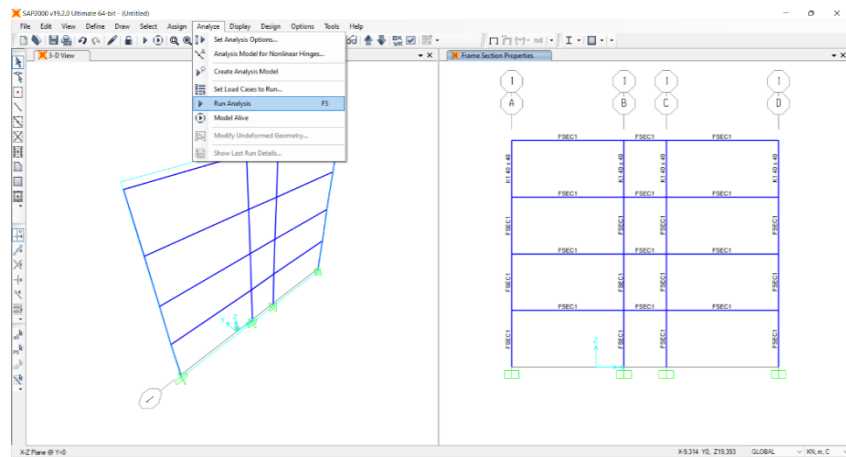
Gambar 2. 32 Tampilan Menambahkan Beban pada Portal

28. Pilihlah jenis *load pattern* dan mengisi *load* sesuai dengan pembebanan seperti pada **Gambar 2.33** berikut ini :



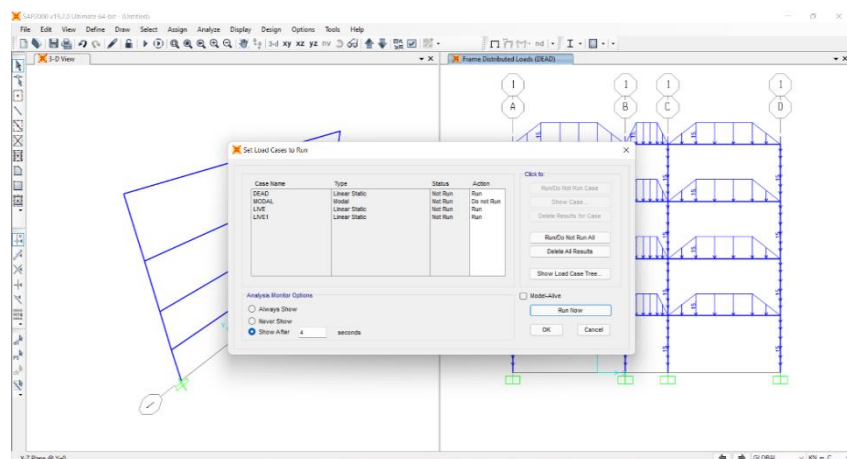
Gambar 2. 33 Assign Frame Distributed Loads

29. Untuk menganalisis gaya yang bekerja pada portal, klik *analyze > run analysis* seperti pada **Gambar 2.34** berikut ini :



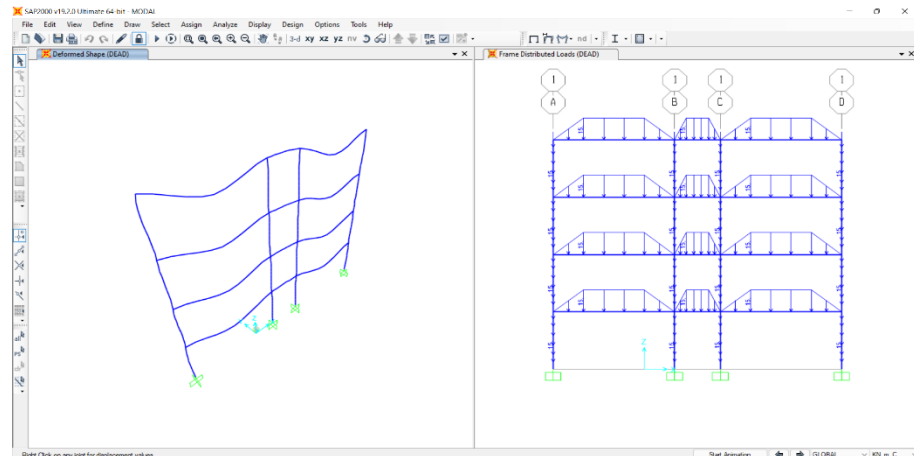
Gambar 2. 34 Tampilan Menjalankan Analisis Gaya

30. Pada kotak dialog *set load to run*, pilihlah *case* yang akan dijalankan dengan cara mengklik *run/do not run case*, lalu klik *run now*, kemudian itu klik ok seperti pada **Gambar 2.35** berikut ini :



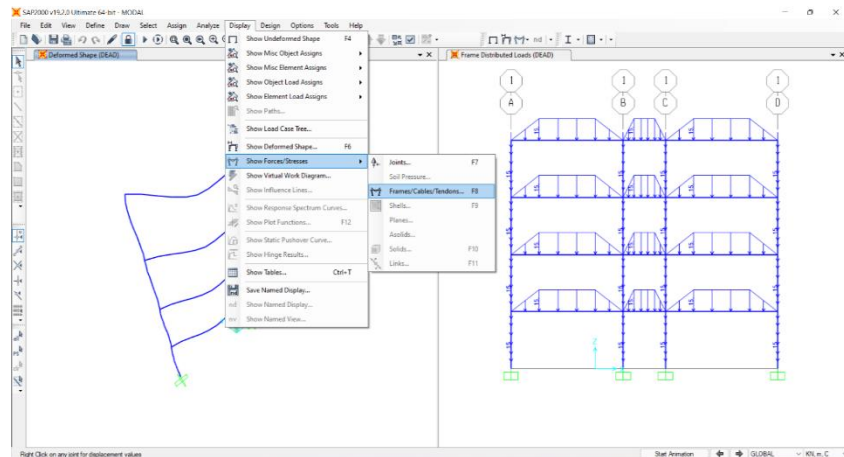
Gambar 2. 35 Set Load Case to Run

31. Kemudian klik *run now*, maka program akan secara otomatis melakukan analisis. Portal akan terlihat seperti pada **Gambar 2.36** dibawah ini :



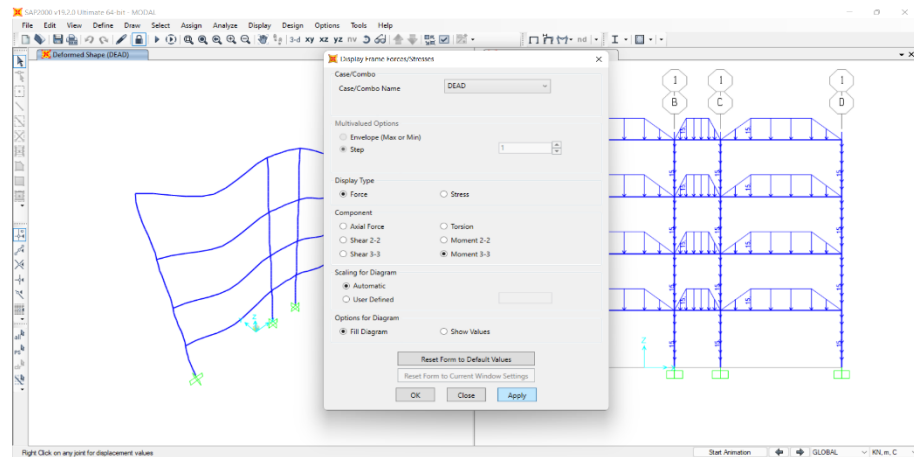
Gambar 2. 36 Lendutan yang Terjadi pada Portal

32. Untuk mengetahui gaya hasil analisis akibat beban yang terjadi pada portal, klik *display > show force/stresse > frames/cables/tendons* seperti pada **Gambar 2.37** berikut ini :



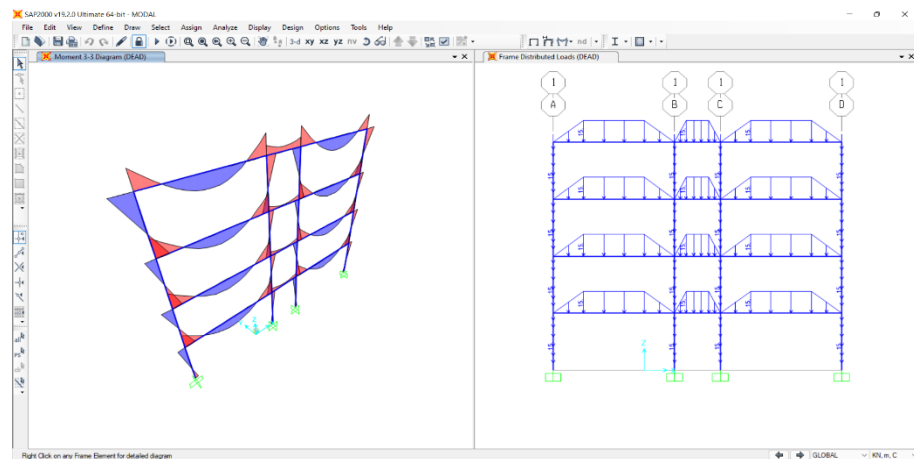
Gambar 2. 37 Gaya - Gaya yang bekerja pada Portal

33. Setelah itu maka akan tampil kotak dialog *display frame force/stresses*, pilih *case/combo name* dan *component* kemudian klik *apply*, lalu klik *ok* seperti pada **Gambar 2.38** berikut ini :



Gambar 2. 38 *Display Frame Force/Stresses*

34. Kemudian klik kanan pada balok atau kolom yang hendak diketahui gaya – gaya yang bekerjanya seperti pada **Gambar 2.39** berikut ini :



Gambar 2. 39 *Diagram Gaya pada Portal*

2.6.5 Kolom

Kolom adalah salah satu komponen struktur vertikal yang secara khusus difungsikan untuk memikul beban aksial tekan (dengan atau tanpa adanya momen lentur) dan memiliki rasio tinggi/Panjang terhadap dimensi terkecilnya sebesar 3 atau lebih. Kolom memikul beban vertikal yang berasal dari pelat lantai atau atap dan menyalurkannya ke pondasi. Pada struktur pondasi bangunan gedung beton bertulang, balok, pelat dan kolom umumnya di cor secara monolit, sehingga akan menimbulkan momen lentur pada kolom akibat kondisi tumpuan ujung. Disamping 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. Jadi pada suatu struktur bangunan beton bertulang, sangat jarang dijumpai elemen kolom yang murni memikul beban aksial saja. (Setiawan, 2016:144)

Secara umum kolom dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut :

1. Berdasarkan beban yang bekerja, kolom dapat diklasifikasikan menjadi :
 - a. Kolom dengan beban aksial
Beban kolom dianggap bekerja melalui pusat penampang kolom.
 - b. Kolom dengan beban eksentris
Beban kolom dianggap bekerja sejarak e dari pusat penampang kolom.
 - c. Kolom dengan beban biaksial

Beban bekerja pada sembarang titik pada penampang kolom, sehingga menimbulkan momen terhadap sumbu x dan y secara simultan.

2. Berdasarkan panjangnya, kolom dapat dibedakan menjadi :
 - a. Kolom pendek

Jenis kolom keruntuhannya diakibatkan oleh hancurnya beton atau luluhannya tulangan baja dibawah kapasitas ultimate dari kolom tersebut.
 - b. Kolom Panjang

Jenis kolom yang dalam perencanaannya harus memperhitungkan rasio kelangsingan dan efek tekuk, sehingga kapasitasnya berkurang dibandingkan dengan kolom pendek.
3. Berdasarkan bentuk penampang, kolom dapat berbentuk menjadi :
 - a. Bujur sangkar
 - b. Persegi Panjang
 - c. Lingkaran
 - d. Bentuk L
 - e. Segi delapan, dll.
4. Berdasarkan jenis tulangan Sengkang yang digunakan :
 - a. Kolom dengan Sengkang persegi

Mengikat tulangan memanjang/vertikal dari kolom, dan disusun dengan jarak tertentu sepanjang tinggi kolom.
 - b. Kolom dengan spiral

Untuk mengikat tulangan memanjang dan meningkatkan daktilitas kolom.
5. Berdasarkan kekangan dalam arah lateral, kolom dapat dibedakan menjadi :
 - a. Dapat menjadi dari suatu portal yang dikekang terhadap goyangan.
 - b. Dapat menjadi bagian dari suatu portal bergoyang.
6. Berdasarkan materialnya, kolom dapat berupa menjadi :

- a. Kolom bertulangan biasa.
- b. Kolom beton prategang.
- c. Kolom komposit (terdiri dari beton dan profil baja).

Berikut langkah-langkah perencanaan kolom, yaitu :

1. Tulangan untuk kolom dibuat penulangan simetris berdasarkan kombinasi P_u dan M_u .

2. Gaya Aksial design pada kolom

$$P_u = 1,4 D$$

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

$$P_u = 1,2 D + 1,0 L + 1,0 W$$

3. Gaya Lintang design pada kolom maksimum

$$V_u = 1,4 D$$

$$V_u = 1,2 D + 1,6 L + 1,0 W$$

(SNI 2847:2019)

4. Momen design kolom maksimum untuk ujung atas dan ujung bawah

$$M_u = 1,4 D$$

$$M_u = 1,2 DL + 1,6 L$$

$$M_u = 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 W$$

(SNI 2847 : 2019)

5. Nilai kontribusi tetap terhadap deformasi

$$\beta_{dns} = \frac{1,2 D}{1,2 D + 1,6 L}$$

(SNI 2847 : 2013, 400)

6. Modulus elastisitas beton normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{c'}} \text{ (MPa)}$$

(SNI 2847:2019, 456)

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

$$(El)_{eff} = \frac{0,2 E_c I_g + E_s I_{se}}{1 + \beta_{dns}}$$

$$(El)_{eff} = \frac{E_c I}{1 + \beta_{dns}}$$

(SNI 2847 : 2019, 107)

7. Nilai kekakuan kolom dan balok

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

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

$$I_c = 0,70 I_g \text{ (Kolom)}$$

$$I_c = 0,35 I_g \text{ (Balok)}$$

$$\frac{El}{L_c} = \frac{Ec \cdot I_g}{2,5 (1 + \beta \cdot d)} \text{ (Kolom)}$$

$$\frac{El}{L} = \frac{Ec \cdot I_g}{5 (1 + \beta \cdot d)} \text{ (Balok)}$$

(SNI 2847 : 2019, 103)

8. Nilai Eksentrisitas

$$e = \frac{Mu}{Pu}$$

9. Menentukan nilai Kn dan Rn

$$K_n = \frac{P_n}{\phi \cdot F' \cdot A_g}$$

$$R_n = \frac{P_n}{F' \cdot A_g \cdot h}$$

10. Menentukan Ψ_a dan Ψ_b

$$\Psi = \frac{\sum \frac{E \cdot I_k}{I_k}}{\sum \frac{E \cdot I_b}{I_b}} \text{ (Tumpuan Jepit)}$$

$$\Psi = 10 \text{ (tumpuan sendi)}$$

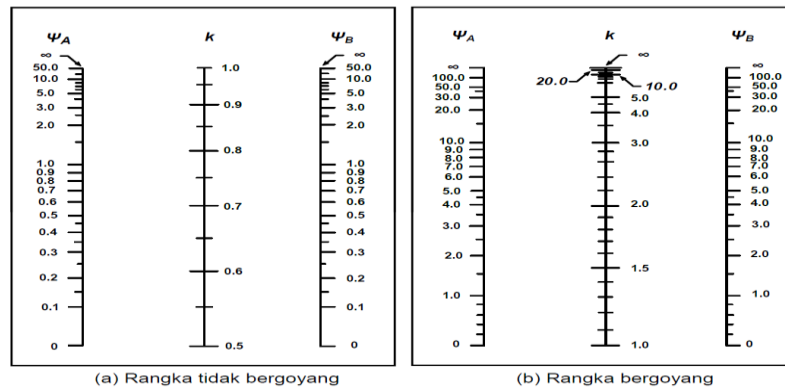
(SNI 2847 : 2019, 308)

11. Menentukan faktor Panjang kolom (k)

Untuk nilai k didapatkan dari nomogram faktor Panjang efektif kolom.

12. Angka kelangsingan kolom

Kolom langsing dengan ketentuan (SNI 2847 : 2019, 93) :



Gambar 2. 40 Diagram Monogram untuk Menentukan Kelangsingan Kolom

- Angka tanpa pengaku lateral = $\frac{klu}{r} \leq 22$
- Angka dengan pengaku lateral = $\frac{klu}{r} \leq 34 + 12 (M1/M2)$ dan $\frac{klu}{r} \leq 40$
(SNI 2847 : 2019, 91)

13. Faktor pembesaran kolom

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

δ_s = faktor pembesar ekstra pada struktur rangka tanpa pengaku

M_{2ns} = momen kolom terbesar pada struktur rangka dengan pengaku

M_{2s} = momen kolom terbesar pada struktur rangka tanpa pengaku

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\sum P u}{\Phi \sum P_c}} \geq 1,0$$

(SNI 2847 : 2019, 108)

14. Desain penulangan

a. Menghitung besar beban yang bekerja pada kolom (P_u), Nilai

ρ taksiran 1% - 3%

b. Menghitung A_{Stot}

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

Periksa Pu Terhadap Keruntuhan seimbang

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

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b$$

$$f'_c > 28 \text{ Mpa dan } f_y = 400 \text{ Mpa}$$

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

$$\frac{\epsilon'_s}{0,003} = \frac{c_b - d'}{c_b}$$

$$f_{s'} = \left(\frac{c_b - d'}{c_b} \right) \cdot 0,003 \leq f_y \text{ (tulangan tekan sudah luluh)}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a_b \cdot b$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_{s'} - 0,85 \cdot f_c)$$

$$P_b = C_c + C_s - T$$

Nilai eksentrisitas pada kondisi seimbang dari

$$e_b = \frac{M_b}{P_b} \text{ atau } e = \frac{2}{3} d$$

(SNI 2847 : 2019, 161)

Ketentuan keruntuhan

- Apabila $e > e_b$ maka terjadi keruntuhan tarik
- Apabila $e < e_b$ maka terjadi keruntuhan tekan

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

(SNI 2847 : 2019, 109)

2.6.6 Sloof

Sloof merupakan salah satu struktur bawah suatu bangunan yang berfungsi menerima beban dinding di atasnya dan sebagai pengikat antar pondasi.

Langkah-langkah perhitungan dalam merencanakan *sloof* sebagai berikut:

- a. Menentukan dimensi *sloof*, mutu beton dan mutu baja yang akan digunakan.

b. Menghitung pembebanan pada *sloof* untuk kemudian di proses menggunakan program SAP 2000 V19 untuk mendapatkan gaya dalamnya.

- Berat sendiri *sloof*
- Berat dinding dan plesteran

Kemudian semua beban dijumlahkan untuk mendapatkan beban total, lalu dikalikan factor untuk beban terfaktor.

$$U = 1,2D$$

dengan:

U = beban terfaktor per unit panjang balok

D = beban mati

c. Melakukan perhitungan tulangan lentur lapangan dan tumpuan.

1. Tentukan $d_{eff} = h - \rho - \emptyset$ sengkang $- 1/2 \emptyset$ tulangan

2. $K = \frac{Mu}{\phi b.d^2} \rightarrow$ didapat nilai ρ dari tabel

$$A_s = \rho.b.d \text{ (Gideon hal.54)}$$

dengan:

A_s = luas tulangan tarik non-prategang

- Pilih tulangan dengan dasar A_s terpasang $\geq A_s$ rencana. Apabila $M_R < M_u$ balok akan berperilaku sebagai balok T murni.
- Penulangan lentur pada tumpuan
- $K = \frac{Mu}{\phi b.d^2} \rightarrow$ didapat nilai ρ dari tabel

$$A_s = \rho.b.d \text{ (Gideon hal.54)}$$

- Pilih tulangan dengan dasar A_s terpasang $\geq A_s$ rencana

Keterangan:

A_s = luas tulangan tarik non-prategang

ρ = rasio penulangan tarik non-prategang

b_{eff} = lebar efektif balok

d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

d. Tulangan geser rencana

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b_w \cdot d$$

$$V \leq \phi V_c \text{ (tidak perlu tulangan geser)}$$

$$V_u \leq \phi V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

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

dengan:

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_u = kuat geser terfaktor pada penampang

V_n = kuat geser nominal

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

A_v = luas tulangan geser pada daerah sejarak s

d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik

f_y = mutu baja

2.6.7 Pondasi

Pondasi didefinisikan sebagai bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah. Proses desain struktur pondasi memerlukan analisi yang cukup lengkap, meliputi kondisi jenis struktur atas, beban-beban kerja pada struktur, profil dari lapisan tanah bangunan struktur tersebut berada, serta kemungkinan terjadinya penurunan (*settlement*) (Setiawan, 2016)

Ada dua kriteria yang harus dipenuhi oleh pondasi, yaitu:

- a. Mampu menahan bangunan di atasnya tanpa menimbulkan kegagalan konstruksi.
- b. Beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak boleh melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan.

Kriteria-kriteria di atas adalah kriteria khas *substructure* dan tidak terdapat pada bagian *superstructure*. Di samping diperlukannya penguasaan dari gaya-gaya yang bekerja pada pondasi, diperlukan juga pengenalan dan penguasaan akan sifat-sifat tanah.

Oleh karena itu, pemilihan jenis pondasi merupakan salah satu tahap penting dalam perencanaan sebuah bangunan. Sehingga pondasi harus direncanakan sedemikian rupa agar kuat, stabil, dan aman agar tidak terjadi kegagalan konstruksi.

Adapun langkah-langkah perhitungan pondasi tiang pancang dan *pilecap* adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan daya dukung izin tanah melalui perhitungan dengan berdasarkan data-data yang ada sebagai berikut:

1. Berdasarkan kekuatan bahan tiang pancang

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

2. Berdasarkan ketahanan tanah

$$Q_{\text{ultimit}} = 40N \cdot A_b + \frac{\bar{N} \cdot A_s}{5} \text{ dan } Q_{\text{izin}} = \frac{Q_{\text{ultimit}}}{F}$$

Dimana:

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 = factor keamanan daya dukung = 3

3. Daya dukung izin tiang

$$Q_{\text{ijin}} = \frac{qc \cdot A_b}{F_b} + \frac{JHP \cdot O}{F_s}$$

- b. Menentukan jumlah tiang pancang

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

- c. 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:

S = jarak antar tiang

D = ukuran *pile* (tiang)

d. Menentukan efisiensi dan daya dukung kelompok tiang

$$Eg = 1 - \frac{\theta}{90} \left\{ \frac{(n-1)m + (m-1)}{m.n} \right\}$$

$$Q_{izin \text{ Grup}} = Eg \cdot Q_{izin} \cdot n \text{ (Daya dukung kelompok tiang)}$$

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

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{My \cdot X_{max}}{ny \cdot \sum X^2} \pm \frac{Mx \cdot Y_{max}}{nx \cdot \sum Y^2}$$

Dimana:

P = beban yang diterima oleh tiang pancang

$\sum V$ = jumlah total beban

N = banyak tiang pancang dalam kelompok tiang (*pile group*)

Kontrol kemampuan tiang pancang:

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

$$P_{izin} < P$$

f. Perhitungan *pile cap*

Pile cap biasanya terbuat dari beton bertulang yang berfungsi untuk mengikat tiang-tiang pancang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. Adapun langkah-langkah perencanaan *pile cap* adalah sebagai berikut:

1) Kontrol kekuatan geser secara kelompok

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

$$a. V_u = \frac{Pu}{\text{Jumlah Tiang}}$$

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

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

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

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

Dengan faktor reduksi (ϕV_n) = $0,75 V_n > V_u$ (OKE)

2) Perhitungan Tulangan Pile Cap

$$- M_u = 2 \cdot V_u \cdot x$$

Dengan x adalah Jarak as tiang pancang ke tepi kolom

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

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

(ambil yang terbesar)

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

- Jarak tulangan :

$$S = \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2}{A_s} \times b_w$$

2.7 Manajemen Proyek

2.7.1 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 para kontraktor pada saat akan mengikuti pelelangan maupun pada saat melaksanakan pekerjaan yang akan dilakukan nantinya.

2.7.2 Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan merupakan jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada, dan dihitung dalam

setiap jenis pekerjaan. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyaknya suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga keseluruhan dari pekerjaan – pekerjaan yang ada dalam suatu proyek.

2.7.3 Analisa Harga Satuan

Analisa harga satuan pekerjaan adalah perhitungan biaya – biaya per satuan volume yang berhubungan dengan pekerjaan – pekerjaan yang ada dalam suatu proyek. Guna dari harga satuan ini agar kita dapat mengetahui harga – harga satuan dari tiap – tiap pekerjaan yang ada. Dari harga – harga yang terdapat dalam analisa harga satuan ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari hasil perkalian dengan volume pekerjaan. Dalam manajemen proyek analisa harga satuan akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya.

2.7.4 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 dari penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai besarnya biaya pelaksanaan atau penyelesaian.

Prosedur dalam penyusunan rencana anggaran biaya yaitu :

1. Melakukan pengumpulan data tentang jenis, harga serta kemampuan pasar menyediakan bahan/material konstruksi secara kontinu.
2. Melakukan pengumpulan data tentang upah pekerja yang berlaku di daerah lokasi proyek dan atau upah pada umumnya jika pekerja didatangkan dari luar daerah lokasi proyek.
3. Melakukan perhitungan analisa bahan dan upah dengan menggunakan analisa yang diyakini baik oleh si pembuat anggaran.

4. Melakukan perhitungan harga satuan pekerjaan dengan memanfaatkan hasil analisa satuan pekerjaan dan daftar kuantitas pekerjaan.
5. Membuat rekapitulasi data – data.

2.7.5 Rencana Pelaksanaan

Rencana pelaksanaan pada proyek konstruksi dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, yaitu antara lain :

a. *Network Planning* (NWP)

Network planning merupakan suatu pengendalian pekerjaan di lapangan yang di tandai dengan simbol – simbol tertentu berupa urutan pekerjaan dalam suatu proyek yang berfungsi untuk melancarkan pekerjaan. *Network planning* juga disebut jadwal kegiatan pekerjaan yang berbentuk diagram *network* sehingga dapat diketahui pada area mana pekerjaan yang termasuk ke dalam lintasan kritis dan harus diutamakan pelaksanaannya.

Manfaat – manfaat dari *Network planning* adalah sebagai berikut :

1. Mengatur jalannya proyek.
2. Mengetahui pekerjaan mana yang harus didahulukan dan dapat diselesaikan tepat waktu.
3. Mengetahui apakah suatu kegiatan tergantung atau tidak dengan kegiatan lainnya
4. Sebagai rekaya *value engineering* sehingga dapat ditentukan metode kerja termurah dengan kualitas terbaik.
5. sebagai persyaratan dokumen tender lelang proyek.

Adapun beberapa tanda atau simbol – simbol yang digunakan pada *Network planning* yaitu :

a) Anak panah (*Arrow*); Kegiatan (*Activity*); *Job*

Anak panah ini menunjukkan bahwa hubungan antara kegiatan, demikian juga dicantumkan durasi. Sebuah anak panah

mewakili suatu kegiatan. Awal busur dinyatakan sebagai permulaan kegiatan dan mata panah menunjukkan sebagai akhir kegiatan.



Gambar 2. 41 Anak Panah (*Arrow*)

b) Lingkaran kecil (Node); Kejadian/Peristiwa (Even)

Lingkaran kecil merupakan awal atau ujung dari pertemuan satu atau lebih kegiatan – kegiatan (anak panah). *Node* dapat diberi nomor urut.



Gambar 2. 42 Lingkaran Kecil (*Node*)

c) Anak panah terputus – putus: Kegiatan semu (*Dummy*)

Perbedaan dengan kegiatan biasa, *dummy* tidak menggunakan durasi (nol) dan tidak menggunakan sumber daya. *Dummy* hanya berfungsi sebagai penghubung antar kegiatan.



Gambar 2. 43 Anak Panah Terputus – Putus (*Dummy*)

b. *Barchat* dan Kurva S

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

Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas 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.

Kurva “S” merupakan hasil plot dari *barchat* bertujuan untuk mempermudah untuk memahami kegiatan – kegiatan masuk dalam suatu jangka waktu pengamatan progress pelaksanaan proyek. Kurva S dapat menunjukkan kemampuan proyek berdasarkan kegiatan, waktu dan bobot pekerjaan yang direpresentasikan sebagai persentase kumulatif dari seluruh kegiatan proyek.

Dengan kurva S ini dapat mengetahui progress pada setiap waktu. Progress tersebut dapat berupa rencana dan pelaksanaan. Untuk setiap *barchat* yang dilengkapi dengan progress dapat dibuat kurva s. Bentuk kurva s biasanya mempunyai kemiringsn yang landau pada setiap permulaan dan tahap akhir dari pelaksanaan proyek. Kurva s diperlukan untuk menggambarkan progress pada momen tertentu. 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 dari rencana progress dan rencana dibandingkan maka akan dapat diketahui secara visual besarnya kecenderungan dari penyimpangan 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.

