

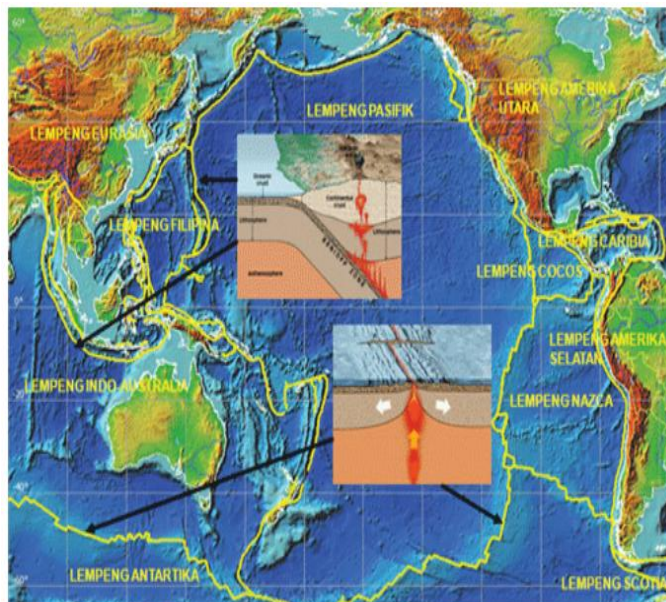
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Kebutuhan akan evaluasi kinerja struktur terutama struktur bangunan yang telah berdiri atau eksisting di masa depan akan menjadi tuntutan seiring dengan hasil riset-riset terbaru terhadap potensi bahaya gempa yang menunjukkan hasil perkiraan nilai percepatan muka tanah yang jauh berbeda, bahkan dengan peta wilayah gempa terbaru pada SNI 1726:2019.

Pada saat ini banyak dijumpai perencanaan struktur bangunan gedung yang hanya memperhitungkan beban gravitasi saja yang artinya gedung didesain tanpa memperhitungkan beban gempa, hal ini sangat berbahaya mengingat sebagian besar wilayah Indonesia masuk dalam kategori gempa dengan intensitas moderat hingga tinggi. Maka perencanaan struktur bangunan gedung Aman Gempa menjadi sangat penting terutama untuk gedung yang didesain pada wilayah gempa di Indonesia. (Pranata,2006).



Gambar 1.1 Lempeng-lempeng Tektonik Utama di Dunia
(<http://3.bp.blogspot.com/lempengtektonik.gif>)

2.2 Bangunan Aman Gempa

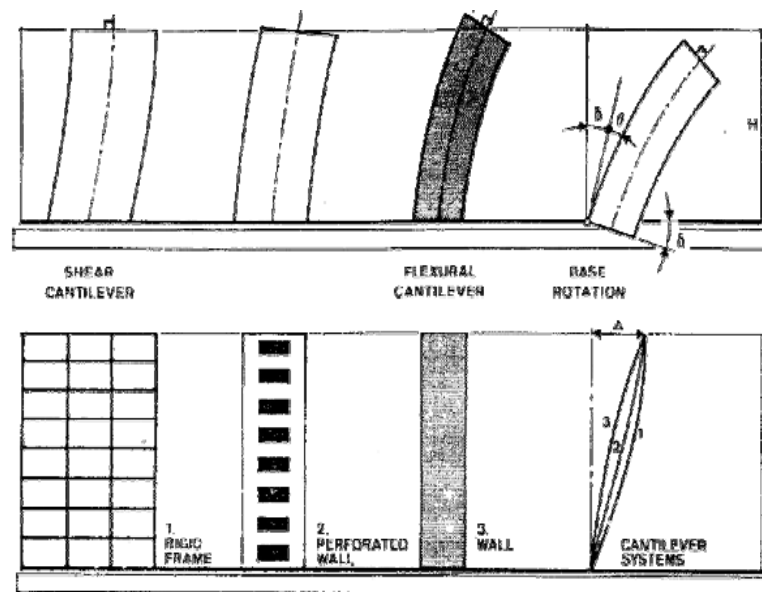
Suatu gedung dikatakan tinggi jika pada analisis struktur dan desain dipengaruhi oleh beban lateral yang akan menyebabkan goyangan pada bangunan tersebut. Goyangan adalah besarnya perpindahan lateral pada bagian atas bangunan terhadap dasarnya. Pada desain bangunan tinggi, sistem struktural harus mempertimbangkan persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Persyaratan kekuatan adalah faktor dominan dalam disain struktur bangunan rendah. Tetapi, ketika tinggi bangunan bertambah, maka persyaratan kekakuan dan stabilitas menjadi lebih penting dan lebih dominan dalam desain. (Taranath, 1998)

Bangunan tinggi pada **Gambar 2.1** merespon beban lateral sebagai *flexural cantilever* dimana struktur terdiri dari portal dengan dinding geser atau pengaku. Umumnya sistem ini dikontrol melalui rotasi karena telah mempunyai kekakuan terhadap geser yang tinggi yang disediakan oleh dinding masif atau gaya aksial batang diagonal sehingga perpindahan akibat geser dapat diabaikan. Di lain pihak, bangunan tinggi dapat bertindak sebagai *shear cantilever* ketika strukturnya merupakan portal kaku dengan gaya geser ditahan oleh girder dan kolom. Dalam hal ini efek rotasi, misalnya perpendekan aksial dan perpanjangan kolom dapat diabaikan pada perencanaan awal. Kombinasi kedua sistem tersebut, yaitu portal kaku dengan batang diagonal dapat menghasilkan defleksi berbentuk kurva S dengan tipe struktur portal kaku (*shear cantilever*) berada di atas struktur *flexural cantilever*. Sistem tersebut berlaku pada bangunan tinggi dimana dinding geser atau pengaku cukup langsing. (Schueller, 1989)

Bangunan Aman Gempa adalah bangunan yang strukturnya mampu menahan beban lateral akibat beban gempa. Tujuan dari struktur gedung yang ketahanan gempanya direncanakan dapat berfungsi sebagai berikut: (Schueller, 1989)

- Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempayang kuat,
- Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih bisa diperbaiki,
- Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang,

- Mempertahankan setiap layanan vital dari fungsi gedung.



Gambar 1.2 Efek Tipe Struktur pada Respon *Kantilever*
(Sumber: Schueller, 1989)

2.3 Perencanaan Elemen Struktur

2.3.1 Kuat Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ . Faktor reduksi kekuatan ϕ menurut SNI 2847:2019 dapat dilihat pada **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1 Faktor Reduksi Kuat Desain

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
1	Penampang terkendali tarik	0.9
2	Penampang terkendali tekan	
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	0.75
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0.65

No	Keterangan	Faktor Reduksi (ϕ)
3	Geser dan torsi	0.75
4	Tumpuan pada beton	0.65
5	Daerah angkur pasca tarik	0.85
6	Model strat pengikat, strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0.75
7	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman strand kurang dari panjang penyaluran a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran ϕ boleh ditingkatkan secara linier dari	0.75 0.75 – 0.9

(Sumber: SNI-2847:2019)

2.3.2 Perencanaan Balok

Menurut SNI 2847:2019 menjelaskan mengenai perencanaan elemen struktur balok adalah sebagai berikut:

1. Gaya aksial terfaktor pada komponen struktur dengan persamaan (2-1)

$$P_u \leq \frac{A_g f'_c}{10} \quad (2-1)$$

2. Bentang bersih untuk komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen pada b_w tidak boleh kurang dari yang lebih kecil 0,3h dan 250 mm.

2.3.2.1 Tulangan Longitudinal

1. Untuk tulangan atas maupun bawah, jumlah tulangan tidak boleh kurang dari persamaan

$$AS_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} bwd \quad (2-2)$$

tetapi tidak kurang dari $1,4 bwd/f_y$, dan rasio tulangan, ρ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

2. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari $d/4$ dan 100 mm. Sambungan lewatan tidak boleh digunakan jika
 - a. Dalam joint;
 - b. Dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint;
 - c. Bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

2.3.2.2 Persyaratan Kekuatan Geser

Pada peraturan beton SNI 2847:2019 membahas tentang kekuatan geser, sebagai berikut:

- a. Gaya Desain

Gaya geser desain, V_e , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin, M_{pr} , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributary terfaktor sepanjang bentangnya.

Keterangan:

M_{pr} = Kekuatan lentur yang mungkin terjadi pada komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka

joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit $1,25 f_y$ dan faktor reduksi kekuatan, (ϕ) sebesar 1.0, N.mm

b. Tulangan Transversal

Untuk menentukan tulangan transversal pada balok baik pada daerah tumpuan maupun lapangan, perlu ditinjau terlebih dahulu kekuatan beton dan tulangan untuk menahan gaya geser yang terjadi dengan menggunakan beberapa persamaan sebagai berikut:

1. Sesuai ketentuan SNI 2847:2019 pada daerah tumpuan kemampuan beton untuk menahan geser diasumsikan 0, maka $V_c = 0$, sedangkan pada daerah lapangan nilai V_c dan V_s maksimum dapat diperhitungkan sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019 yaitu:

$$V_c = 0.17 \sqrt{f_c} b w d \quad (2-3)$$

$$V_{s_{\max}} = 0.66 \sqrt{f_c} b w d \quad (2-4)$$

Sesuai dengan ketentuan bahwa nilai $V_s < V_{s_{\max}}$, dimana nilai V_s didapatkan dari rumus:

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c \quad (2-5)$$

2. Spasi tulangan geser sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019 dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{A_v F_y d}{V_s} \quad (2-6)$$

Menurut pasal yang sama yaitu SNI 2847:2019 spasi sengkang tidak boleh melebihi:

- a) $d/4$
- b) 6 kali diameter tulangan lentur kecil
- c) 150 mm

2.3.2.3 Persyaratan Kekuatan Lentur

Untuk daerah tarik tumpuan diambil nilai $\mu = M_n$. Sesuai SNI 2847:2019, kekuatan momen positif pada muka *joint* harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif (pada daerah desak tumpuan $\mu = 0,5 \mu$ baru). Baik kekuatan momen negatif atau positif pada setiap penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan (pada daerah tarik maupun desak lapangan $\mu = 0,25 \mu$ baru).

$$R_n \text{ perlu} = \frac{\mu \text{ baru}}{0.9.b.w.d^2} \quad (2-7)$$

$$\rho \text{ perlu} = \frac{0.85.f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85.f'c}}\right) \quad (2-8)$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y} \text{ atau } \rho_{\min} \frac{0.25.\sqrt{f'c}}{f_y} \quad (2-9)$$

2.3.3 Perencanaan Kolom

Dalam menentukan estimasi dimensi kolom ditentukan berdasarkan beban aksial yang bekerja diatas kolom tersebut. Beban yang bekerja pada kolom meliputi beban mati dan juga hidup pelat, balok, serta berat dari kolom sebelumnya yang juga menumpu lantai diatasnya (jika ada). Untuk komponen struktur nonprategang dengan tulangan sengkang berdasarkan SNI-2847:2019 dengan persamaan:

$$\phi P_n \text{ maks} = 0,8 \phi [0,85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (2-10)$$

2.3.3.1 Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.10.1 untuk komponen struktur tekan yang tidak bergoyang, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dengan persamaan:

$$\frac{k.lu}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2} \leq 40 \quad (2-11)$$

Keterangan :

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan

r = radius girasi suatu penampang komponen struktur tekan

lu = panjang bersih komponen struktur tekan

- M1 = momen lentur terkecil
M2 = momen lentur terbesar

2.3.3.2 Kuat Lentur

Kuat lentur yang dirancang pada kolom harus memiliki kekuatan untuk menahan momen balok yang bekerja pada kedua arah. Momen minimal dirancang minimum 20% lebih besar dibanding momen balok disuatu hubungan balok kolom untuk mencegah terjadinya leleh pada kolom yang pada dasarnya didesain sebagai komponen pemikul beban lateral. Berdasarkan SNI 2847:2019 terdapat persamaan:

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb} \quad (2-12)$$

Keterangan :

- $\sum M_{nc}$ = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka pada hubungan balok kolom
 $\sum M_{nb}$ = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka pada hubungan balok kolom

2.3.3.3 Tulangan Memanjang

Luas tulangan memanjang, A_{st} tidak boleh kurang dari 0,01 A_g atau lebih dari 0,06 A_g .

2.3.3.4 Tulangan Transversal

Tulangan transversal dipasang sepanjang l_o dari setiap muka joint pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari yang terbesar dari :

1. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi
2. Seperenam bentang bersih komponen struktur
3. 450 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang lo tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

1. Seperempat dimensi komponen struktur minimum
2. 6 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil
3. $s_o = 100 + (1 - \frac{350-hs}{3})$ (2-13)

Nilai s_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.

Jumlah tulangan transversal ditentukan sebagai berikut :

1. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat, ρ_s tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0.12 \frac{f_{rc}}{f_{yt}} \quad (2-14)$$

Dan juga tidak boleh kurang dari :

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_{rc}}{f_{yt}} \quad (2-15)$$

2. Luas penampang tulangan sengkang persegi, A_{sh} tidak boleh kurang dari :

$$A_{sh} = \frac{s \cdot b_c \cdot f_{rc}}{f_{yt}} \left\{ \left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right\} \quad (2-16)$$

$$A_{sh} = 0.09 \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f_{rc}}{f_{yt}} \right) \quad (2-17)$$

2.3.3.5 Persyaratan Kekuatan Geser

Gaya geser desain, V_e harus ditentukan dari peninjauan terhadap gayagaya maksimum yang dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *joint* ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin, M_{pr} di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor, P_u yang bekerja pada komponen struktur. Dalam semua kasus V_e tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Tulangan transversal sepanjang panjang l_o diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan $V_c = 0$, bila mana:

1. Gaya geser yang ditimbulkan gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_o
2. Gaya tekan aksial terfaktor, P_u termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f'_c / 10 \lambda$.

Jika harus dihitung maka:

$$V_c = 0.17 \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (2-18)$$

Keterangan:

- A_{st} = Luas total tulangan longitudinal non-prategang
- A_{st} = Luas penampang total tulangan transversal
- H_s = Spasi horizontal kait silang atau kaki sengkang tertutup (hoop) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom.
- N_u = Gaya aksial terfaktor tegak lurus penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u , diambil sebagai positif untuk tekan dan negative untuk tarik.

2.3.4 Analisis Penampang Beton Bertulang

Terdapat dua jenis perhitungan yang bisa dilakukan dalam evaluasi penampang beton bertulang, yaitu sebagai berikut : (Iswandi Imran, 2010).

1. Analisis

Pada perhitungan analisis, diminta untuk menghitung resistance atau kapasitas penampang berdasarkan data penampang, kekuatan tekan beton, tegangan leleh baja, ukuran dan jumlah tulangan, dan lokasi tulangan.

2. Desain

Pada perhitungan desain, diminta untuk memilih penampang yang cocok (termasuk pemilihan dimensi, mutu beton f'_c , mutu tulangan f_y , tulangan, dan lain-lain) untuk menahan pengaruh beban terfaktor (seperti M_u).

2.3.4.1 Lentur

Asumsi dasar pada Teori Lentur Penampang Beton adalah sebagai berikut: (Imran, 2000)

1. Penampang tegak lurus sumbu lentur yang berupa bidang datar sebelum lentur akan tetap berupa bidang datar setelah lentur.
2. Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan baja (pada level yang sama, regangan pada beton adalah sama dengan regangan pada baja).
3. Tegangan pada beton dan tulangan dapat dihitung dengan menggunakan hubungan tegangan-regangan beton dan baja.
4. Untuk perhitungan kekuatan lentur penampang, kuat tarik beton diabaikan.
5. Beton diasumsikan runtuh pada saat regangan tekannya mencapai regangan batas tekan.
6. Hubungan tegangan-regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapezium, atau parabola, atau lainnya.

Sedangkan blok tegangan tekan persegi ekuivalen didefinisikan sebagai berikut: (Imran, 2000)

- a. Tegangan tekan merata sebesar $\alpha_1 f_c'$ (dimana $\alpha_1 = 0,85$) diasumsikan bekerja disepanjang zona tekan ekuivalen yang berjarak $a = \beta_1 c$ dari serat tekan terluar (ekstrim).
- b. Jarak c dari posisi serat tekan terluar ke sumbu netral diukur tegak lurus terhadap sumbu netral tersebut.
- c. Nilai β_1 diambil sebagai berikut :

Untuk $f_c' \leq 30$ MPa $\beta_1 = 0,85$

Untuk $30 \text{ MPa} < f_c' \leq 55 \text{ MPa}$ $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30 \text{ MPa})$

Untuk $f_c' > 55 \text{ MPa}$ $\beta_1 = 0,65$

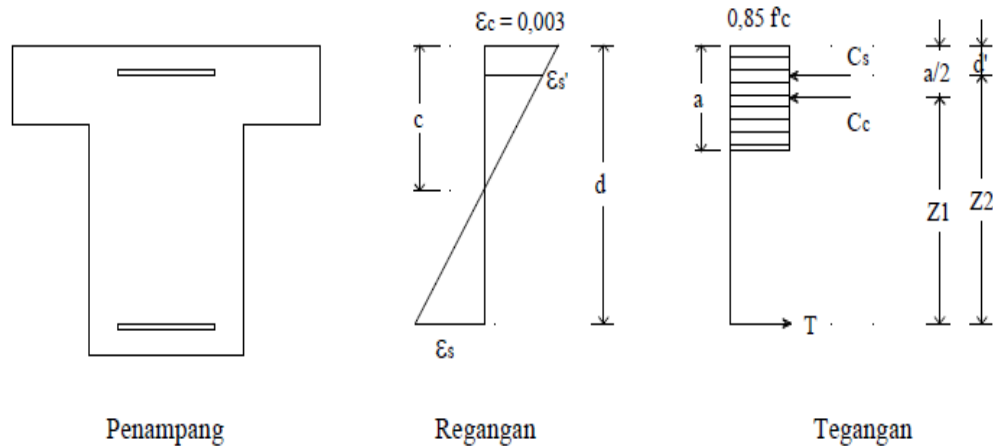
Untuk dapat menggambarkan blok tegangan tekan persegi ekuivalen hanya menggunakan dua parameter, yaitu α_1 dan β_1 . Berdasarkan distribusi tegangan, kekuatan lentur dihitung sebagai berikut:

$$C = 0,85 f_c' b a \quad (2-19)$$

$$T = A_s f_y \text{ (tulangan diasumsikan leleh sebelum beton hancur)} \quad (2-20)$$

$$\text{Syarat keseimbangan } C = T, \text{ maka } a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \quad (2-21)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi } M_n &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= A_s f_y \left(d - 0.59 \cdot \frac{A_s f_y}{f_c b} \right)
 \end{aligned}
 \tag{2-22}$$



Gambar 1.3 Penampang Balok T
(Sumber: Schuller, 1989)

2.3.4.2 Geser

2.3.4.2.1 Analisis dan Desain Balok Beton Bertulang terhadap Geser

Persamaan dasar untuk mendesain balok beton bertulang terhadap geser adalah sebagai berikut : (Schueller, 1989)

$$V_n \geq V_u \tag{2-23}$$

Kekuatan geser nominal ditentukan dengan memperhitungkan baik kontribusi beton maupun kontribusi tulangan sengkang, sehingga :

$$V_n = V_c + V_s \tag{2-24}$$

Keterangan :

- ϕ : faktor reduksi geser = 0,75
- V_u : gaya geser terfaktor
- V_n : kekuatan geser nominal
- V_c : gaya geser yang dipikul oleh beton

V_s : gaya geser yang dipikul oleh sengkang

2.3.4.2.2 Kapasitas Geser Balok tanpa Tulangan Sengkang

Balok tanpa tulangan sengkang akan runtuh sesaat setelah terbentuknya retak miring. Oleh karena itu, kapasitas geser balok tanpa tulangan sengkang biasanya diambil sama dengan gaya geser yang menyebabkan retak miring. Gaya geser yang dapat menyebabkan retak miring pada balok tanpa tulangan sengkang dapat dihitung sebagai berikut : (Imran, 2000)

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u}}{7} \right) b_w d \quad (2-25)$$

Harga V_c yang dihitung dari persamaan di atas tidak boleh diambil lebih dari $0.3\sqrt{f'c}b_w d$, Sebagai penyederhanaan persamaan di atas, peraturan Indonesia mengizinkan penggunaan persamaan berikut untuk perhitungan kapasitas geser, yaitu :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_w d \quad (2-26)$$

Untuk elemen struktur yang dibebani aksial, kapasitas geser beton dihitung sebagai berikut :

- Untuk kombinasi dengan gaya aksial tekan

$$V_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \sqrt{f'c} b_w d \quad (2-27)$$

- Untuk kombinasi dengan gaya aksial tarik

$$V_c = \frac{1}{6} \left(1 + \frac{0.3 N_u}{14 A_g} \right) \sqrt{f'c} b_w d \quad (2-28)$$

2.3.4.2.3 Balok dengan Tulangan Geser

Keruntuhan geser pada balok tanpa tulangan geser biasanya bersifat tiba-tiba dan getas, maka disyaratkan adanya tulangan geser minimum pada balok yang dikenai gaya geser V_n yang besarnya melebihi $(0.5 V_c)$, kecuali pada elemen pelat atau pondasi telapak, dan balok dengan ketinggian tidak lebih dari 250 mm, 2,5 tebal sayap atap, dan 0,5 tebal badan. Pengecualian tersebut berlaku pada jenis-jenis elemen struktur yang memungkinkan terjadinya redistribusi gaya di sepanjang lebar elemen. Pada elemen-elemen struktur tersebut, tulangan geser baru diperlukan jika $V_n \geq V_c$. Namun untuk perencanaan bangunan Aman Gempa, tulangan geser

minimum harus dipenuhi oleh setiap balok. Hal ini dikarenakan pada perencanaan bangunan Aman Gempa V_c biasanya diambil $= 0$. (Imran, 2000)

2.3.4.3 Kombinasi Aksial dan Lentur

2.3.4.3.1 Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebani Secara Konsentrik

Kekuatan kolom pendek yang dibebani secara konsentrik terbagi atas komponen sumbangan beton dan sumbangan baja, yaitu : (Imran, 2000)

$$P_{oc} = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) \quad (2-29)$$

$$P_{os} = f_y A_{st} \quad (2-30)$$

Keterangan :

A_{st} : luas total tulangan baja, yaitu $A_s + A_{s'}$

A_g : luas total penampang kotor

Penggunaan nilai 0.85 dalam perhitungan kekuatan kolom didasari atas adanya perbedaan kekuatan tekan beton pada elemen struktur aktual terhadap kuat tekan beton silinder, yaitu:

$$f_{co}' = 0,85 f_c' \quad (2-31)$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka kekuatan kolom menjadi:

$$P_o = 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \quad (2-32)$$

Untuk menghindari perlunya perhitungan eksentrisitas minimum seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, disyaratkan adanya reduksi kekuatan sedemikian rupa sehingga: (Schueller, 1991)

- Untuk kolom dengan tulangan spiral

$$P_n \text{ maks} = 0,85 (0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2-33)$$

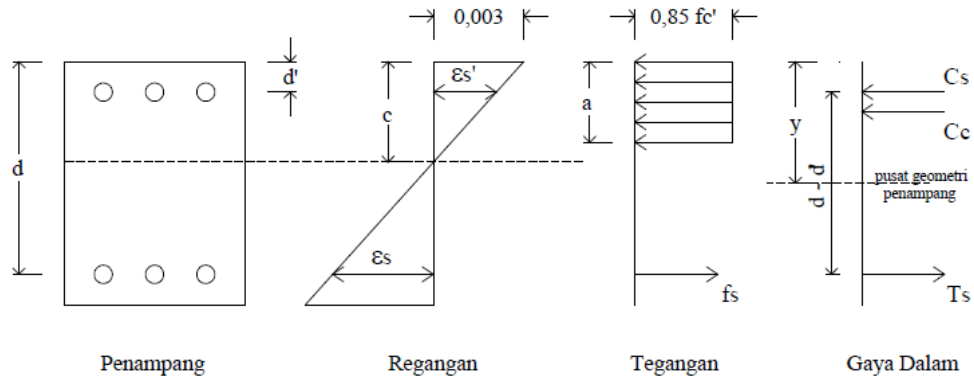
- Untuk kolom dengan tulangan pengikat

$$P_n \text{ maks} = 0,80 (0,95 f_c' (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2-34)$$

Nilai kekuatan nominal di atas harus dikalikan lagi dengan faktor reduksi untuk elemen struktur tekan, yaitu $\phi = 0,70$ untuk kolom dengan tulangan spiral, dan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan pengikat atau sengkang.

2.3.4.3.2 Kekuatan Kolom Pendek yang Dibebani Secara Eksentrik

Prinsip blok tegangan persegi ekuivalen yang berlaku pada analisis balok dapat juga diterapkan pada analisis kolom terhadap beban eksentrik.



Gambar 1.4 Distribusi Tegangan pada Penampang Kolom

(Sumber: Imran, 2000)

Keterangan gambar :

Regangan

$$\epsilon_s = 0.003 \frac{d-c}{c} \quad (2-35)$$

$$\epsilon_{s'} = 0.003 \frac{c-d'}{c} \quad (2-36)$$

Tegangan

$$f_{s'} = E_s \epsilon_{s'} \leq f_y \quad (2-37)$$

$$f_s = E_s \epsilon_s \leq f_y \quad (2-38)$$

Gaya Dalam

$$C_c = 0.85 f_c' b a \quad (2-39)$$

$$C_s = A_{s'} f_{s'} \quad (2-40)$$

$$T_s = A_s f_s \quad (2-41)$$

Persamaan keseimbangan untuk penampang kolom disyaratkan sebagai berikut : (Schueller, 1989)

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_s - T_s \\ &= 0.85 f_c' b a + A_{s'} f_{s'} - A_s f_s \end{aligned} \quad (2-42)$$

$$M_n = P_n \cdot e$$

$$\begin{aligned} &= C_c \left(y - \frac{a}{2} \right) + C_s (y - d') + T_s (d - y) \\ &= 0.85 b a \left(y - \frac{a}{2} \right) + A_{s'} f_{s'} (y - d') + A_s f_s (d - y) \end{aligned} \quad (2-43)$$

Pada persamaan di atas, jarak netral c diasumsikan berada dalam daerah d penampang, sehingga tulangan baja pada lokasi d benar-benar mengalami gaya tarik. Perlu dicatat bahwa gaya aksial P_n tidak boleh lebih besar dari P_n maks. Dari persamaan-persamaan tersebut dapat dilihat bahwa terdapat beberapa parameter yang tidak diketahui, yaitu tinggi blok tegangan ekuivalen (a), f_s' , f_s , dan P_n untuk e tertentu atau e untuk P_n tertentu. Nilai f_s' dan f_s dapat dinyatakan dalam a , sehingga tinggal dua bilangan yang tidak diketahui, yaitu a dan P_n atau a dan e . Dengan dua persamaan yang ada, kita dapat memecahkan harga a dan e . Seperti disebutkan sebelumnya, jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada kolom pendek adalah leleh tulangan tarik dan keruntuhan tekan. Kondisi balance tercipta jika keruntuhan terjadi bersamaan pada tulangan tarik dan beton tekan. Jika P_n adalah beban aksial dan P_{nb} adalah beban aksial yang berkaitan dengan keruntuhan balance, maka : (Imran, 2000)

$$P_n < P_{nb} \text{ (keruntuhan tarik)}$$

$$P_n = P_{nb} \text{ (keruntuhan balance)}$$

$$P_n > P_{nb} \text{ (keruntuhan tekan)}$$

2.3.4.3.3 Faktor Reduksi Kekuatan Kolom

Seperti yang telah diketahui bahwa faktor reduksi untuk kondisi lentur murni adalah $\phi = 0,80$. Sedangkan untuk kombinasi lentur dan aksial tekan adalah $\phi = 0,70$ untuk kolom dengan tulangan spiral, dan $\phi = 0,65$ untuk kolom dengan tulangan pengikat atau sengkang. (Imran, 2000) Faktor reduksi untuk kombinasi lentur dan aksial boleh ditingkatkan dari $\phi = 0,70$ ke $0,80$ (untuk tulangan spiral) dan dari $\phi = 0,65$ sampai $0,8$ (untuk tulangan sengkang pengikat) jika P_n lebih kecil dari pada $0,1 a_g f_c'$. Jadi untuk kolom dengan tulangan ikat, nilai faktor reduksi kekuatan kolom adalah :

$$\phi = 0.80 - \frac{0,15\phi P_n}{0,1f_c'A_g} \geq 0,65 \quad (2-44)$$

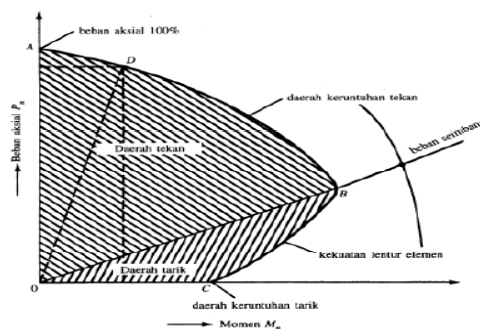
Sedangkan untuk kolom dengan tulangan spiral, nilai faktor reduksi kekuatan kolom adalah :

$$\phi = 0.80 - \frac{0,10\phi P_n}{0,1f_c'A_g} \geq 0,70 \quad (2-45)$$

Batasan tersebut secara umum berarti bahwa faktor reduksi 0,65 dan 0,70 hanya diberlakukan jika keruntuhan yang terjadi didahului oleh keruntuhan tekan. Batasan di atas dapat juga diterapkan langsung untuk kolom dengan $f_y \leq 400$ MPa, tulangan longitudinal bersifat simetris, dan $\frac{h-d'-ds}{h} \geq 0,70$. (Schueller, 1989) Untuk kolom lain yang tidak memenuhi persyaratan di atas, maka P_b harus dihitung terlebih dahulu, kemudian faktor reduksi dapat dikurangi seperti persamaan di atas jika nilai ϕP_n lebih kecil dari $0,1 A_g f_c'$ atau ϕP_b . Jika nilai ϕP_b lebih kecil daripada nilai $0,1 A_g f_c'$ maka pembagi pada persamaan di atas, yaitu $0,1 A_g f_y$ diganti menjadi ϕP_b . (Imran, 2000)

2.3.4.3.4 Diagram Interaksi P-M

Kapasitas suatu penampang kolom beton bertulang dapat dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi P-M, yang menunjukkan hubungan beban aksial dan momen lentur pada elemen struktur tekan pada kondisi batas. Setiap titik pada kurva menunjukkan satu kombinasi P_n dan M_n untuk penampang dengan kondisi atau lokasi sumbu netral yang tertentu. (Imran, 2000)



Gambar 1.5 Diagram Interaksi Kolom

(Sumber : McCormac, 2003)

Prosedur perencanaan untuk penampang kolom adalah sebagai berikut: (Sudarmoko, 1995).

1. Untuk P_u dan M_u yang bekerja pada penampang, hitung $e = \frac{M_u}{P_u}$

2. Asumsikan dimensi penampang dan rasio tulangnya (antar 1% – 4%)
3. Hitung P_{nb} untuk penampang yang diasumsikan tersebut dan tentukan tipe Keruntuhan
4. Kontrol apakah penampang cukup memadai (aman dan ekonomis). Asumsikan penampang baru jika penampang tidak memadai.
5. Desain tulangan lateral.

2.3.5 Joint Balok-Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2019, dijelaskan jika V_n joint tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari persamaan dibawah ini:

1. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka,

$$V_n = 1.7 \sqrt{f_c} A_j \quad (2-46)$$

2. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan,

$$V_n = 1.2 \sqrt{f_c} A_j \quad (2-47)$$

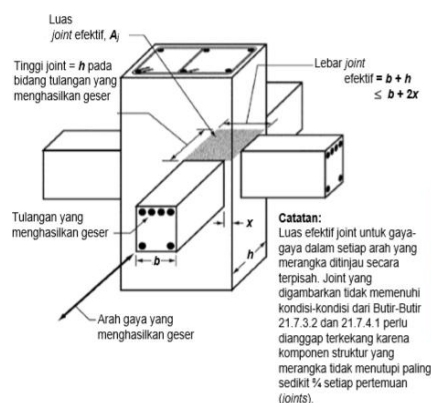
3. Untuk kasus-kasus lainnya,

$$V_n = 1.0 \sqrt{f_c} A_j \quad (2-48)$$

Keterangan:

V_{nt} = Kekuatan geser nominal

A_j = Luas penampang efektif pada joint



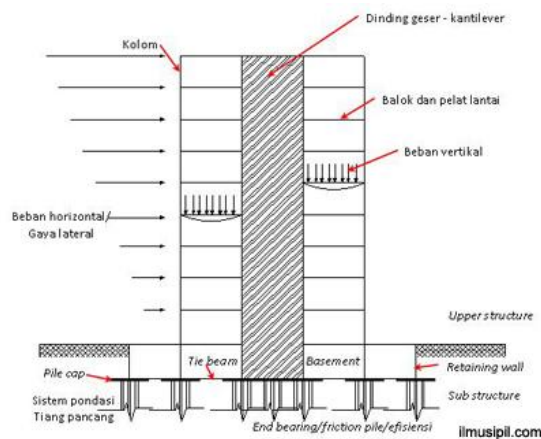
Gambar 1.6 Luas joint efektif

2.3.6 Perencanaan Plat Lantai, Plat Atap dan Tangga

Perencanaan pembebanan pada pelat dan tangga meliputi beban hidup dan beban mati yang dikombinasikan dan kemudian dipilih kombinasi yang memiliki nilai yang terbesar dari $1,4 \text{ DL}$ dan $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$. Tebat pelat minimum untuk pelat menggunakan panel dan tanpa menggunakan panel diatur dalam SNI 2847:2019.

2.4 Pembebanan

Dalam pembebanan yang akan ditinjau dalam tugas akhir ini meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa serta koefisien pembebanan. Untuk lebih jelasnya adalah sebagai berikut :



Gambar 1.7 Pembebanan pada Gedung Bertingkat

(Sumber : www.ilmusipil.com)

2.4.1 Beban Mati

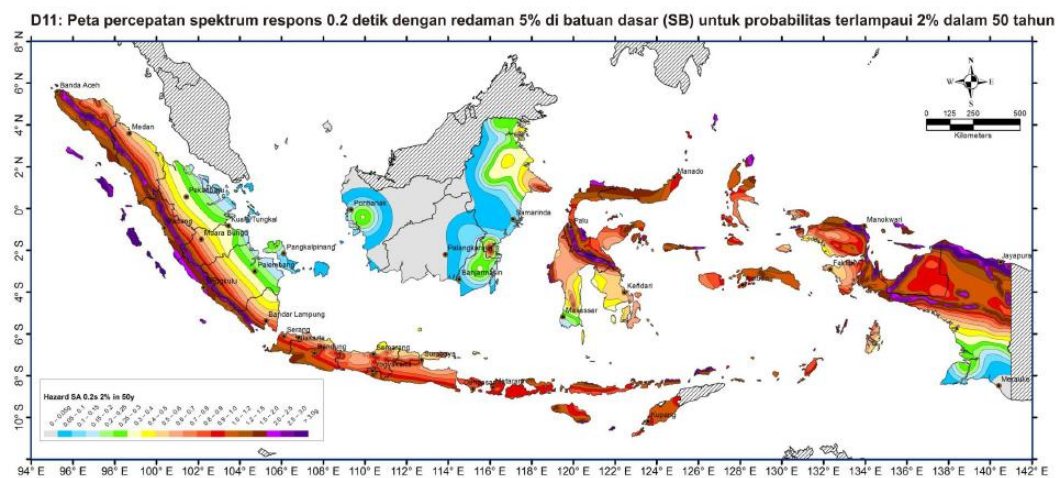
Beban mati yang diperhitungkan dalam struktur gedung bertingkat ini terdiri dari beban mati sendiri elemen struktur yang terdiri dari pelat lantai, balok, kolom, dan tangga serta untuk beban mati tambahan meliputi dinding, keramik, MEP, pasir dan lain – lain. Pembebanan tersebut berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUBG 1983). Pada beban mati sendiri elemen struktur sudah dihitung secara otomatis dengan program bantu ETABS dengan memberikan faktor pengali berat sendiri sama dengan 1. Sedangkan pada beban mati elemen tambahan diberikan faktor pengali sama dengan 0 dikarenakan beban tersebut diinput secara manual pada program bantu ETABS.

2.4.2 Beban Hidup

Beban hidup yang direncanakan dengan mengikuti Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUBG 1983) dan SNI 1727:2020.

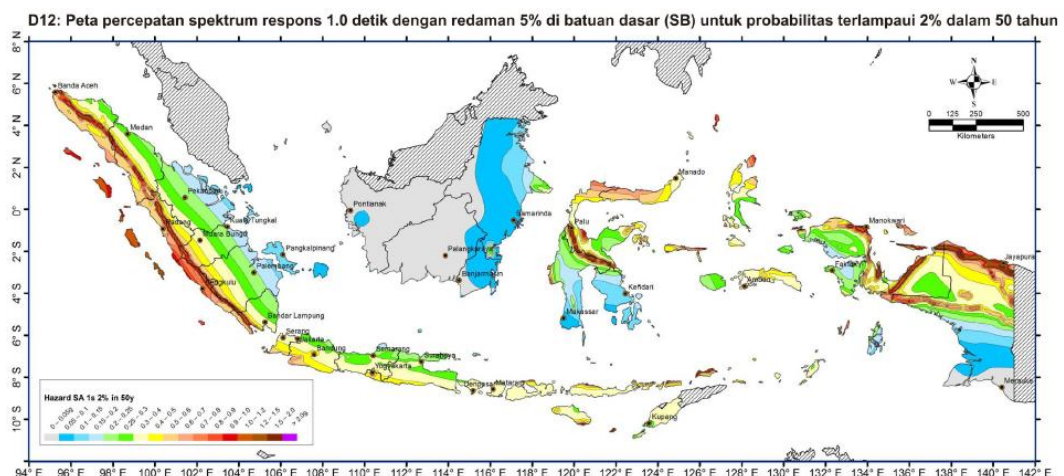
2.4.3 Beban Gempa

Dalam perhitungan beban gempa mengikuti aturan yang diterapkan berdasarkan SNI-1726:2019. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.



Gambar 1.8 Peta Gempa Tahun 2017

(Sumber : Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman)



Gambar 1.9 Peta Gempa Tahun 2017

(Sumber : Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman)

2.4.3.1 Klasifikasi Situs

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Berdasarkan SNI 1726:2019 mengatakan jika dalam penetapan kelas situs SC, SD, dan SE harus dilakukan dengan menggunakan sedikitnya hasil pengukuran dua dari tiga parameter v_s , N , dan S_u . Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 2.2

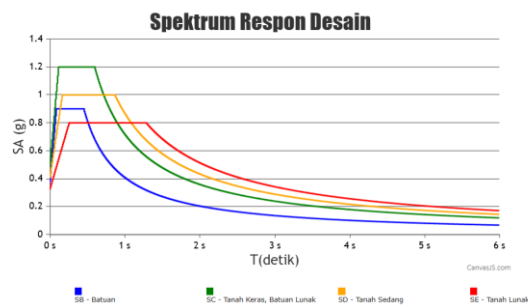
Tabel 1.2 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	350 sampai 750	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah. - Lempung sangat organik dan gambut (ketebalan $H > 3m$). - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7.5m$ dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$). Lapisan lempung lunak atau setengah teguh dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.3.2 SDS dan SD1

Untuk nilai SDS dan SD1 dapat ditentukan berdasarkan web desain spektra Indonesia. Namun terlebih dahulu mengetahui lokasi pada gedung yang akan ditinjau. Berikut adalah alamat web dan tampilan desain spectra pada lokasi Gedung Rumah Walet 3 Lantai di Desa Tetehosi, Kecamatan Idanogawo, Kabupaten Nias, Provinsi Sumatera Utara



Gambar 1.10 Halaman tampilan web desain spektra

(Sumber : <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>)

2.4.3.3 Kategori Resiko

Setiap jenis pemanfaatan bangunan gedung dan non gedung memiliki kategori resiko tertentu. Kategori resiko bangunan gedung dan non gedung sesuai tabel 2.3 terhadap beban pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e

Tabel 1.3 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: – Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan – Fasilitas sementara – Gudang penyimpanan – Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Perumahan – Rumah toko dan rumah kantor – Pasar – Gedung perkantoran – Gedung apartemen/ rumah susun – Pusat perbelanjaan/ mall – Bangunan industry – Fasilitas manufaktur – Pabrik	II
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Bioskop – Gedung pertemuan – Stadion – Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas penitipan anak – Penjara – Bangunan untuk orang jompo Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: – Pusat pembangkit listrik biasa – Fasilitas penanganan air – Fasilitas penanganan limbah	III

– Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
– Pusat telekomunikasi Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi.	III
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: – Bangunan-bangunan monumental – Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan – Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat – Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya – Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat	IV

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.3.4 Kategori Desain Seismik (KDS)

Struktur perlu memiliki suatu kategori desain seismik berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, baik pada perioda pendek (SDS) maupun pada perioda 1 detik (SD1). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.4 serta tabel 2.5.

Tabel 1.4 Kategori desain seismik (K_{DS}) berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek (S_{DS})

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : SNI-1726:2019)

Tabel 1.5 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{D1})

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.167$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.3.5 Kombinasi Sistem Perangkai

Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan Kategori Desain Seismic (KDS). Nilai faktor C_d , R dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa dapat ditentukan berdasarkan SNI-1726:2019.

2.4.3.6 Faktor Keutamaan I_e

Dalam perencanaan gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor pengali berdasarkan kategori resiko gedung untuk menyesuaikan periode ulang gempa. Berikut ini merupakan faktor keutamaan gempa pada tabel 2.6.

Tabel 1.6 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.3.7 Periode Fundamental

Dalam perencanaan Berdasarkan SNI-1726:2019 periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_{amin} = C_t h_n^x \quad (2-49)$$

$$\text{Syarat : } T_a < T_c < C_u T_a$$

Keterangan :

T_a = Periode fundamental struktur (detik)

T_c = ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

C_t dan x merupakan nilai koefisien ditentukan dari Table 2.7

C_u merupakan nilai koefisien ditentukan dari tabel 2.8 dan berdasarkan nilai SD

Tabel 1.7 Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	X
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap Tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

(Sumber : SNI-1726:2019)

Tabel 1.8 Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
≥ 0.4	1.4

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.3.8 Koefisien Respons Gempa

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan melalui persamaan berikut :

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-50)$$

Keterangan :

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respons pada perioda 1,0 detik

R = faktor modifikasi respons

I_e = faktor keutamaan gempa

Selanjutnya, nilai C_s pada persamaan 2-23 tidak perlu melebihi persamaan Berikut :

$$C_s = \frac{S_{DI}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2-51)$$

Dengan syarat nilai C_s pada persamaan (2-50) dan (2-51) harus kurang dari persamaan berikut :

$$C_{smin} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (2-52)$$

$$C_{smin} = \frac{0.5 S_{DI}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \text{ (hanya untuk } S_1 \geq 0.6 \text{ g)} \quad (2-53)$$

Dari persamaan (2-52) dan (2-53), diambil nilai C_s yang terkecil.

2.4.3.9 Gaya Geser Gempa

Untuk gaya geser gempa dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V = C_s \times W \quad (2-54)$$

Keterangan :

- V = Gaya geser gempa
C_s = Koefisien respons *seismic*
W = Berat efektif bangunan

2.4.3.10 Desain Respons Spektrum

Desain respons spektra dapat ditunjukkan dalam gambar 3.2 dengan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T₀, Spectrum respons percepatan desain S_a harus diambil dari persamaan berikut :

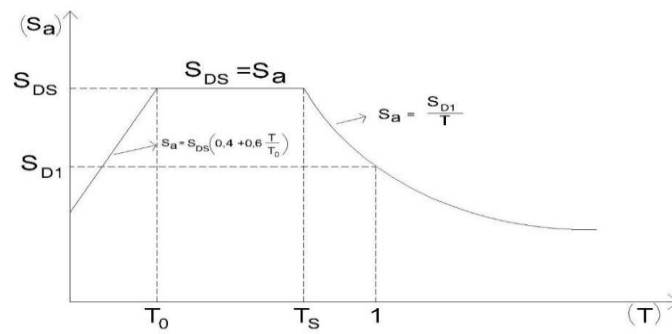
$$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) \quad (2-55)$$

2. Untuk perioda yang lebih besar dari atau sama dengan T₀ dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s, maka spectrum respons percepatan desain S_a, sama dengan S_{DS}.
3. Untuk Perioda lebih besar dari T_s, spectrum respons percepatan desain, S_a diambil berdasarkan persamaan berikut:

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} \quad (2-56)$$

Keterangan :

- S_a = percepatan respons spektra
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek
S_{DI} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik
T = perioda getar fundamental struktur
T₀ = $0.2 \frac{S_{DI}}{S_{DS}}$
T_s = $\frac{S_{DI}}{S_{DS}}$



Gambar 1.11 Desain Respons Spektra

(Sumber : SNI-1726:2019)

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Menurut Tavo (2018) Berikut merupakan kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI-1726:2019.

1. $U = 1.4 D$ (2-57)
2. $U = 1.2 D + 1.6 L$ (2-58)
3. $U = 1.2 D + 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} + 0.5 L$ (2-59)
4. $U = 1.2 D + 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} + 0.5 L$ (2-60)
5. $U = 1.2 D - 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy} + 0.5 L$ (2-61)
6. $U = 1.2 D - 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy} + 0.5 L$ (2-62)
7. $U = 1.2 D + 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} + 0.5 L$ (2-63)
8. $U = 1.2 D + 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} + 0.5 L$ (2-64)
9. $U = 1.2 D - 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx} + 0.5 L$ (2-65)
10. $U = 1.2 D - 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx} + 0.5 L$ (2-66)
11. $U = 0.9 D + 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy}$ (2-67)
12. $U = 0.9 D + 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy}$ (2-68)
13. $U = 0.9 D - 1.0 E_{qx} + 0.3 E_{qy}$ (2-69)
14. $U = 0.9 D - 1.0 E_{qx} - 0.3 E_{qy}$ (2-70)
15. $U = 0.9 D + 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx}$ (2-71)
16. $U = 0.9 D + 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx}$ (2-72)
17. $U = 0.9 D - 1.0 E_{qy} + 0.3 E_{qx}$ (2-73)
18. $U = 0.9 D - 1.0 E_{qy} - 0.3 E_{qx}$ (2-74)
19. $G_{raf} = 1.2 D + 1.0 L$ (2-75)

Keterangan :

D = beban mati

L = beban hidup

E_x = beban gempa arah x

E_y = beban gempa arah y

p = faktor redundansi, (ketentuan berdasarkan SNI-1726:2019 dengan menggunakan parameter kategori desain seismik untuk menentukan nilai p)

2.5 Balok Sloof

Balok sloof merupakan elemen struktural yang memiliki peran penting dalam sistem pondasi bangunan. Keberadaannya tidak hanya berfungsi sebagai pengikat pondasi tetapi juga berkontribusi dalam distribusi beban dan stabilitas struktur. Dalam perencanaan struktur, balok sloof sering diasumsikan sebagai perletakan jepit karena interaksinya dengan pondasi dan elemen struktural lainnya.

Menurut (Hibbeler, 2004) dalam buku Mekanika Teknik, perletakan jepit didefinisikan sebagai perletakan yang mampu menahan gaya horizontal, gaya vertikal, serta momen. Hal ini sesuai dengan karakteristik balok slof yang tertanam kuat pada pondasi, sehingga mampu membatasi rotasi serta perpindahan lateral pada ujung-ujungnya. Oleh karena itu, dalam perhitungan struktur, balok slof sering dianalisis menggunakan asumsi perletakan jepit untuk menentukan distribusi gaya dan momen yang bekerja pada sistem struktur bawah bangunan.

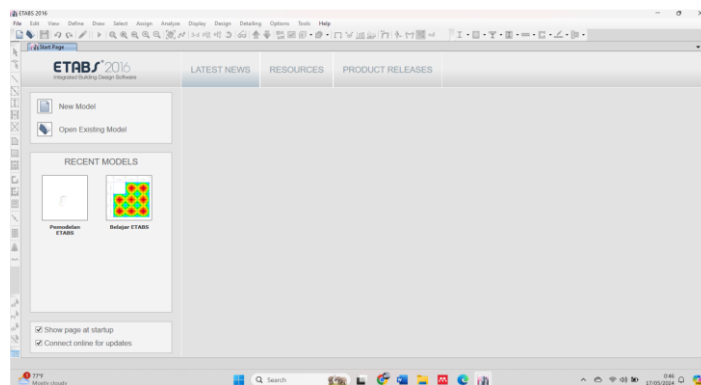
Menurut (Das & Sivakugan, 2018) dalam *Principles of Foundation Engineering*, struktur bawah (termasuk sloof) harus diperhitungkan dalam interaksi dengan tanah untuk mengurangi deformasi yang berlebihan. Balok sloof membantu meningkatkan rigiditas sistem pondasi dan memperkecil perbedaan penurunan antar pondasi.

Menurut (Terzaghi et al., 1996) dalam *Soil Mechanics in Engineering Practice*, pondasi yang tidak memiliki pengaku atau pengikat seperti balok sloof lebih rentan mengalami kegagalan akibat pergerakan horizontal atau perbedaan daya dukung tanah. Oleh karena itu, sloof menjadi bagian penting dalam meningkatkan stabilitas pondasi.

Dari beberapa pendapat para ahli diatas maka dapat di simpulkan bahwa balok sloof memiliki peran krusial dalam sistem pondasi bangunan, tidak hanya sebagai pengikat pondasi tetapi juga dalam distribusi beban dan stabilitas struktur. Secara struktural, balok sloof sering diasumsikan memiliki perletakan jepit karena kemampuannya menahan gaya horizontal, vertikal, serta momen, yang membatasi rotasi dan perpindahan lateral. Selain itu, balok sloof berkontribusi dalam meningkatkan rigiditas sistem pondasi, mengurangi deformasi berlebihan, serta mencegah kegagalan akibat pergerakan horizontal atau perbedaan daya dukung tanah. Dengan demikian, keberadaan balok sloof sangat penting untuk memastikan kestabilan dan keandalan struktur bawah bangunan.

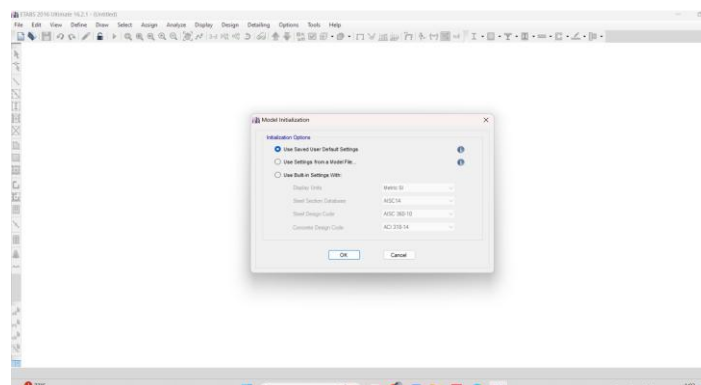
2.6 Langkah-Langkah Analisis Data Menggunakan Software ETABS

1. Membuka program dengan mengklik icon atau diambil dari start program.



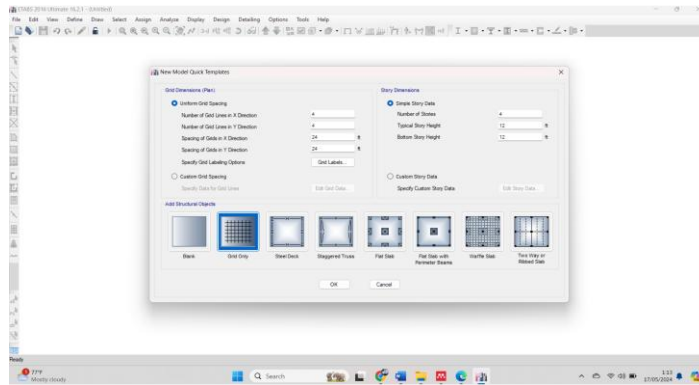
Gambar 1.12 Tampilan Awal Etabs

2. Kemudian membuat grid dan jarak grid sesuai dengan model yang mau dibuat dengan cara mengklik *File – New Model*. Maka akan muncul seperti tampilan dibawah.



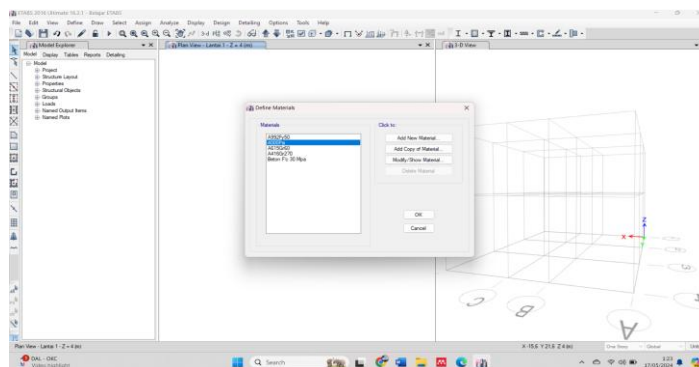
Gambar 1.13 Model Intialization

3. Klik ok, maka akan muncul *New Model Quick Templates*.



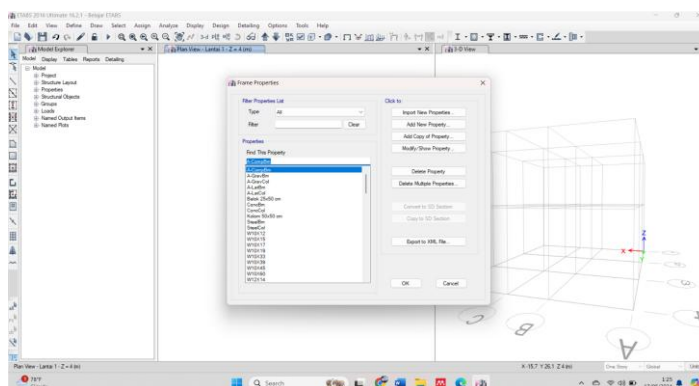
Gambar 1.14 *New Model Quick Templates*

4. Mendefinisikan material yang mau digunakan untuk menganalisis dengan cara mengklik *Define – Material Properties* – maka akan terlihat tampilan berikut :



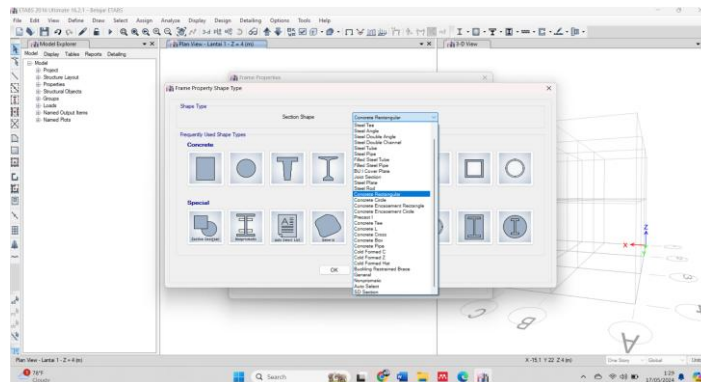
Gambar 1.15 *Define Material*

5. Kemudian Klik *Section Propertie – Frame Section*. Maka akan muncul seperti tampilan dibawah ini.



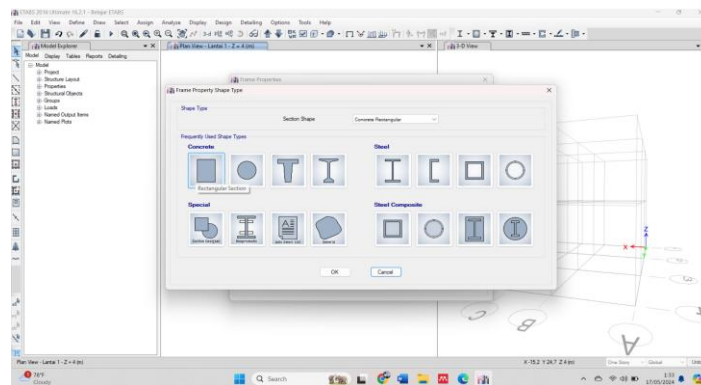
Gambar 1.16 *Frame Properties*

- Setelah itu akan muncul tampilan di bawah ini. Kemudian pilih *Concrete Rectangular*.



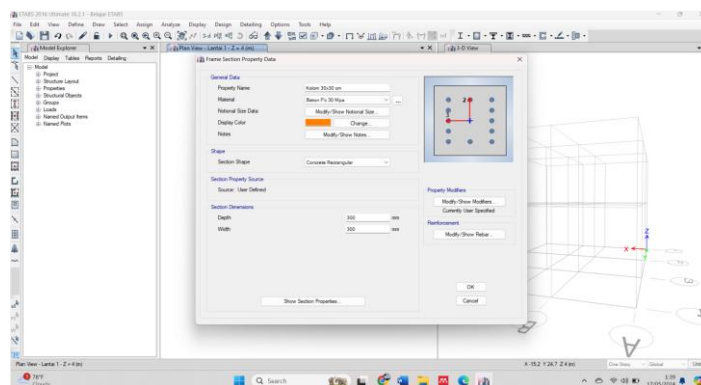
Gambar 1.17 *Frame Properties Shape Type*

- Kemudian Klik *Rectangular* sebelah kiri.

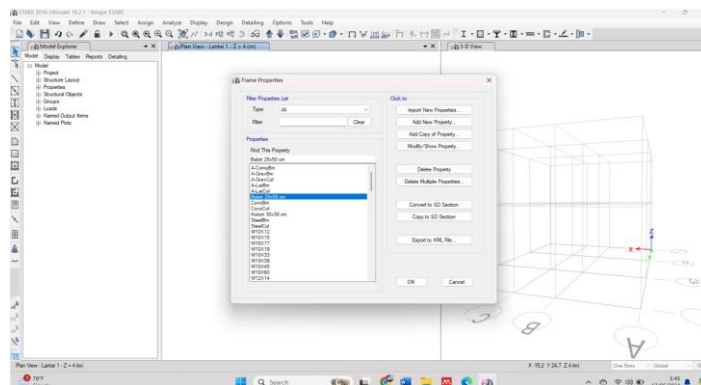


Gambar 1.18 *Concrete Rectangular*

- Memasukkan dimensi Balok dan Kolom

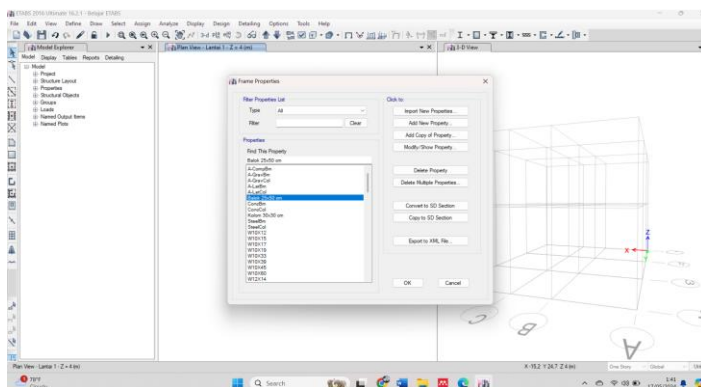


Gambar 1.19 Memasukan Dimensi Balok Dan Kolom



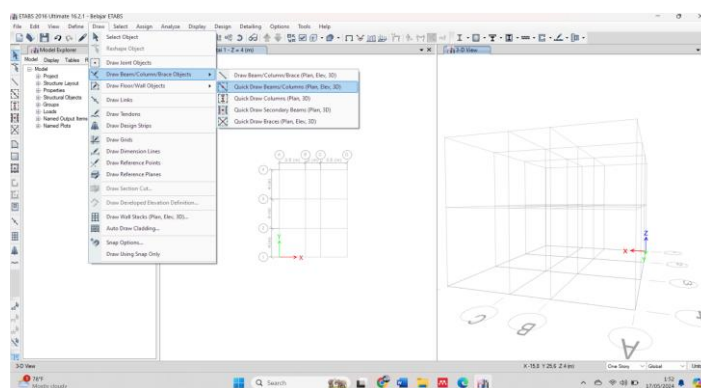
Gambar 1.20 Dimensi Balok Dan Kolom

9. Memasukan data plat lantai *Define – Section Properties – Slab Sections*

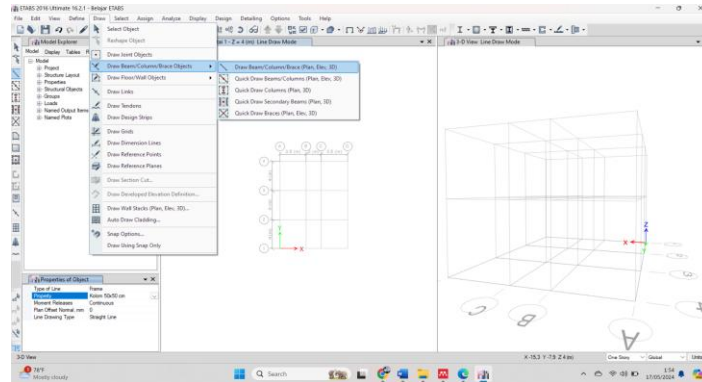


Gambar 1.21 Slab Properties

10. Penggambaran balok dan kolom Klik *Draw – Draw Beam/Column/Brace Objects – Quick Draw Beams/Column (Plan, Elev, 3D)*

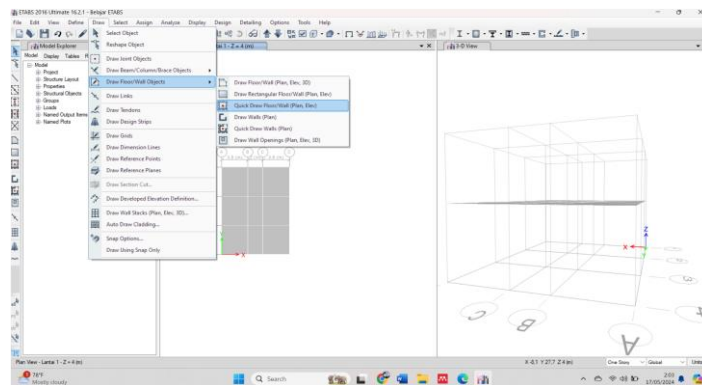


Gambar 1.22 Propertie Of Object Balok



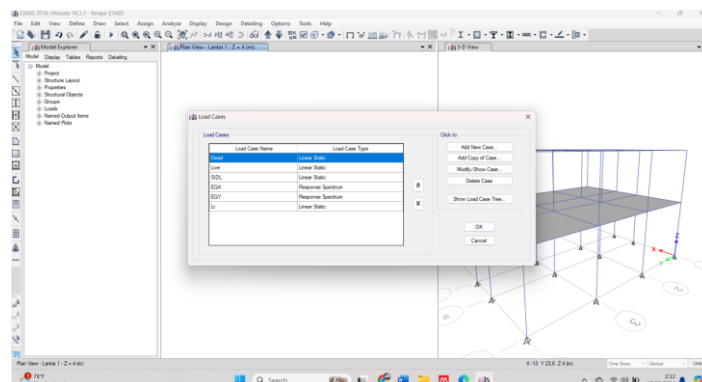
Gambar 1.23 *Propertie Of Object Kolom*

11. Penggambaran pelat lantai *Draw – Draw Floor/Wall Object*



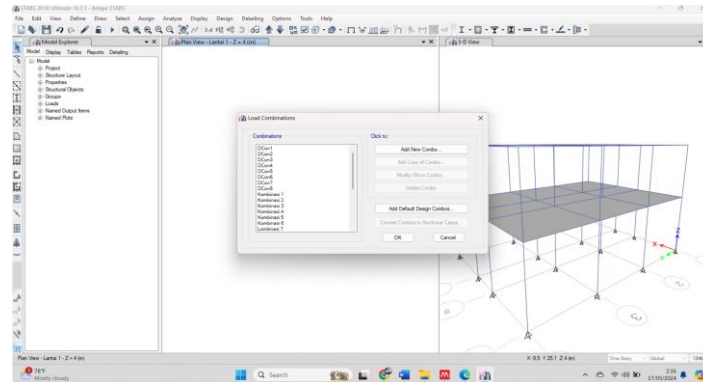
Gambar 1.24 *Propertie Of Object Pelat Lantai*

12. Membuat beban dengan cara *Define – Load Case*, maka akan terlihat tampilan seperti dibawah ini :



Gambar 1.25 *Load Case*

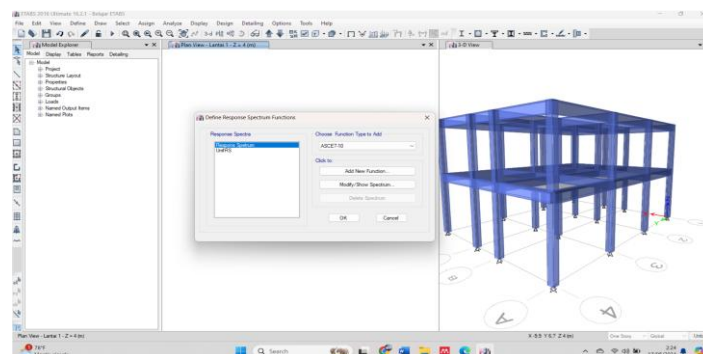
13. Kemudian Load Combination Data



Gambar 1.26 Load Combination Data

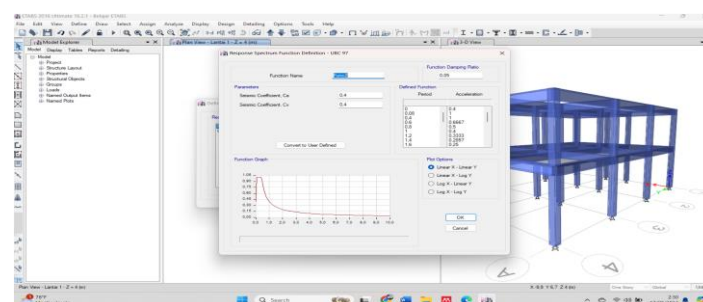
Isi kotak *Load Combination* nama dengan nama kombinasi beban (*COMB 1*) dan lakukan seterusnya dengan klik *Add New Combo*.

14. Membuat response spectrum function dengan cara klik *Define – Response Spectrum Function* maka akan terlihat tampilan seperti dibawah ini :



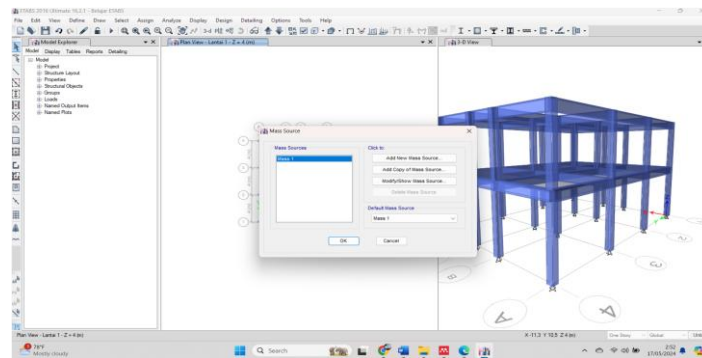
Gambar 1.27 Define Response Spectrume Fuction

15. Untuk mengisi Response Spectra klik pada kotak *Choose Function Type to Add UBC97 Spectrum* kemudian *Add New Function* maka akan terlihat tampilan seperti gambar berikut :



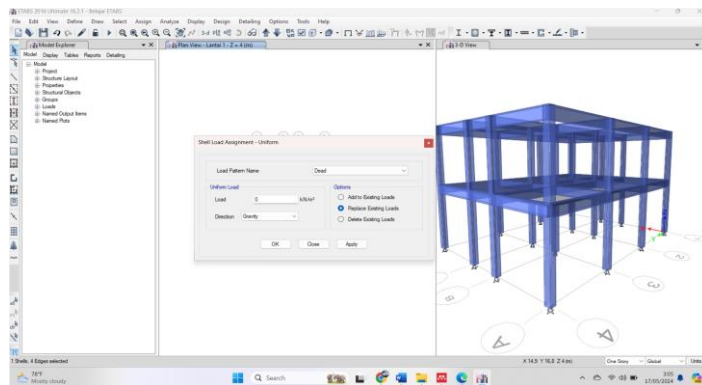
Gambar 1.28 Spectrum Fuction Definition

16. Menentukan sumber massa klik *Define - Mass Source - Add Jenis Massa* Pada Bangunan. Maka tampil seperti gambar berikut :



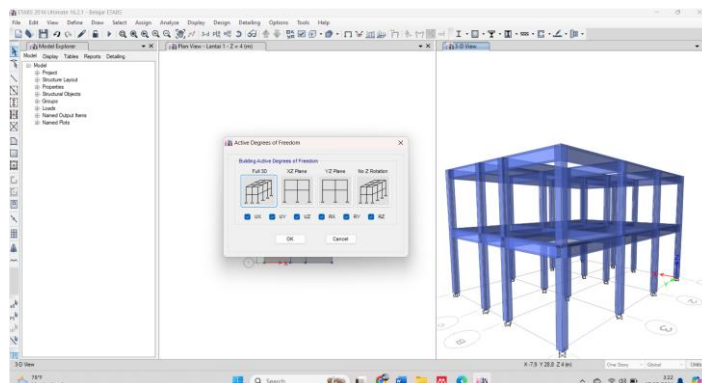
Gambar 1.29 *Define Mass Source*

17. Memasukan beban ke pelat lantai yang mau diberi beban – lalu klik *Assign - Shell/Area loads - Uniform*, maka akan tampil seperti berikut :



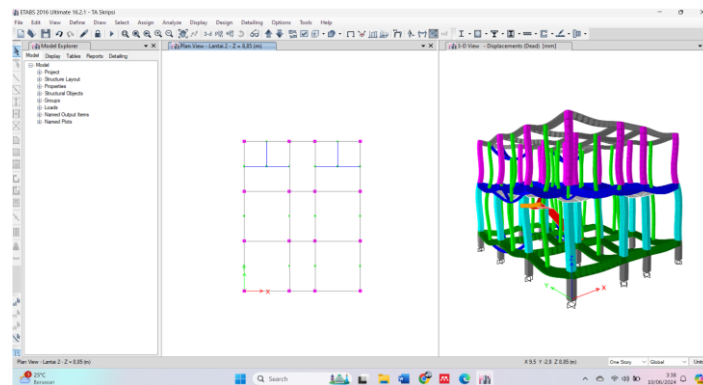
Gambar 1.30 *Uniform Surface Loads*

18. Untuk Analisis klik *Analyze - Set Analyze Option*, kemudian klik Full 3D. Maka akan tampil seperti gambar berikut.



Gambar 1.31 *Analyze Option*

19. Langkah terakhir menganalisis data dengan klik *Analyze – Run Analisis* untuk mendapatkan output momen. Maka akan muncul tampilan berikut.



Gambar 1.32 *Analyze (Run)*

2.7 Pembangunan Sarang Walet

Pembangunan gedung sarang walet bertujuan menciptakan lingkungan yang optimal untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas burung walet (*Aerodramus fuciphagus*) dalam menghasilkan sarang. Faktor-faktor utama yang perlu diperhatikan meliputi lokasi, desain bangunan, pengelolaan suhu dan kelembapan, serta manajemen pemeliharaan.

Menurut (Adhitama & Purwanto., 2021).Desain gedung walet harus meniru habitat alami burung walet, seperti gua atau tempat teduh dengan akses udara yang cukup. Bahan bangunan seperti beton digunakan untuk menjaga kelembapan dan suhu ruangan tetap stabil.

Menurut (Lestari et al., 2019).Suhu optimal untuk perkembangan burung walet berkisar antara 26°C hingga 29°C dengan kelembapan relatif sekitar 80-90%. Penggunaan ventilasi alami dan kontrol kelembapan, seperti pemasangan perangkat pengabutan atau water mist system, dapat membantu menjaga kondisi ini.

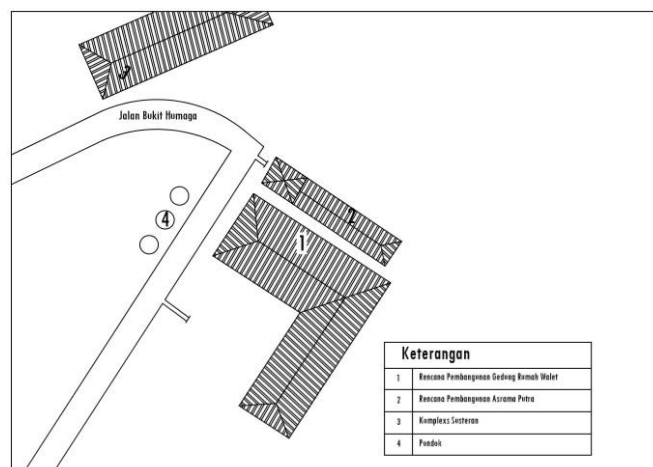
Menurut (Hidayat & Kusnadi, 2020) Penggunaan suara rekaman panggilan burung wallet merupakan salah satu teknik penting untuk menarik koloni burung walet masuk ke dalam gedung. Pemilihan dan penempatan speaker harus dilakukan secara strategis agar suara terdengar hingga radius tertentu di sekitar gedung (Hidayat & Kusnadi, 2020).

Menurut (Suhendra & Widiarti, 2020).Manajemen yang baik meliputi pembersihan rutin bangunan dan pemantauan kualitas udara di dalam gedung.

Selain itu, praktik panen yang benar dilakukan dengan interval yang sesuai untuk menjaga keseimbangan populasi burung walet dan produksi sarang.

Dari pendapat para ahli diatas maka dapat di simpulkan bahwa desain gedung walet yang optimal harus meniru habitat alami burung walet, seperti gua atau tempat teduh, dengan mempertimbangkan faktor suhu dan kelembapan yang ideal (26°C - 29°C dan 80-90% kelembapan relatif). Penggunaan bahan bangunan seperti beton membantu menjaga stabilitas kondisi lingkungan dalam gedung. Selain itu, teknik pendukung seperti pemasangan ventilasi alami, sistem pengabutan, serta penggunaan suara rekaman panggilan berperan penting dalam menarik dan mempertahankan populasi burung walet. Manajemen gedung yang baik, termasuk pembersihan rutin dan pemantauan kualitas udara, serta penerapan metode panen yang tepat, juga menjadi faktor utama dalam menjaga keberlanjutan produksi sarang walet.

2.8 Site Plane



Pada site plan yang telah dirancang, area di sekitar lokasi pembangunan gedung rumah sarang walet juga direncanakan untuk pembangunan asrama putra. Hal ini dikarenakan lahan yang terletak di sebelah rencana pembangunan gedung rumah sarang walet merupakan tanah milik pastoran, sehingga pemanfaatannya dapat dilakukan secara optimal.

Dalam perencanaan struktur gedung rumah sarang walet, diperlukan analisis struktur yang komprehensif guna memastikan keamanan bangunan, terutama dalam menghadapi potensi gempa. Analisis ini juga bertujuan untuk meminimalkan risiko yang dapat berdampak pada rencana pembangunan asrama putra di sekitarnya. Dengan demikian, perancangan gedung rumah sarang walet akan mempertimbangkan aspek ketahanan gempa yang lebih baik, sehingga tidak hanya menjamin keamanan bangunan itu sendiri, tetapi juga melindungi lingkungan di sekitarnya dari potensi bahaya akibat kegagalan struktur.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya merupakan upaya untuk membandingkan dan mengkaji berbagai sumber guna memperkaya pengetahuan, memberikan inspirasi, serta mengembangkan teori yang akan digunakan dalam penelitian ini. Dalam hal ini, penulis merujuk pada sejumlah jurnal yang relevan dengan analisis struktur bangunan. Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan terkait dengan analisis struktur bangunan:

1. Penelitian yang dilakukan (Ayuddin, 2024) menganalisis perilaku struktur gedung kantor di Kota Makassar menggunakan perangkat lunak ETABS V.18. Studi ini mengkaji berbagai beban kerja seperti beban mati, hidup, angin, dan gempa dengan mengacu pada standar perencanaan SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019. Hasil analisis menunjukkan bahwa perencanaan struktur memenuhi persyaratan desain dengan nilai gaya aksial sebesar 205,2169 kN, gaya geser 16,7184 kN, momen lentur 22,5899 kN·m², dan torsi 3,5136 kN. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan ETABS dalam simulasi struktur gedung dapat memberikan hasil yang akurat dan sesuai standar, sehingga mendukung perencanaan bangunan yang aman dan efisien.
2. Penelitian yang dilakukan (Ndruru et al., 2024) menganalisis struktur bangunan ruko dua lantai menggunakan perangkat lunak ETABS 2016. Penelitiannya menunjukkan bahwa pemodelan struktur beton bertulang dengan perangkat lunak ETABS mampu memberikan hasil perhitungan yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), serta dapat

mengevaluasi kekuatan dan kestabilan elemen struktural seperti kolom, balok, dan pelat lantai. Hasil penelitian ini juga menegaskan bahwa deformasi dan tegangan yang terjadi pada struktur bangunan berada dalam batas yang diizinkan, sehingga perencanaan struktur dapat dioptimalkan untuk ketahanan terhadap beban yang diterapkan, termasuk beban lateral akibat gempa.

3. Penelitian yang dilakukan (Lolowang et al., 2024) membahas perencanaan struktur beton bertulang untuk gedung empat lantai di Kota Manado dengan mengacu pada SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019. Studi ini menekankan pentingnya perencanaan yang matang dalam memastikan keamanan gedung terhadap beban gempa, serta penggunaan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sebagai strategi mitigasi risiko seismik. Selain itu, pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS Ultimate V.20.0.0 memberikan gambaran mengenai efektivitas desain yang memenuhi persyaratan keamanan dan keandalan struktur. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam analisis ketahanan seismik dan optimasi desain struktur bangunan bertingkat di wilayah rawan gempa.
4. Penelitian yang dilakukan (Ashary et al., 2024) membahas analisis struktur bangunan menggunakan perangkat lunak ETABS V.20, dengan studi kasus pada Gedung Kantor Cabang BRI di Kota Parepare. Studi ini menunjukkan bahwa pemodelan dan analisis struktur dengan ETABS V.20 dapat digunakan untuk mengevaluasi gaya dalam maksimum, seperti momen balok, gaya geser, torsi, dan gaya tekan aksial pada kolom. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur mampu menahan beban yang terjadi dan berada dalam kondisi aman. Temuan ini dapat menjadi referensi dalam penerapan metode serupa untuk mengevaluasi ketahanan struktur gedung bertingkat terhadap berbagai beban, termasuk beban gempa.
5. Penelitian yang dilakukan (Panjaitan, 2021) yaitu menganalisis struktur bangunan bertingkat dengan menggunakan perangkat lunak ETABS v.18.1.1, dengan studi kasus pada proyek pembangunan Rumah Sakit

Regina Maris Medan. Studi ini bertujuan untuk menghitung dan membandingkan desain struktur berdasarkan SNI 2847:2019 dengan kondisi di lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran penampang kolom, balok, dan pelat lantai sudah optimal dan tidak dapat diminimalkan lebih lanjut, meskipun terdapat perbedaan dalam hasil perhitungan tulangan antara hasil simulasi ETABS dan pengukuran di lapangan. Studi ini menjadi referensi penting dalam mengevaluasi perencanaan dan implementasi desain struktur bangunan bertingkat agar memenuhi standar ketahanan terhadap beban lateral, termasuk beban gempa.

6. Penelitian yang dilakukan (Dewi & Pratama, 2018) membahas analisis perencanaan struktur beton gedung kuliah Kampus 2 IAIN Kota Metro menggunakan program ETABS. Studi ini menyoroti pentingnya penerapan metode perhitungan berbasis komputer untuk meningkatkan akurasi dalam perencanaan struktur bangunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis menggunakan ETABS mampu memberikan perhitungan yang lebih akurat dibandingkan metode manual, terutama dalam menentukan dimensi elemen struktural serta distribusi beban gempa berdasarkan SNI 03-2847-2002. Studi ini menjadi referensi penting dalam perencanaan struktur gedung bertingkat yang aman dan efisien.

2.10 Kerangka Berfikir

