

**ANALISIS STRUKTUR MENGGUNAKAN PONDASI RAKIT  
YANG BERINTERAKSI DENGAN TANAH  
(STUDI KASUS)**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan untuk melengkapi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Strata Satu  
(S-1) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas HKBP Nommensen Medan*

Disusun oleh:

**JERRI KRISNA RIWANDA**  
20310044

Telah diuji dihadapan Tim Penguji Tugas Akhir pada tanggal 12 Juli 2024 dan dinyatakan telah lulus sidang sarjana

Dosen Pembimbing I



Humisar Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II



Bartholomous, S.T., M.T.

Dosen Penguji I



Ir. Partahi Lumbangaol, M.Png.Sc.

Dosen Penguji II



Nurvita Iusani M. Simanjuntak S.T., M.Sc.

Dekan Fakultas Teknik



Ir. Partahi Lumbangaol, M.T.

Ketua Program Studi



Ir. Yetty Riris Saragi, S.T., M.T., IPU, ACPE.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, khususnya pada daerah-daerah tertentu terdapat daerah yang memiliki tanah yang relatif lunak serta rentan terhadap gempa. Oleh karenanya, pemilihan jenis pondasi menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan ketahanan serta kestabilan bangunan terhadap resiko geoteknikal. Dalam hal ini pondasi rakit menjadi salah satu opsi/solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut. Pondasi ini menopang beban struktur bangunan secara merata ke seluruh area pondasi, sehingga dapat mengurangi tekanan yang diterima oleh lapisan tanah di bawahnya.

Pondasi dapat dibagi menjadi pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal umumnya digunakan jika lapisan tanah keras berada pada kedalaman rendah (dangkal), sedangkan pondasi dalam umumnya jika lapisan tanah keras berada jauh dibawah permukaan tanah. Letak lapisan tanah keras dan jenis tanah akan berpengaruh terhadap pemilihan jenis pondasi, perhitungan daya dukung pondasi, serta penurunan yang terjadi (Ihsan, 2017).

Perilaku dari pondasi terutama bergantung pada sifat-sifat fisik serta kondisi tanah di bawah permukaan. Pada tanah dengan daya dukung rendah lebih beresiko mengalami penurunan yang besar, hal ini pun yang akan menjadi penentu pondasi yang direncanakan baik atau tidak. Perencanaan pondasi rakit tentunya juga dilakukan dengan mempertimbangkan besarnya beban yang harus dipikul, teknologi yang tersedia dan biaya yang ekonomis untuk membuat pondasi tersebut mengingat pelaksanaannya memerlukan galian terbuka, juga apabila jenis struktur yang dipikul mungkin memerlukan persyaratan khusus (Mentang & Balamba, 2013).

Dalam era globalisasi ini, teknologi berperan penting dalam aspek pekerjaan, khususnya didalam dunia konstruksi. Penggunaan teknologi pada dunia konstruksi dapat membantu progres pengerjaan lebih baik dan efisien, terkhusus pada perencanaan atau analisis sebuah struktur bangunan. Salah satu teknologi yang dapat membantu menganalisis sebuah struktur bangunan ialah program *Finite*

*Element Method (FEM)*. Program tersebut merupakan sebuah komputerisasi yang memungkinkan analisis struktural secara detail dan efisien. Selain itu program ini juga dapat membantu dalam hal perencanaan sebuah struktur bangunan dengan lebih kompleks dan detail sehingga dalam proses perencanaan struktur dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efisien.

Dalam penelitian ini dibuat dua model struktur dimana akan direncanakan model struktur 1 dan model struktur 2, dari kedua model struktur tersebut akan dibedakan jenis perletakannya, dimana struktur model 1 menggunakan perletakan jepit sedangkan untuk struktur model 2 menggunakan perletakan pegas (*springs*) serta penambahan model pondasi rakit (*raft foundation*) pada struktur model 2. Dalam menganalisis struktur dengan perletakan pegas (*springs*) terlebih dahulu harus ditentukan nilai koefisien reaksi tanah atau nilai K. Kemudian nilai K akan di input pada model pondasi rakit (*raft foundation*) menggunakan program *finite element method* (FEM). Dari kedua model struktur tersebut akan dianalisis untuk mendapatkan reaksi yang bekerja pada kedua model struktur tersebut. Kemudian dari kedua model struktur tersebut akan dibandingkan berapa deformasi struktur, perioda struktur, serta reaksi perletakan struktur dari kedua model tersebut.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan perioda natural struktur dari kedua model Struktur?
2. Bagaimana perbandingan deformasi struktur dari kedua model struktur?
3. Bagaimana perbandingan *base shear* dari kedua model struktur?

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Analisa hanya dilakukan untuk beberapa perilaku struktur sesuai dengan tujuan penelitian.
2. Penelitian ini tidak merencanakan pondasi rakit.
3. Analisis dilakukan dengan bantuan program *Finite Element Method*.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

1. Membandingkan perioda struktur natural dari masing-masing model struktur.
2. Membandingkan deformasi yang terjadi dikedua model struktur.
3. Membandingkan *base shear* yang terjadi dari kedua model struktur.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah referensi terhadap perbandingan perilaku struktur yang dimodelkan dengan perletakan jepit dan dimodelkan tergabung dengan pondasi rakit.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Bagian paling bawah dari suatu konstruksi dinamakan pondasi. Fungsi pondasi ini adalah meneruskan konstruksi kelapisan tanah yang berada dibawah pondasi. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada diatas pondasi. Oleh karena itu, para insinyur sipil yang merencanakan pondasi harus mengevaluasi daya dukung tanah yang pondasinya akan dibangun (Das, 1994).

Pondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya-sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Joseph E Bowles, 2005).

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada di bawahnya (Hardiyatmo, 2011).

Pondasi dapat digolongkan berdasarkan dimana beban itu ditopang oleh tanah yang menghasilkan (J.E.Bowles, 2020) :

1. Pondasi dangkal, dinamakan sebagai alas, telapak, telapak tersebar atau pondasi rakit (mats). Kedalamannya pada umumnya  $D/B \leq 1$  tetapi mungkin agak lebih.
2. Pondasi dalam, tiang pancang, tembok/tiang yang dibor, atau kaisan yang dibor. Rasio kedalaman  $D/B \geq 4^+$ .

Sedangkan persyaratan umum dari pondasi harus memiliki persyaratan-persyaratan stabilitas dan deformasi seperti (J.E.Bowles, 1983) :

1. Kedalaman haruslah memadai untuk menghindarkan pengeluaran bahan dalam arah lateral dari bawah pondasi khususnya untuk telapak dan pondasi rakit.
2. Kedalaman haruslah berada dibawah daerah perubahan volume musiman yang disebabkan oleh pembekuan, pencairan, dan pertumbuhan proyek.

3. Sistem harus aman terhadap penjungkir balikan, rotasi, penyorongan, atau perpecahan tanah (kegagalan kekuatan geser).
4. Sistem harus aman terhadap korosi atau kemerosotan yang disebabkan oleh bahan berbahaya yang terdapat didalam tanah. Hal ini perlu mendapat perhatian khusus didalam memperoleh kembali urugan tanah yang sehat dan kadang-kadang untuk pondasi laut.
5. Sistem harus memadai untuk menahan bebrapa perubahan didalam tempat yang terkemudian atau geometri konstruksi, dan mudah dimodifikasi seandainya perubahan-perubahan kelak akan meliputi ruang lingkup yang besar.
6. Pondasi haruslah ekonomis didalam metoda pemasangan.
7. Pergerakan tanah seluruhnya (umumnya lendutan-pampat) dan pergerakan diferensial harus dapat ditolerir untuk kedua elemen pondasi dan elemen bagian bangunan diatas tanah.
8. Pondasi dan konstruksinya, harus memenuhi syarat standard untuk perlindungan lingkungan.

## **2.2 Tanah**

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).

### **2.2.1 Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995). Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas (Das, 1995).

Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi.

a) Klasifikasi berdasarkan tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah.

b) Klasifikasi berdasarkan pemakaian

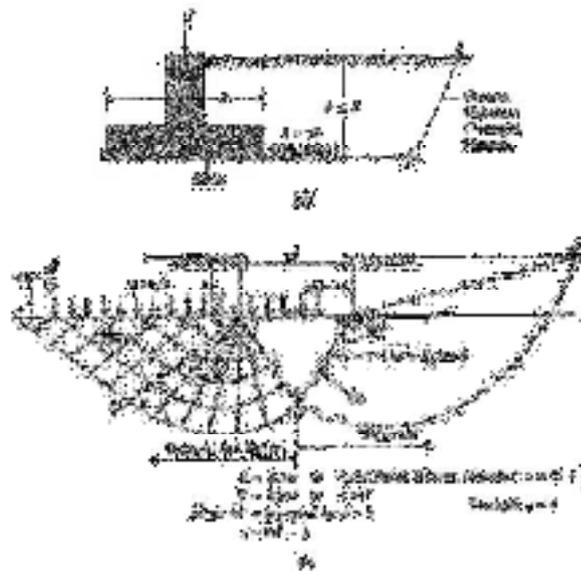
Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan.

### **2.2.2 Kapasitas Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal**

Tanah harus mampu mendukung dan menopang beban dari setiap konstruksi yang direncanakan yang ditempatkan diatas tanah tersebut tanpa suatu kegagalan geser dan dengan lendutan pampat yang dihasilkan dapat ditolerir untuk konstruksi tersebut (Joseph E Bowles, 2005).

### **2.2.3 Persamaan Kapasitas Daya Dukung Tanah Pondasi Dangkal**

Menurut (Joseph E Bowles, 2005) salah satu diantara kumpulan persamaan-persamaan kapasitas dukung yang mula-mula diusulkan oleh Terzaghi. Dia memodifikasi persamaan kapasitas dukung yang dikembangkan untuk sebuah pita yang tak berhingga oleh Brandtl yang didasarkan pada teori plastisitas. Persamaan-persamaan ini yang dikembangkan berikutnya oleh Meyerhof dan kemudian oleh Hansen menggunakan konfigurasi umum, kondisi basis, dan permukaan kegagalan kira-kira untuk sebuah panjang satuan dari sebuah pita yang diperlihatkan didalam Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Pondasi dangkal(a). Interaksi pondasi terhadap tanah(b).  
 (Sumber: Joseph E Bowles, 2005)

Berikut ini adalah persamaan-persamaan kapasitas dukung oleh beberapa orang yang ditunjukkan sebagai berikut:

1. Persamaan Terzaghi

$$qu = cN_c + P_oN_q + 0,5\gamma BN_y \quad 2.1$$

Dimana :

$qu$  = kapasitas dukung

$c$  = kohesi

$N_c, N_q, N_y$  = faktor daya dukung untuk sudut geser tanah

$P_o$  =  $Df\gamma$  = tekanan overbuden pada dasar pondasi

$\gamma$  = berat volume tanah

$Df$  = kedalaman pondasi

$B$  = lebar pondasi

2. Persamaan Hansen

$$qu = S_c d_c i_c c N_c + S_q d_q i_q q N_q + S_y d_y i_y 0,5 B \gamma N_y \quad 2.2$$

Dimana :

$S_c, S_q, S_y$  = faktor bentuk pondasi

$d_c, d_q, d_y$  = faktor kedalaman pondasi

$q$  = beban terbagi rata

$c$  = kohesi

$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung untuk sudut geser tanah

- $\gamma$  = berat volume tanah
- $B'$  = lebar efektif pondasi
- $i_c, i_q, i_y$  = faktor kemiringan pondasi

### 2.3 Konsep Pembebanan

Berdasarkan (Dinas Pekerjaan Umum, 1983) dalam menganalisa sebuah bangunan perlu diketahui beban-beban yang akan ditanggung oleh struktur bangunan tersebut. Oleh karena itu, beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan harus ditentukan sesuai dengan fungsi dari beban-beban yang dipikul oleh struktur tersebut. Beban tersebut meliputi beban statis dan beban dinamis yang keduanya memiliki definisi yang berbeda-beda. Beban statis meliputi beban mati (DL) dan beban hidup (LL), sedangkan beban dinamis meliputi beban gempa (EQ).

#### 1. Beban Statis

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1983) beberapa beban statis sebagai berikut:

##### a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu Gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu. Berikut merupakan tabel dari pembebanan beban mati menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1983):

Tabel 2. 1 Berat Sendiri bahan bangunan

Bahan Bangunan	Berat (Kg/m <sup>3</sup> )
Baja	7850
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Pasangan batu merah	1700
Pasangan batu belah	2200
Batu pecah	1450
Pasir	1800

(Sumber: Dinas Pekerjaan Umum, 1983)

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa dan beban mati. Berikut merupakan tabel dari pembebanan beban mati menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987):

Tabel 2. 2 Beban Mati Tambahan

Beban Mati Tambahan	Berat (Kg/m <sup>2</sup> )
Dinding pas. ½ bata	250
Langi-langit + penggantung	18
Lantai ubin dari semen Portland	24
Spesi per cm tebal	21
MEP	25
Kolam renang	1000

(Sumber:Dinas Pekerjaan Umum, 1987)

c. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti semasa masa hidup dari gedung itu sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Berikut merupakan tabel dari pembebanan beban mati menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1983):

Tabel 2. 3 Beban hidup pada lantai gedung

No	Uraian	Berat (Kg/m <sup>2</sup> )
a	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebutkan dalam b	200
b	Lantai dan tangga rumah tinggal, dan gudang-gudang yang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel.	125

No	Uraian	Berat (Kg/m <sup>2</sup> )
c	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, hotel, asrama, dan rumah sakit.	250
d	Lantai ruang olahraga	400
e	Lantai ruang dansa	500
f	Lantai dan balkon dalam ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari yang disebut a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.	400
g	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap.	500
h	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300

(Sumber: Dinas Pekerjaan Umum, 1983)

#### d. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

#### 2. Beban Dinamis

Beban dinamis menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1983) sebagai berikut:

##### a. Beban Gempa

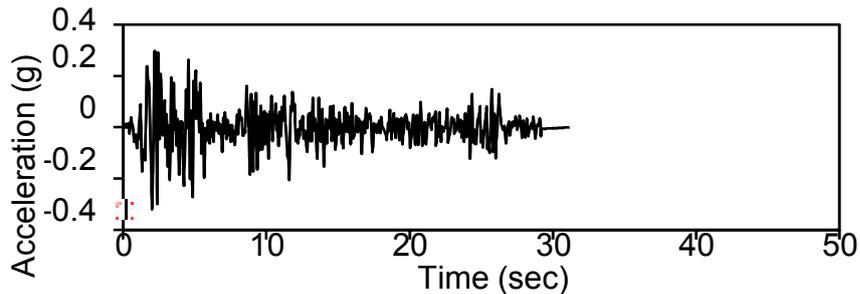
Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat dari gempa. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa.

#### 2.4 Riwayat Waktu/*Time History*

Berdasarkan (SNI 1726:2019, 2019) kondisi lokasi, geologi, topografi dan seismotektoniknya dipilih sesuai dengan lokasi tempat struktur gedung yang ditinjau berada. Jika rekaman gempa yang didapatkan tidak cukup, diperbolehkan menggunakan rekaman gempa buatan yang disesuaikan dengan respon spektrum di lokasi struktur berada.

Akibat beban gempa rencana maka struktur tetap memiliki perilaku yang elastik dalam analisis linier serta akan berperilaku inelastik untuk analisis nonlinier. Pada dasarnya analisis riwayat waktu/*time history* digunakan untuk kondisi nonlinier namun ada kalanya digunakan untuk kondisi linier.

Menurut SNI 1726 : 2019 rekam gempa yang digunakan harus dimodifikasi puncak percepatannya sekurang-kurangnya setara terhadap spektrum SNI. Berikut merupakan contoh rekam gempa di batuan dasar:



Gambar 2. 2 Contoh data Riwayat Waktu El Centro di Batuan Dasar  
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

## 2.5 Faktor Keutamaan gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Berdasarkan (SNI 1726:2019, 2019) untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 2.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa Ie Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perikanan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,II,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat pertambangan/ mal</li> <li>- Bangunan Industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Mal</li> </ul>	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sekolah</li> <li>- Gedung pemerintahan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III
<p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk mengakibatkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan sosial terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik besar</li> <li>- Fasilitas pemrosesan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	IV
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, fasilitas manufaktur, proses, penyimpanan, penyimpanan, penggunaan atau tempat penyimpanan bahan bakar berkaloritas, bahan kimia berbahaya, bahan beracun, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana produk sampingan atau limbah memiliki nilai bahan yang dipertimbangkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kegagalan.</p>	IV

(Sumber:SNI 1726:2019)

Tabel 2. 5 Faktor keutamaan gempa,  $I_e$

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber: SNI 1726:2019)

## 2.6 Kombinasi Beban untuk Metode Ultimit

### 2.6.1 Kombinasi Pembebanan dasar

Berdasarkan (SNI 1726:2019, 2019) Komponen-elemen struktur dan elemen-elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai di bawah. Pengaruh adanya satu atau lebih beban yang tidak bekerja harus ditinjau. Pengaruh yang paling menentukan dari beban-beban angin dan seismik harus ditinjau, tetapi kedua beban tersebut tidak perlu ditinjau secara simultan.

$$1,4D$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } R)$$

$$1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$$

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

$$1,2D + 1,0E + 1,0L$$

$$0,9D + 1,0W$$

$$0,9D + 1,0E$$

### 2.6.2 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Menurut (SNI 1726:2019) Apabila suatu struktur menerima pengaruh beban seismik, maka kombinasi-kombinasi beban berikut harus diperhitungkan bersama dengan kombinasi beban dasar di atas. Apabila pengaruh beban seismik yang dimaksud,  $E = f(E_v, E_h)$  dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

$$1,2D + 1,2SDL + 1,0E_h + 1,0L$$

$$0,9D + 0,9SDL + 1,0E_h$$

## 2.7 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Menurut (SNI 1726:2019) sistem dasar pemikul gaya seismik lateral dan vertikal harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan pada Tabel 2.6. Masing-

masing sistem terbagi berdasarkan tipe elemen vertikal pemikul gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur

dan batasan ketinggian struktur,  $h_n$ , yang ditunjukkan pada Tabel 2.6. Koefisien modifikasi respons,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan faktor pembesaran simpangan lateral,  $C_d$ , yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.6 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

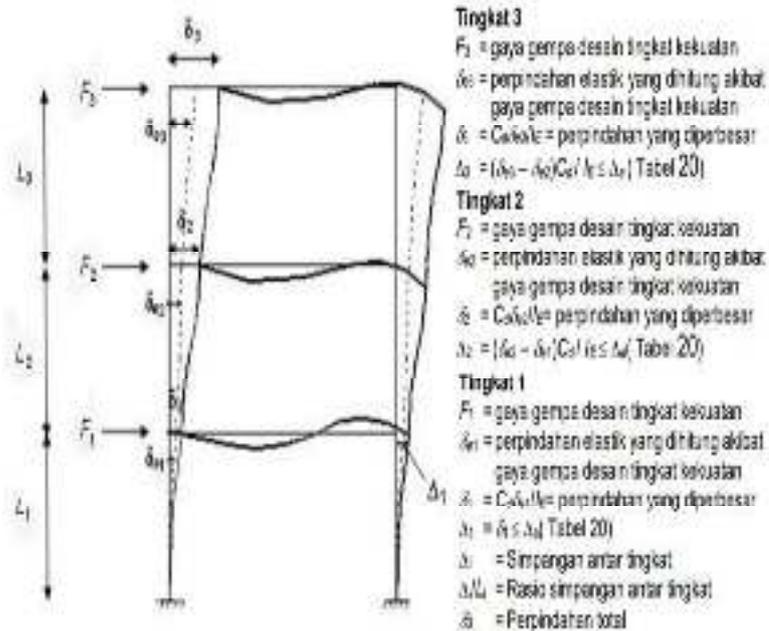
Tabel 2. 6 Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>e</sup>
19 Dinding geser batu bata polos diawal	2	2%	2	TB	T1	T1	T1	T1
20 Dinding geser batu bata polos biasa	1%	2%	1%	TB	T1	T1	T1	T1
21 Dinding geser batu bata prategang	1%	2%	1%	TB	T1	T1	T1	T1
22 Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk menahan geser	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
23 Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk menahan geser, atau dengan lambaran baja	7	2%	4%	TB	TB	22	22	22
24 Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2%	2%	2%	TB	TB	10	TB	TB
25 Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	8	2%	5	TB	TB	48	48	30
26 Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5%	TB	TB	48	30	T1
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4%	3	4	TB	TB	10 <sup>f</sup>	T1 <sup>f</sup>	T1 <sup>f</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3%	3	3	TB	TB	T1 <sup>f</sup>	T1 <sup>f</sup>	T1 <sup>f</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>g</sup>	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	T1	T1	T1
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	T1	T1	T1	T1
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	T1	T1	T1
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5%	48	48	30	T1	T1
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	T1	T1	T1	T1
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>h</sup>	3%	3 <sup>e</sup>	3%	10	10	10	10	10

(Sumber: SNI 1726:2019)

## 2.8 Penentuan Simpangan antar Lantai

Berdasarkan (SNI 1726:2019) Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.3). Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya.



Gambar 2. 3 Penentuan simpangan antar lantai  
 (Sumber: SNI 1726:2019)

## 2.9 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 2.7 untuk semua tingkat.

Tabel 2. 7 Simpangan antar lantai izin,  $\Delta_a$

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

(Sumber: SNI 1726:2019)

## 2.10 Penentuan Parameter Interaksi Tanah dan Pondasi Rakit

Sebuah pondasi rakit boleh digunakan dimana tanah dasar mempunyai daya dukung yang rendah atau beban kolom yang begitu besar, sehingga lebih dari 50 persen dari luas, ditutupi oleh pondasi telapak secara konvensional (Joseph E Bowles, 2005).

### 2.10.1 Parameter Kekakuan

Berdasarkan (ASCE, 2000) modulus geser,  $G$ , harus dihitung dalam sesuai dengan Persamaan (2.3) di mana  $E$  adalah modulus elastisitas tanah,  $\nu$  adalah *poisson ratio*.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad 2.3$$

Dimana :

$G$  = Modulus geser

$E$  = Elastisitas tanah

$\nu$  = *Poisson ratio*

Tabel 2. 8 Perkiraan modulus elastisitas (E)

Jenis Tanah	$E_s$ (kN/m <sup>2</sup> )
<b>Lempung</b>	
Sangat lunak	300 - 3000
Lunak	2000 - 4000
Sedang	4500 - 9000
Keras	7000 - 20000
Berpasir	30000 - 42500
<b>Pasir</b>	
Berlanau	5000 - 20000
Tidak padat	10000 - 25000
Padat	50000 - 100000
<b>Pasir dan kerikil</b>	
Padat	80000 - 200000
Tidak padat	50000 - 140000
<b>Lanau</b>	2000 - 20000
<b>Loess</b>	15000 - 60000
<b>Serpilh</b>	140000 - 1400000

(Sumber: Teknik Fondasi 1)

Data dari Tabel 2.8, data perkiraan nilai modulus elastisitas tanah (E), yang di kemukakan oleh J.E Bowles, dimana terdapat beberapa data nilai modulus elastisitas tanah yang diantaranya data modulus elastisitas tanah khusus tanah lempung, pasir, pasir dan kerikil, lanau, loess, serta serpilh. Dalam hal ini modulus elastisitas tanah (E) digunakan untuk menentukan nilai modulus geser tanah (G).

Selanjutnya dalam menghitung modulus geser tanah (G) perlu ditentukan angka *poisson ratio* tanah ( $\nu$ ). Angka *poisson ratio* ( $\nu$ ) merupakan ukuran muai suatu material tanah dalam arah tegak lurus terhadap arah beban. Berikut dibawah ini merupakan tabel perkiraan angka *poisson ratio* ( $\nu$ ):

Macam Tanah	Poisson Ratio ( $\nu$ )
Lempung jernih	0.40 - 0.50
Lempung lek jernih	0.10 - 0.30
Lempung berpasir	0.20 - 0.30
Latu	0.30 - 0.35
Pasir padat	0.20 - 0.40
Pasir kasar (angka pori, $e = 0.40-0.70$ )	0.15
Pasir halus (angka pori, $e = 0.40-0.70$ )	0.25
Batu	0.10 - 0.30
Loose	0.10 - 0.30

Tabel 2. 9 Perkiraan angka *poisson ratio* ( $\nu$ )

(Sumber:Teknik Fondasi 1)

Menurut (ASCE, 2000) geseran dan momen pada elemen fondasi adalah konservatif bila elemen tersebut dianggap kaku. Akan tetapi, tekanan tanah mungkin secara signifikan diremehkan ketika fleksibilitas fondasi diabaikan. Fleksibilitas dan respons nonlinier tanah dan struktur fondasi harus dipertimbangkan ketika hasilnya akan berubah.

Untuk balok dengan penyangga elastis (misalnya, strip pijakan dan balok anak) dengan beban titik di bentang tengah, balok dapat dianggap kaku jika:

$$\frac{EI}{L^4} > \frac{2}{3} k_{sv} B \tag{2.4}$$

Untuk pelat persegi panjang (dengan dimensi denah L dan B, dan ketebalan t, serta sifat mekanik  $E_f$  dan  $\nu_f$ ) pada penyangga elastis (misalnya, fondasi tika atau pondasi terisolasi) yang dikenai beban titik di tengah, fondasi dapat dianggap kaku jika:

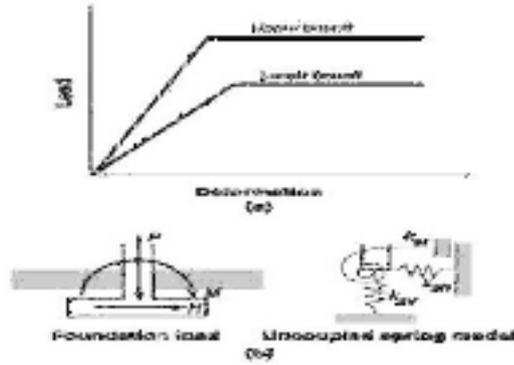
$$k_{sv} \sum_{n=1}^5 \sum_{m=1}^5 \frac{\sin^2 \left( \frac{m\pi x}{L} \right) \sin^2 \left( \frac{n\pi y}{B} \right)}{\left[ 2k_{sv} \left( \frac{L^2}{L^4} + \frac{B^2}{B^4} \right) \right] + k_{sv}} < 0.93 \tag{2.5}$$

Dimana:

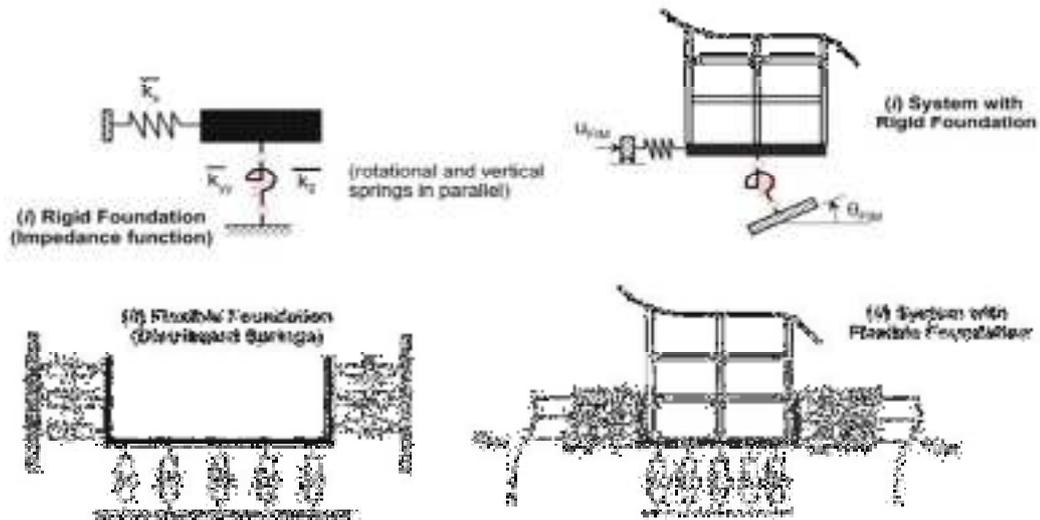
$$k_{sv} = \frac{k_{sv} t^3}{12(1 - \nu_f)^2} \tag{2.6}$$

Untuk pondasi bantalan dangkal yang kaku sehubungan dengan terhadap tanah pendukung, model pegas tak berpasangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar

dibawah ini, harus mewakili fondasi kekakuan.



Gambar 2. 4 Perilaku Beban-Deformasi Elasto-Plastis yang diidealkan untuk tanah  
(Sumber:ASCE, 2000)



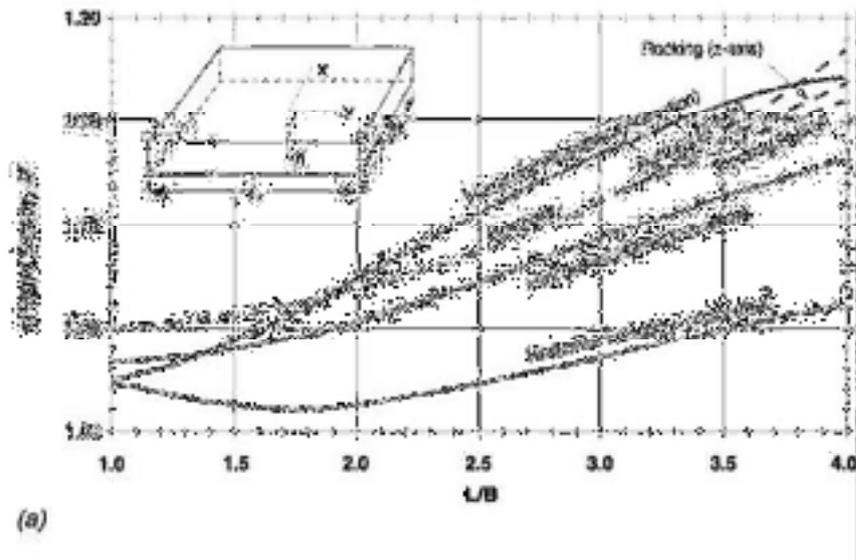
Gambar 2. 5 Ilustrasi skema pendekatan sbstruktur untuk analisis interaksi tanah struktur dengan pondasi rakit  
(Sumber: NIST GCR 12-917-21, NEHRP Consultant Joint Venture, 2012)

Degree of Freedom	Stiffness of Foundation at Surface	Note
Translation along x-axis	$K_{x,fix} = \frac{GB}{L} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.2 \right]$	<p>Orient axes such that <math>L \geq B</math></p>
Translation along y-axis	$K_{y,fix} = \frac{GB}{L} \left[ 3.4 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.4 \frac{L}{B} + 0.8 \right]$	
Translation along z-axis	$K_{z,fix} = \frac{GB}{L} \left[ 1.55 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.8 \right]$	
Rotation about x-axis	$K_{\theta,fix} = \frac{GB^3}{L(1+\nu)} \left[ 0.4 \left( \frac{L}{B} \right) + 0.1 \right]$	
Rotation about y-axis	$K_{\theta,fix} = \frac{GB^3}{L(1+\nu)} \left[ 0.47 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.034 \right]$	
Rotation about z-axis	$K_{\theta,fix} = \frac{GB^3}{L(1+\nu)} \left[ 0.51 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 0.51 \right]$	

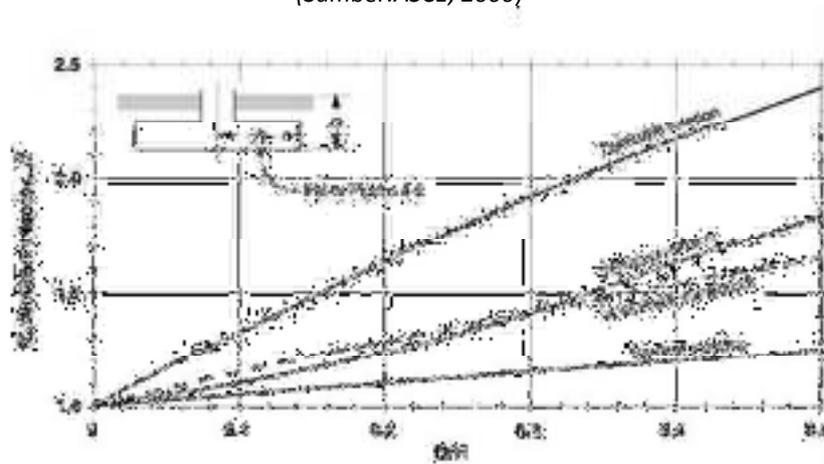
Gambar 2. 6 Solusi elastis untuk kendala pegas pijakan yang kaku.  
(Sumber:ASCE, 2000)

### 2.10.2 Fondasi dan Geologi Bahaya Lokasi

Para peneliti telah mengembangkan solusi kekakuan pegas yang dapat diterapkan pada bentuk alas yang kokoh pada permukaan, atau sebagian atau seluruhnya tertanam di dalam, setengah ruang homogen. Persegi panjang Pondasi persegi panjang adalah yang paling umum pada bangunan. Oleh karena itu solusi kekakuan pegas umum diadaptasi ke masalah pondasi persegipanjang umum, yang termasuk pijakan strip persegi Panjang (ASCE, 2000).



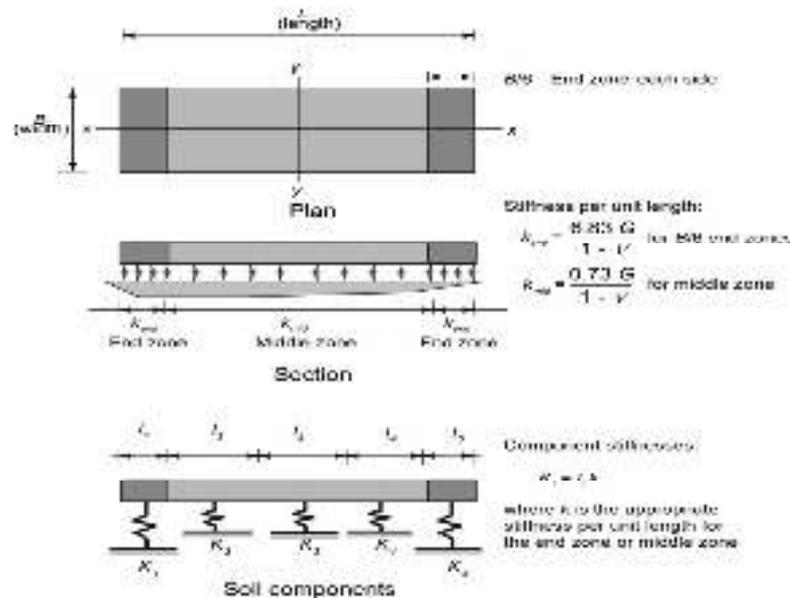
Gambar 2. 7 Faktor koreksi bentuk pondasi  
(Sumber:ASCE, 2000)



Gambar 2. 8 Faktor koreksi penanaman pondasi.  
(Sumber:ASCE, 2000)

Untuk pondasi telapak dangkal yang tidak kaku dengan sehubungan dengan tanah pendukung, elemen hingga elemen hingga untuk merepresentasikan perilaku fondasi linier atau nonlinier menggunakan model *Winkler* harus digunakan. Sifat

kekakuan vertikal terdistribusi harus dihitung dengan membagi kekakuan vertikal total dengan area. Kekakuan rotasi yang terdistribusi secara seragam harus dihitung dengan membagi total kekakuan rotasi pijakan dengan momen inersia pijakan ke arah pembebanan (ASCE, 2005).



Gambar 2. 9 Pemodelan kekakuan vertikal untuk pondasi bantalan dangkal.  
(Sumber:ASCE, 2000)

## 2.11 Metode Element Hingga/Finite Element Method

Menurut Szilard (1974), Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analitis kontinum struktural. Kontinum elastis suatu pelat diganti dengan struktur pengganti, yang terdiri dari elemen-elemen diskrit yang saling berhubungan hanya dititik-titik simpul. Hubungan ini bersifat sedemikian rupa hingga kontinuitas tegangan dan perpindahan yang sebenarnya pada pelat bisa didekati oleh perpindahan titik simpul elemen tersebut. Pada masalah pelat, dilakukan dengan membagi kontinum asli menjadi sejumlah elemen pelat, yang dibatasi oleh garis-garis pertemuan yang lurus atau lengkung dan memiliki semua sifat bahan yang sama seperti pelat semula.

## 2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengaruh interaksi tanah terhadap struktur yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya antara lain sebagai berikut:

Sari, Dasnila.,dkk (2023), "Pengaruh Interaksi Tanah-Struktur pada Tanah Lunak terhadap Dilatasi dari Dua Bangunan Tinggi akibat Gempa". Penelitian ini

bertujuan untuk mengetahui besarnya dilatasi atau gap awal yang dibutuhkan oleh dua buah gedung bertingkat saat terjadi gempa dengan melibatkan pengaruh besaran interaksi tanah-struktur. Penelitian ini menggunakan metode model matematik sistem dinamik SDOF dan model matematik sistem dinamik MDOF. Penelitian ini menyimpulkan bahwa interaksi tanah struktur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perpindahan relatif dan jarak antar gedung saat kondisi terjadi benturan dibandingkan kondisi tanpa melibatkan interaksi tanah struktur.

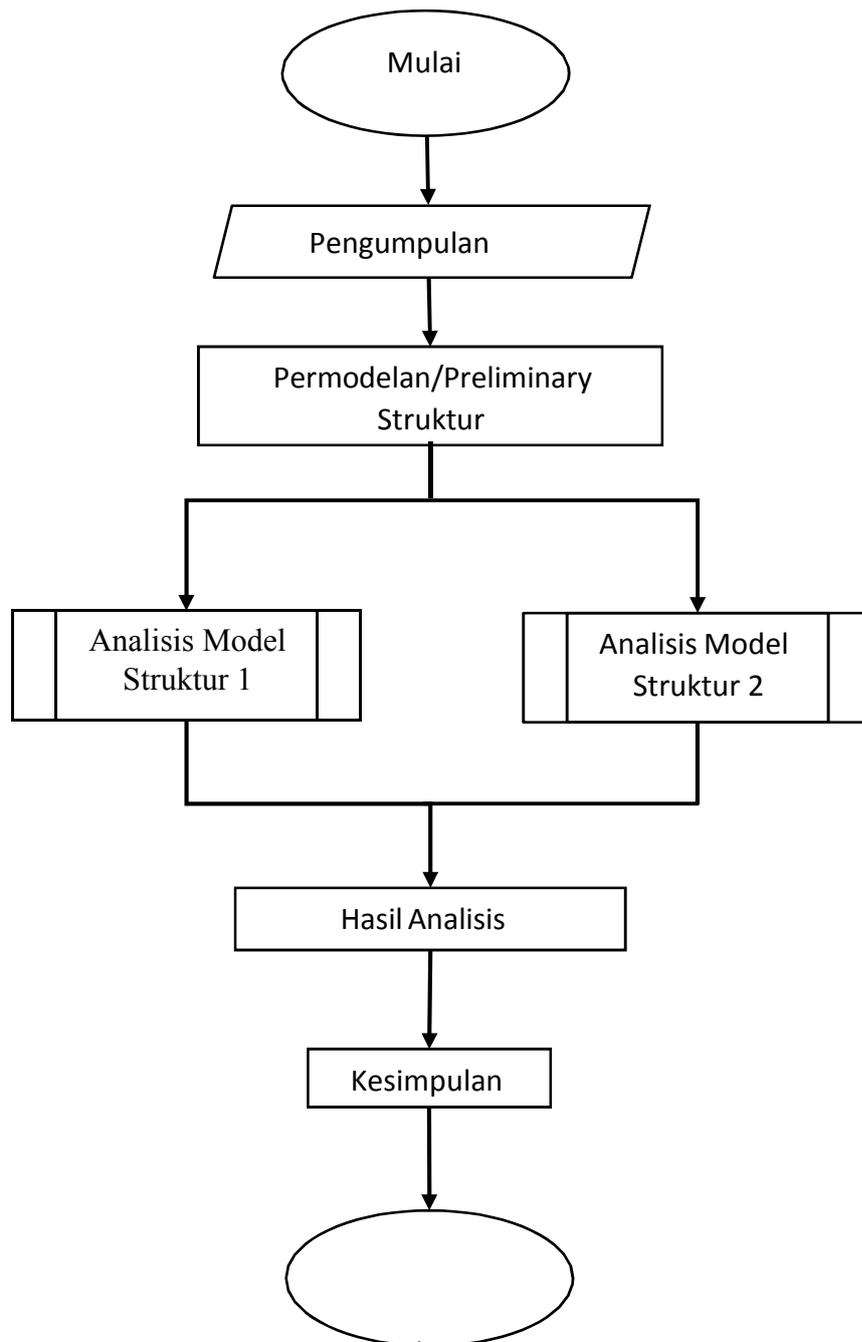
Mohamed M. Ahmed.,dkk (2014), "*Evaluation of soil–foundation–structure interaction effects on seismic response demands of multi-story MRF buildings on raft foundations*". Penelitian ini menggunakan pendekatan metode *Dynamic Soil-Structure Interaction (SSI)*. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh kondisi tanah dan jumlah lantai yang berbeda terhadap karakteristik getaran dan kebutuhan respons seismik struktur bangunan.

Meissa Fall.,dkk (2013), "*Influence of the Elastic Modulus of the Soil and Concrete Foundation on the Displacements of a Mat Foundation*". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyoroti interaksi tanah-struktur khususnya pengaruh kekakuan tanah dan beton pada reaksi tanah dasar ( $k$ ) dan perpindahan pondasi tika yang mengalami terhadap beban vertikal. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode winkler. Penelitian menyimpulkan bahwa modulus reaksi tanah dasar dan perpindahan sedikit berbeda dengan sifat mekanik pondasi beton dan lebih dipengaruhi oleh modulus elastisitas tanah.

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dilakukan dengan studi kasus. Proses pembuatan Tugas Akhir, dibutuhkan tahap-tahapan pengerjaan yang sistematis agar sesuai dengan laporan yang diharapkan. Berikut ini adalah gambar diagram alir penelitian:



Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian

### 3.1 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Data Sondir
  - Data terlampir
2. Jenis dan mutu material yang digunakan :
  - Mutu beton, K-250 atau  $f'c = 20,75$  MPa (silinder) - (stuktur dan fondasi)
  - Mutu beton, K-100 atau  $f'c = 8$  MPa (silinder) - (Lantai Kerja)
  - Tegangan leleh tulangan baja,  $f_y = 400$  MPa
3. Dimensi permodelan struktur :
  - Kolom 1 (K1) = 400 x 400 mm
  - Kolom 1 A (K1 A) = 400 x 400 mm
  - Kolom 1 B (K1 B) = 400 x 400 mm
  - Kolom 1 C (K1 C) = 400 x 400 mm
  - Kolom 2 (K2) = 350 x 350 mm
  - Kolom 2A (K2A) = 350 x 350 mm
  - Kolom praktis (KP) = 130 x 130 mm
  - Balok 1 (B1) = 250 x 350 mm
  - Balok 1A (B1A) = 250 x 350 mm
  - Balok 1B (B1B) = 250 x 350 mm
  - Balok 1C (B1C) = 250 x 350 mm
  - Balok 1D (B1D) = 250 x 350 mm
  - Balok 3 (B3) = 250 x 500 mm
  - Balok S (BS) = 200 x 250 mm
  - Balok S1 (BS1) = 200 x 250 mm
  - Tebal pondasi rakit = 1000 mm

### 3.2 Data Pembebanan

Pembebanan yang digunakan pada penelitian ini meliputi beban mati (*deadload*), beban hidup (*live load*), beban gempa (*earthquake*).

#### 1. Beban Mati

Beban mati pada penelitian ini diambil berdasarkan pada peraturan pembebanan untuk gedung (1983).

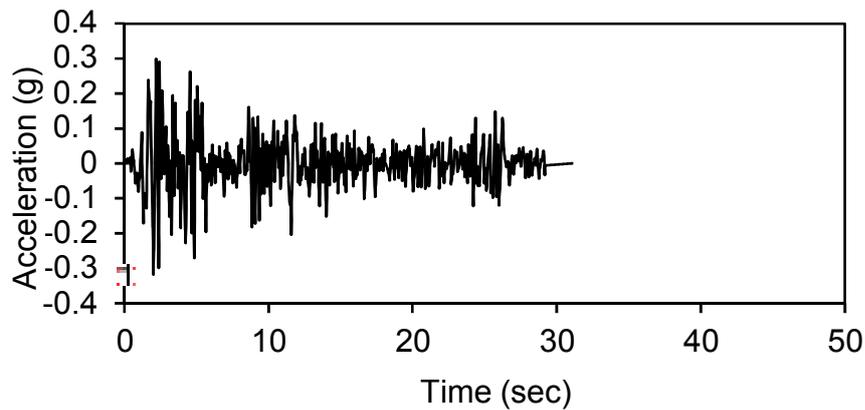
2. Beban Hidup

Pada penelitian ini beban hidup digunakan berdasarkan peraturan pembebanan untuk gedung (1983).

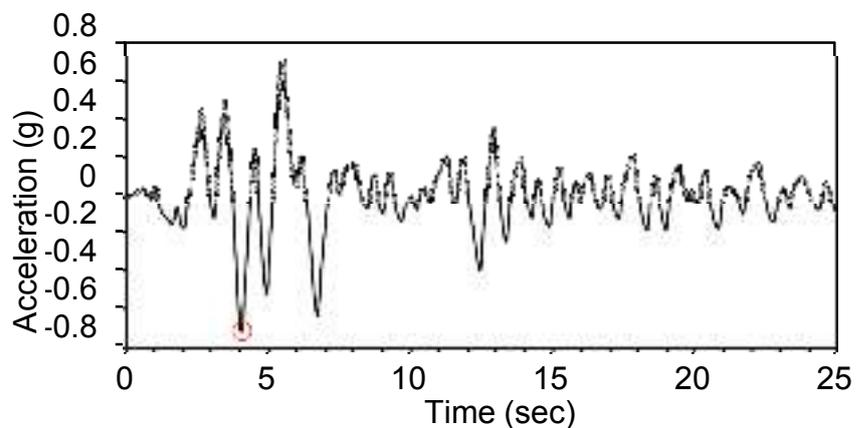
3. Beban Seismik Riwayat Waktu/*Time History*

Beban seismik riwayat waktu/*time history* yang digunakan adalah beban gempa dengan data gempa riwayat waktu percepatan *Bak Up (Landers)* dan data gempa riwayat waktu percepatan *El Centro*. Perambatan percepatan beban seismik riwayat waktu dimulai dari batuan dasar ke permukaan tanah menggunakan program NERA. Kemudian data dari rambatan percepatan beban seismik riwayat waktu di permukaan tanah digunakan sebagai beban seismik untuk kedua model struktur pada penelitian ini.

a. Riwayat Waktu El Centro

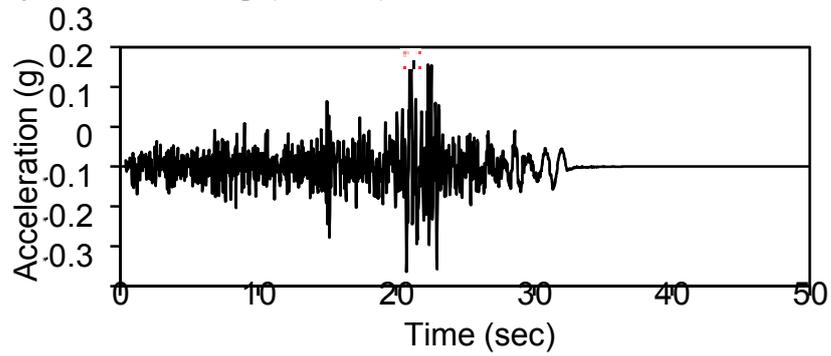


Gambar 3. 2 Data riwayat waktu el centro di batuan dasar  
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

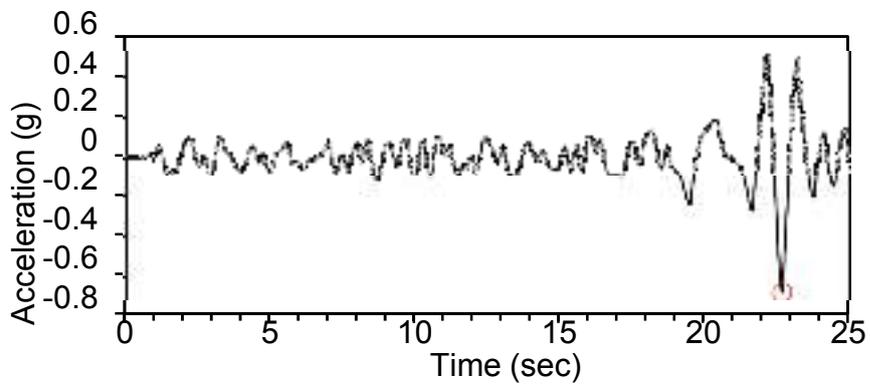


Gambar 3. 3 Data riwayat waktu el centro di permukaan tanah  
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

b. Riwayat Waktu Bak Up (Landers)



Gambar 3. 4 Data riwayat waktu bak up landers di batuan dasar  
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)



Gambar 3. 5 Data riwayat waktu bak up landers di permukaan tanah  
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

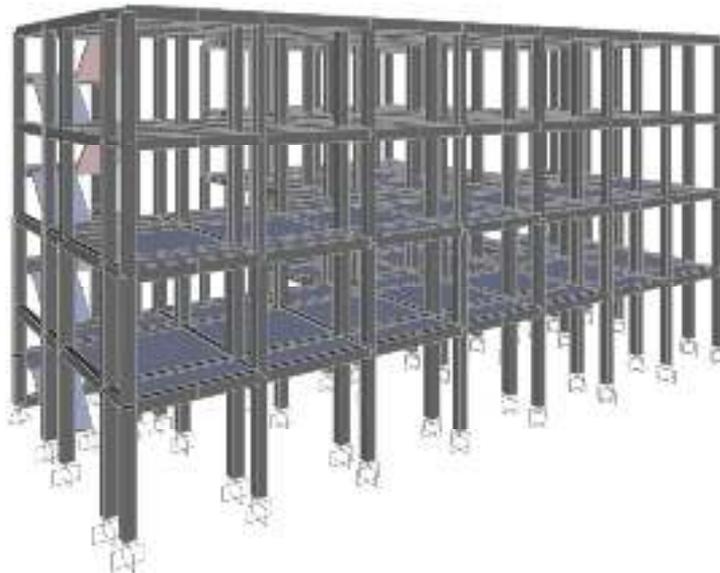
Tabel 3. 1 Karakteristik permukaan tanah ke batuan dasar

	Layer Number	Soil Material Type	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Total unit weight ( $kN/m^3$ )	Shear wave velocity (m/sec)	Depth at top of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	2.0	1.00	15.30	25.3	0.0	0.00
	2	1	1.0	9.46	16.28	75.5	2.0	30.60
	3	1	2.0	1.73	15.30	33.3	3.0	46.88
	4	1	2.0	58.16	16.58	185.5	5.0	77.48
	5	1	2.0	3.56	15.50	47.5	7.0	110.64
	6	1	7.0	103.67	17.85	238.7	9.0	141.64
	7	1	10.0	103.67	17.85	238.7	16.0	266.59
	8	1	10.0	103.67	17.85	238.7	26.0	445.09
	9	1	10.0	123.82	18.15	258.7	36.0	623.59
Bedrock	10	0	10.0	3229.36	22.00	1200	46.0	805.09

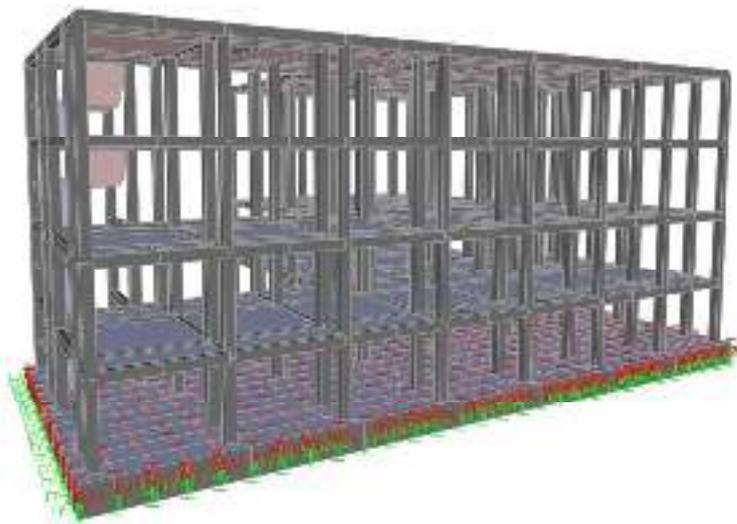
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

### 3.3 Permodelan Struktur

Dalam memodelkan serta menganalisis suatu struktur bangunan pada penelitian ini menggunakan program *Finite Elemen Method*. Dimana pada akan dibuat dua model yaitu model 1 (satu) dengan perletakan jepit dan model 2 (dua) dengan perletakan springs dan penambahan model struktur pondasi rakit. Berikut merupakan gambar-gambar permodelan dari kedua model struktur yang akan dianalisis:



Gambar 3. 6 Model struktur 1  
(Sumber : Program finite element method, 2024)



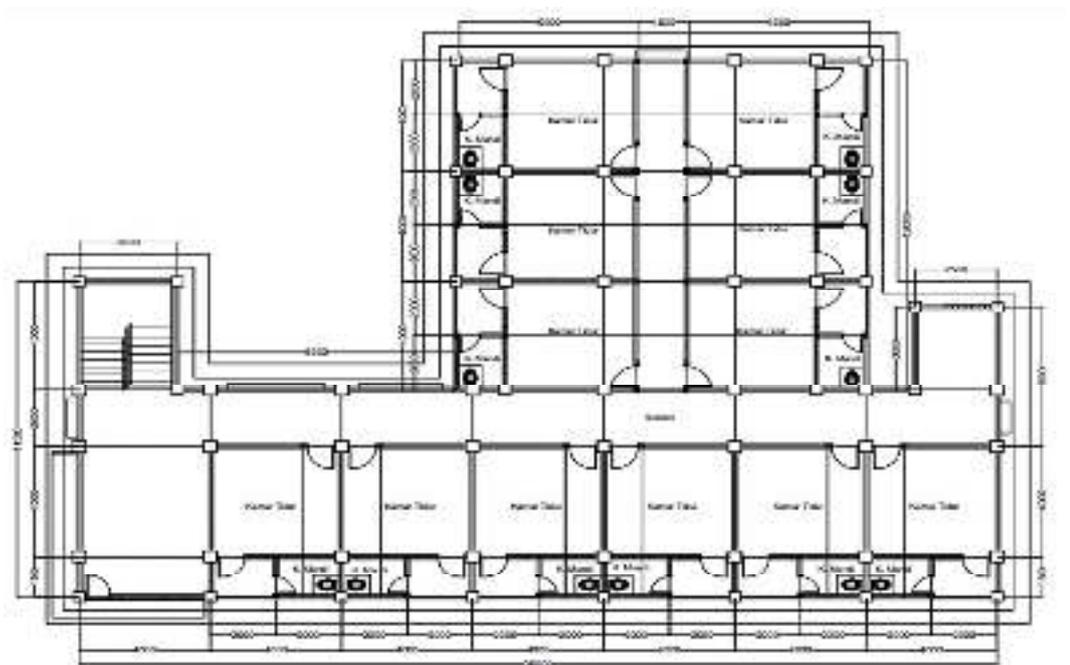
Gambar 3. 7 Model struktur 2  
(Sumber : Program finite element method, 2024)

### 3.4 Layout dan Denah Bangunan

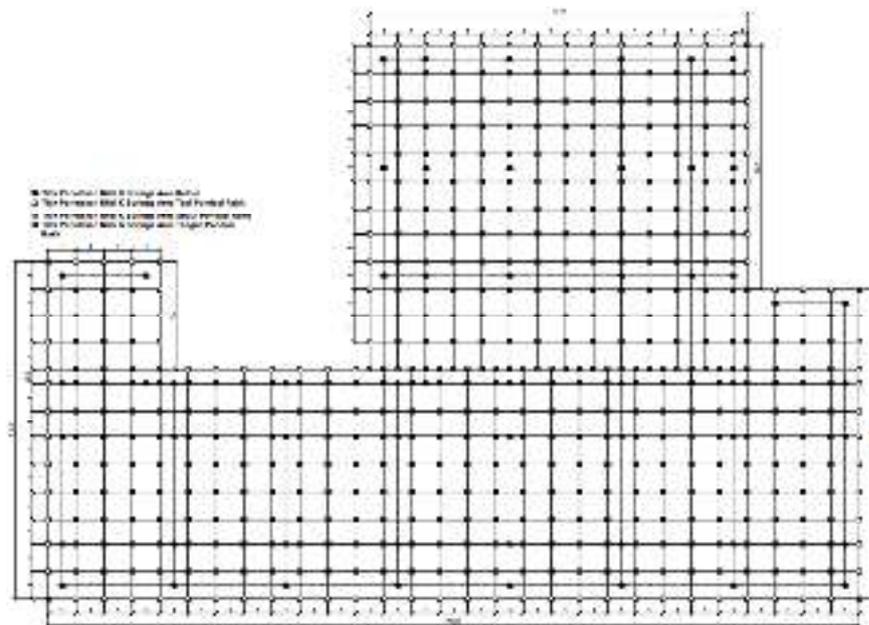
Gambar layout dan denah bangunan akan ditampilkan pada gambar yang terlampir dibawah ini :



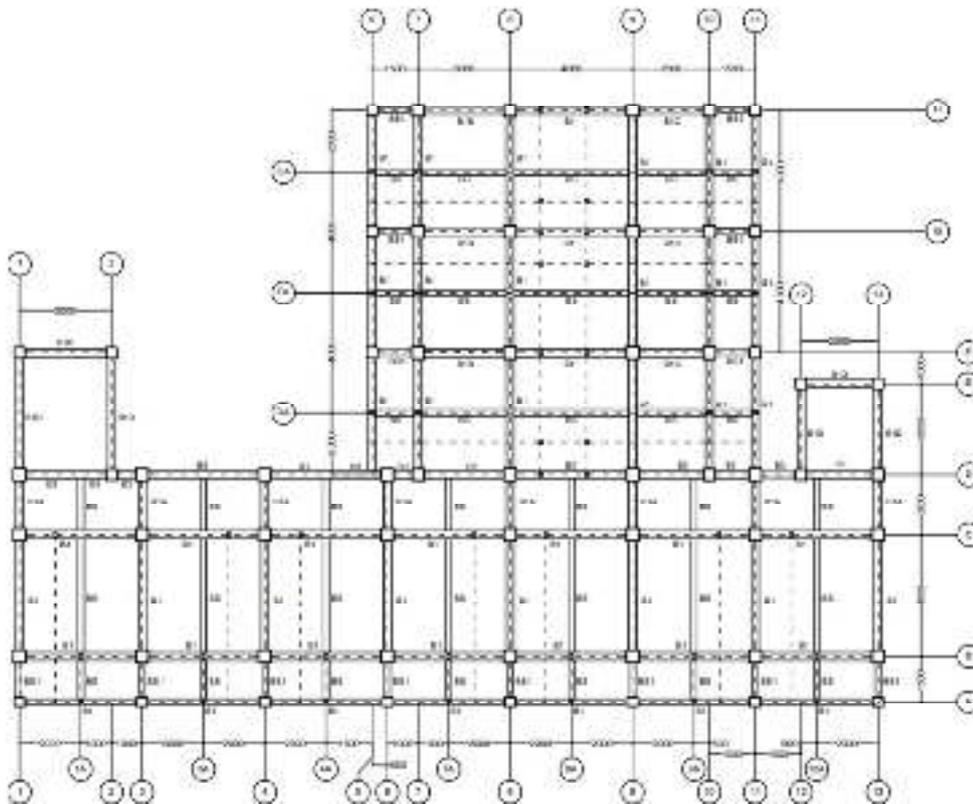
Gambar 3. 8 Tampak depan  
(Sumber : CV Trigora, 2024)



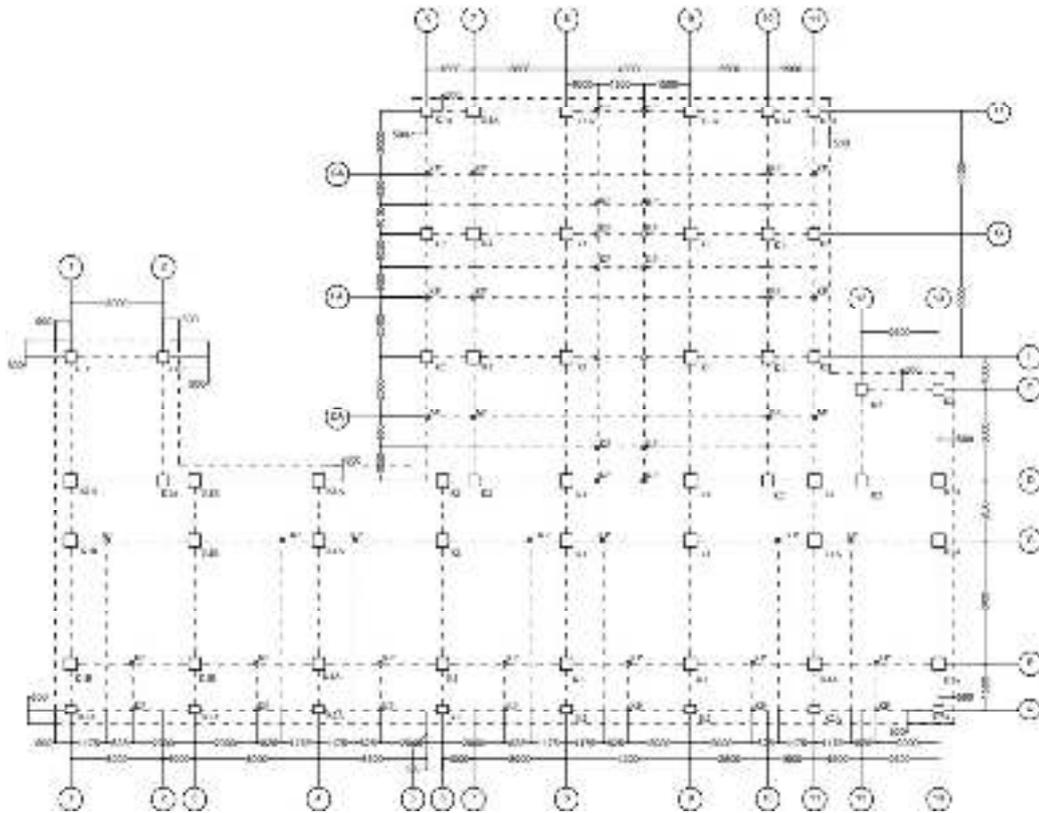
Gambar 3. 9 Denah bangunan  
(Sumber : CV Trigora, 2024)



Gambar 3. 10 Denah titik perletakan K springs  
 (Sumber : Autocad, 2024)



Gambar 3. 11 Denah balok  
 (Sumber : CV Trigora, 2024)



Gambar 3. 12 Denah kolom  
(Sumber : CV Trigora, 2024)

### 3.5 Kondisi Tanah

1. Daya dukung pondasi diasumsikan:

-  $q_{ijin} = 250 \text{ KN/m}^2$

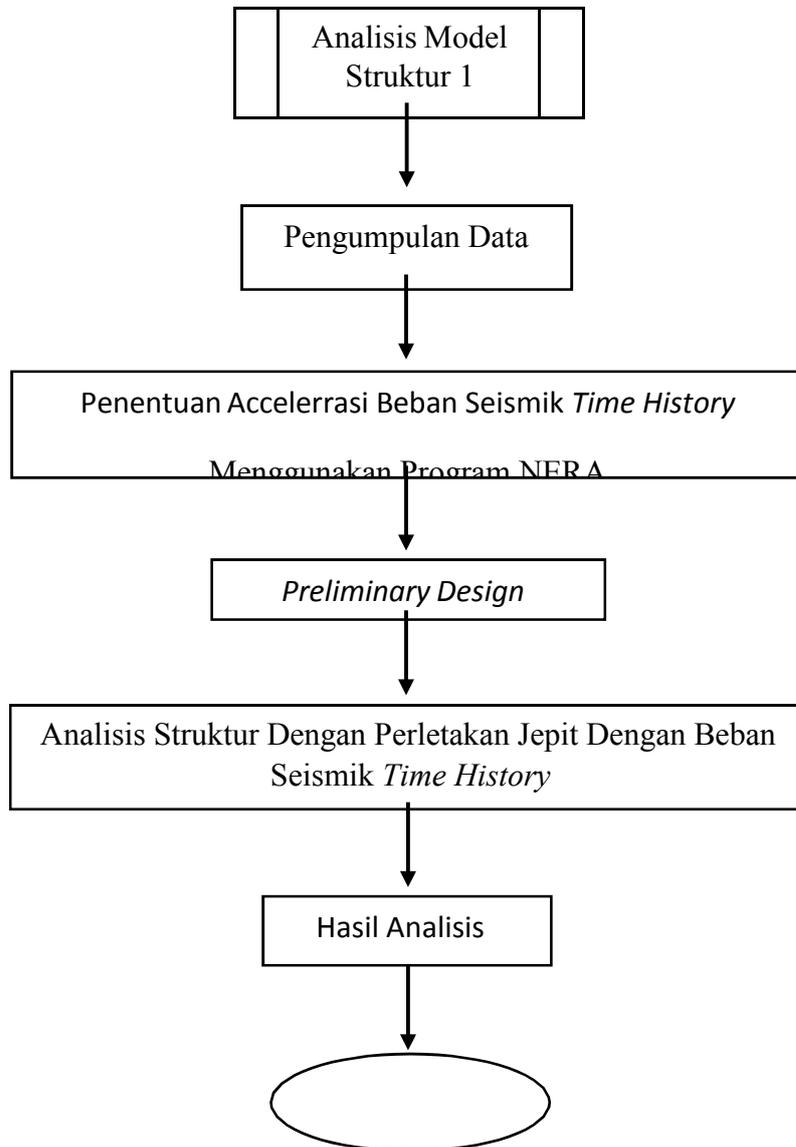
2. Pada tanah dasar dibawah pondasi telah dilakukan perbaikan tanah berupa *replacement* tanah asli dengan sirtu ditambah dengan *soil cement* untuk meningkatkan daya dukung tanah.

### 3.6 Analisis Struktur Model 1

Dalam menganalisis struktur gedung penelitian ini menggunakan metode analisis yang mengacu pada SNI 1726:2019 serta beban lainnya mengacu pada (Dinas Pekerjaan Umum, 1983). Untuk memudahkan perhitungan, analisa struktur menggunakan program *Finite Element Method* yang tahapan pengerjaannya sebagai berikut :

1. Memodelkan gedung yang akan di analisis.
2. Memodelkan dimensi kolom, balok, serta plat lantai.
3. Menentukan jenis pondasi yang di pakai.

4. Menentukan material yang digunakan.
  5. Input beban yang bekerja pada bangunan.
- Berikut merupakan gambar 3.13 *flowchart* struktur model 1 dengan program *FiniteElement Method* yang dilakukan pada penelitian ini.



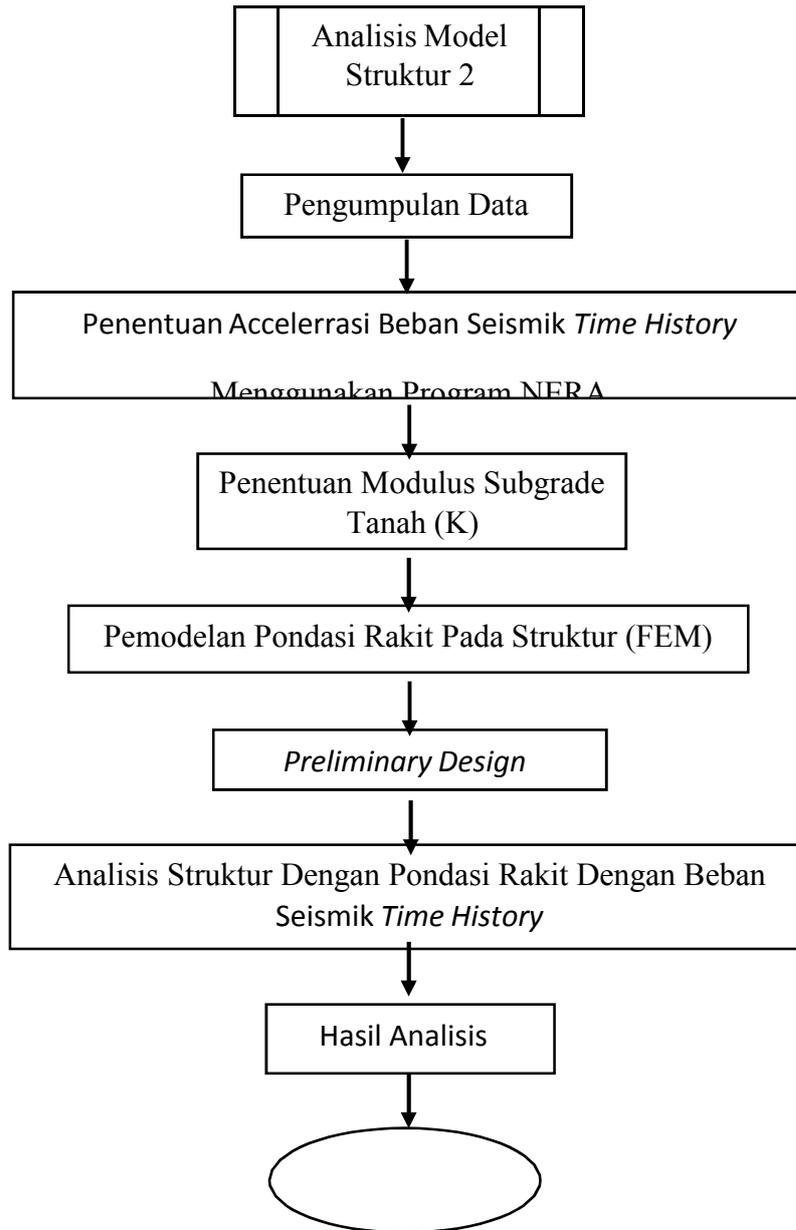
Gambar 3. 13 *Flowchart* struktur model 1

### 3.7 Analisis Struktur Model 2

Menganalisis struktur model sama halnya seperti menganalisis struktur model 1, metode-metode yang dipakai untuk menganalisis struktur ini menggunakan metode analisis berdasarkan SNI 1726:2019, serta beban lainnya mengacu pada (Dinas Pekerjaan Umum, 1983). Analisa struktur menggunakan program *Finite Element Method* untuk mempercepat pengerjaan. Berikut merupakan tahapan pengerjaan analisa struktur model 2:

1. Memodelkan gedung yang akan di analisis.
2. Memodelkan dimensi kolom, balok, serta plat lantai.
3. Menentukan jenis pondasi yang di pakai.
4. Menentukan material yang digunakan.
5. Input beban yang bekerja pada bangunan.
6. Menentukan nilai K (*modulus subgrade*)

Berikut merupakan gambar 3.14 *flowchart* struktur model 2 dengan *program FiniteElement Method* yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 3. 14 Flowchart struktur model 2

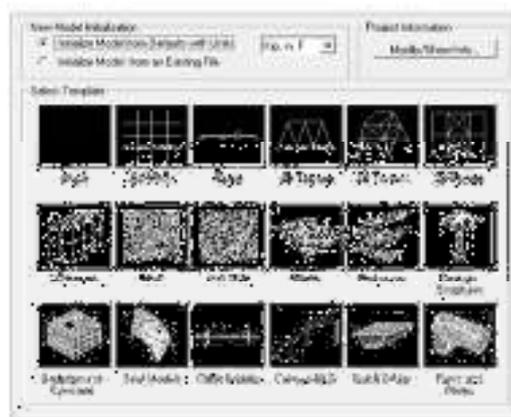
### 3.8 Program *Finite Element Method* (FEM)

#### 3.8.1 Progres Pengerjaan Analisis Struktur Model 1

Struktur akan dimodelkan dengan skala tiga dimensi serta memasukan elemen struktur yang berupa kolom, balok, serta pelat. Ukuran dan jarak disesuaikan dengan gambar rencana struktur. Untuk lebih jelasnya ikuti langkah-langkah berikut ini.

##### 1) Model Baru

a. Pilih *New Model*. Selanjutnya, akan muncul *pop up* (*New Model Initialization*),



pilih *Grid Only* untuk membuat model baru.

b. Pilih *Grid Only* untuk membuat model.



c. Sesuaikan dengan denah rencana penelitian, jumlah *grid lines* arah x, y, dan z.

##### 2) Tipe Material

Pilih menu *Define, Materials, Add New Material*. Isi tab *Material Name and Display Color* sesuai dengan nama material yang di teliti. Pilih tab *Material Type* dengan *Concrete*. *Weight per Unit Volume* =  $2,354E-05$ . *Modulus of Elasticity* =

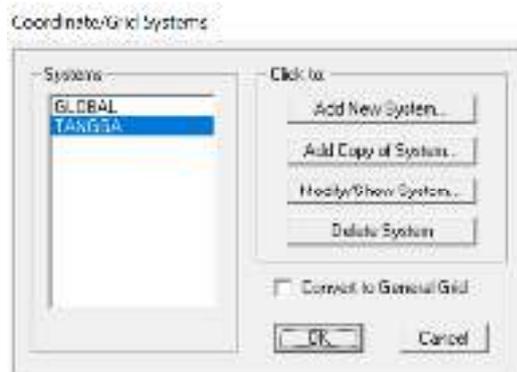
21409,51. *Poisson Ratio* = 0,3. *Coefficient of Thermal Expansion* = 1,170E-05.

*Specified Concrete Compressive Strenght, Fc* = 20,75

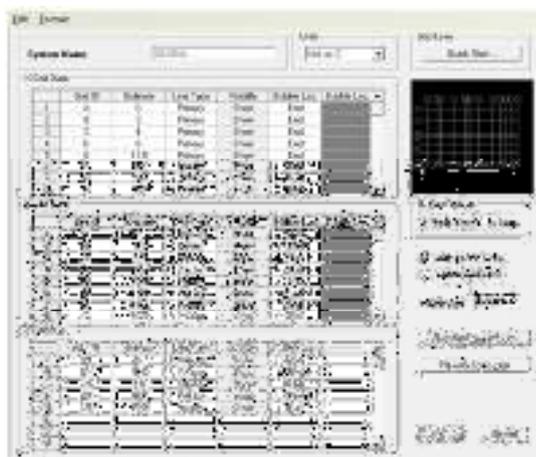


### 3) Membuat Koordinat Denah

a. Pilih menu *Define, Coordinate System/grids, Modify/Show System*



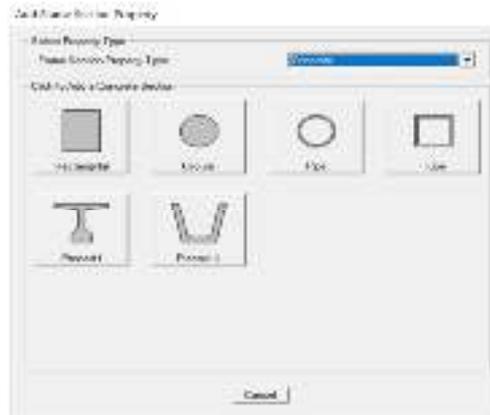
b. Klik *Modify/Show System* dan isikan seperti gambar dibawah ini.



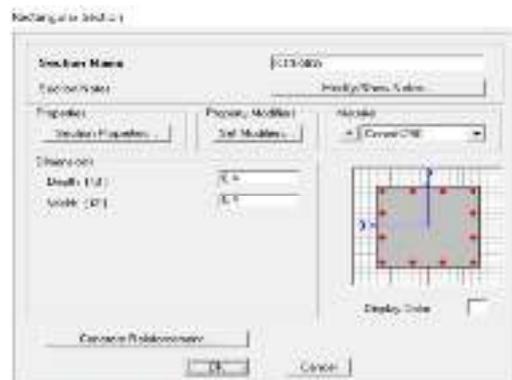
#### 4) Input Data Kolom, Balok, dan Pelat

##### a. Data Kolom

- Pilih menu *Define, Section Properties, Frame Section, Add new Property*, dan *Concrete*. Untuk kolom dan balok bangunan ini, pilih *Rectangular*.



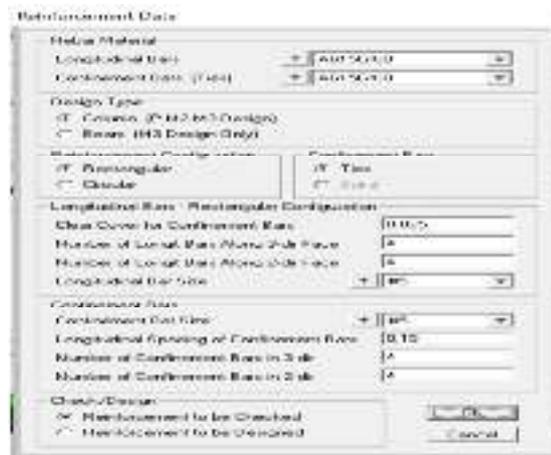
- Selanjutnya isikan seperti gambar dibawah ini untuk ukuran kolom adalah 400mm x 400mm, Material *ConcrK250*.



- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



- Selanjutnya klik *Concrete Reinforcement* maka akan muncul *Rebar Material* lalu isikan data seperti gambar



b. Data Balok

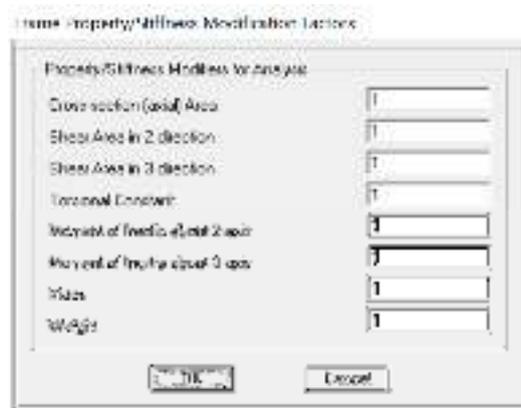
- Pilih menu *Define, Section Properties, Frame Section, Add new Property*, dan *Concrete*. Untuk kolom dan balok bangunan ini, pilih *Rectangular*.



- Selanjutnya isikan seperti gambar dibawah ini untuk ukuran kolom adalah 350mm x 250mm, Material *ConcrK250*.



- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.

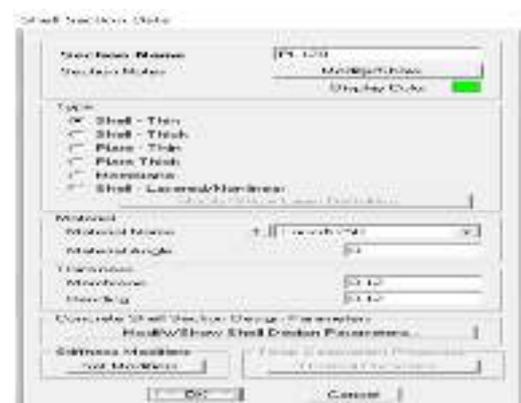


- Selanjutnya klik *Concrete Reinforcement* maka akan muncul *Rebar Material* lalu isikan data seperti gambar

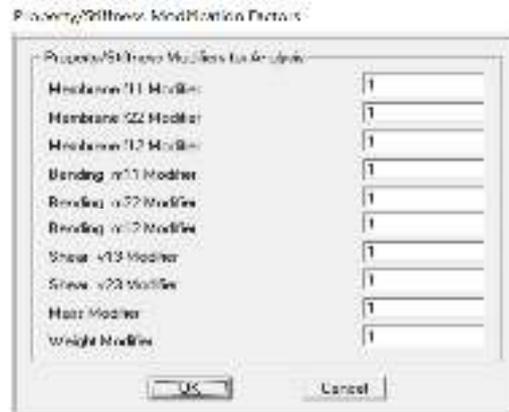


c. Data Pelat

- Pilih menu *Define, Section Properties, dan Area Section*. Pada pilihan *Select Section Type to Add* pilih *Shell, Shell-Thin*. Lalu isikan semua seperti pada gambar



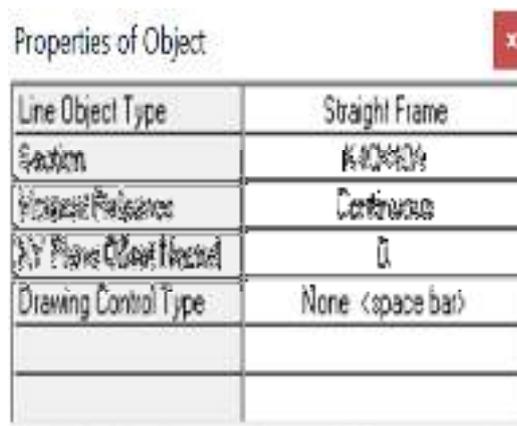
- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



### 5) Menggambar Kolom, Balok, dan Pelat

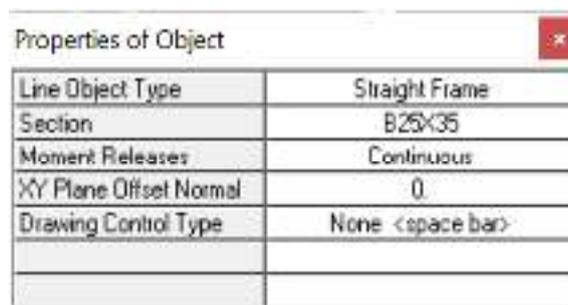
#### a. Membuat kolom

- Pilih menu *View, Set 2D View, X-Z Plane*. Lalu pilih menu *Draw, Draw Frame/Cable/Tendon*. Pada Pop up pilih *Section K40x40A*.



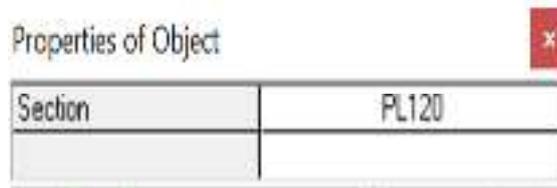
#### b. Membuat balok

- Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. Lalu pilih menu *Draw, Draw Frame/Cable/Tendon*. Pada Pop up pilih *Section B25X35*.



c. Membuat pelat

- Pilih menu *Draw, Draw Rectangular Area*. Pada Pop up pilih



Section PL120.

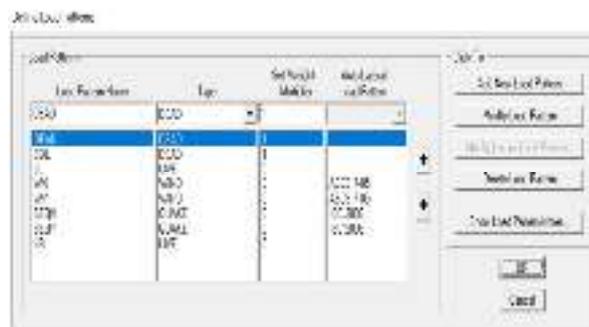
## 6) Menentukan Jenis Perletakan

Pilih menu *Assign, Joint, Restraints*. Kemudian pilih jenis *Support Jepit*.



## 7) Membuat Tipe Beban

Pilih menu *Define, Load Patterns* maka terlihat gambar dibawah ini.

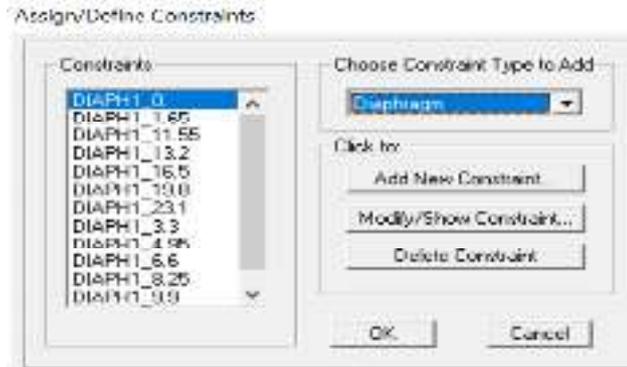


## 8) Membuat Tipe Kombinasi Beban

Pilih menu *Define, Load Combinations* maka terlihat gambar dibawah ini.



## 9) Diafragma



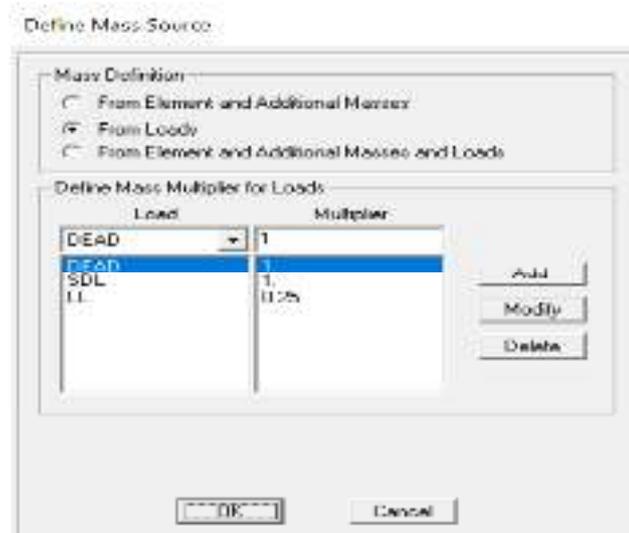
Pilih menu *Select, All*. Lalu pilih menu *Assign, Joint Constraints*.

Pada *Choose Constraint Type to Add* pilih *diaphragm* dan klik *Add New Constraint*.



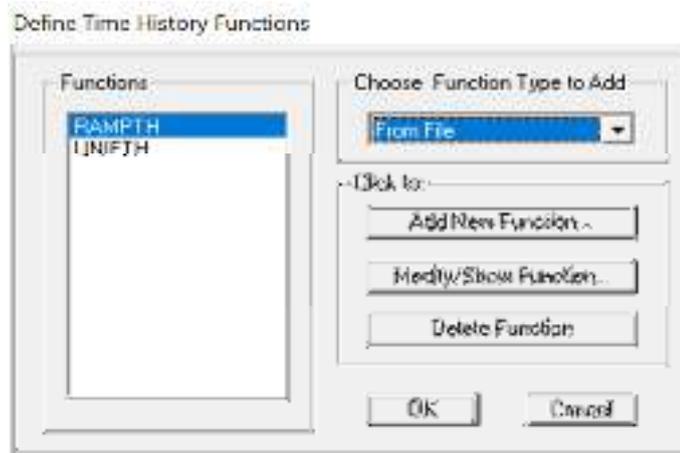
## 10) Massa Struktur

Klik menu *Define, Mass Source* maka akan terlihat seperti gambar.

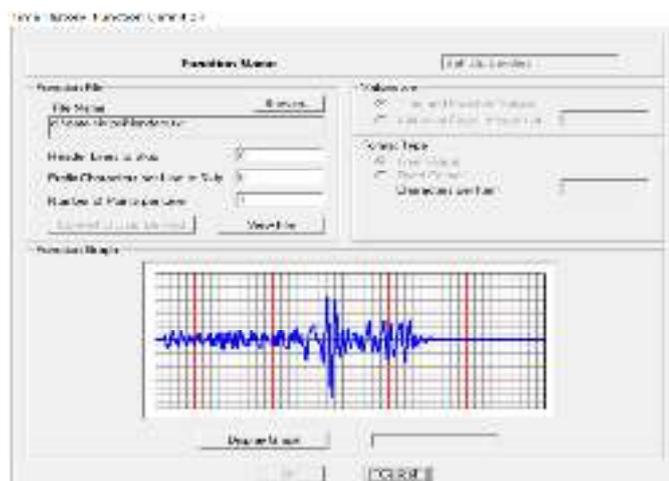
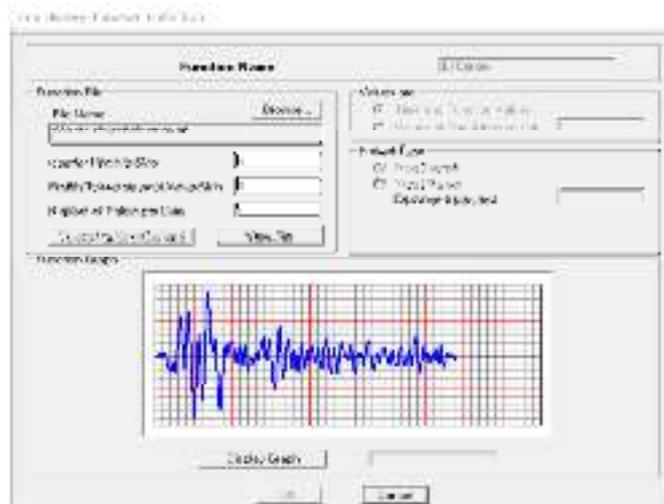


### 11) Parameter Beban Seismik Riwayat Waktu/*Time History*

Pilih menu *Define, Function, Time History, Choose Function Type to Add* pilih *From File* lalu klik *Add New Function*.



Lalu akan muncul menu pop up seperti dibawah ini, isikan data seperti gambar dibawah ini untuk memasukan beban seismik riwayat waktu.





Pada baris SEQX pilih pada kolom *Auto Lateral Load Pattern*, pilih IBC 2006. Kemudian klik *Modify Lateral Load Pattern*. Lalu isikan seperti gambar.



#### 14) Input Beban Pada Pelat Lantai

Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. Pilih pelat lantai yang akan diberi beban. Setelah itu pilih menu *Assign, Area Loads, Uniform to Frame (Shell)*. Pilih satuan KN.m dan isikan besar beban yang telah ditentukan.



#### 15) Modal Analysis

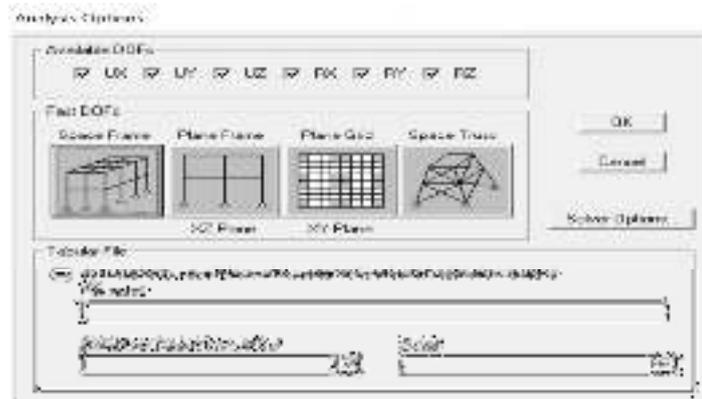
Pilih menu *Define, Load Case*, pilih pada *Load Case Modal, Modify/Show Load Case*. Lalu isikan seperti gambar.

Load Case Editor - General

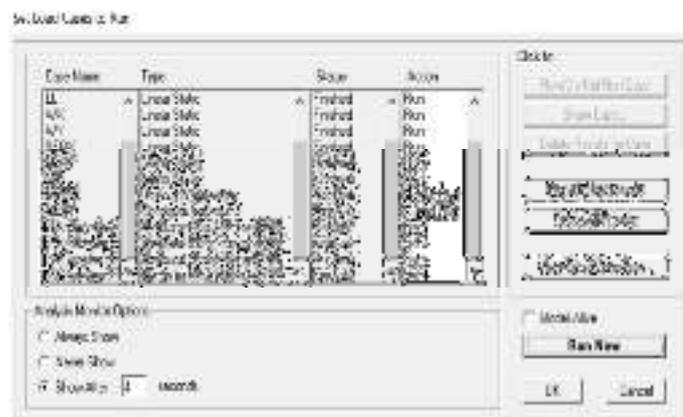
<b>Load Case Name</b> MC (1)	<b>Units</b> Nodes/Elem.																
<b>Load Case Type</b> Static	<b>Type of Modes</b> 1) Eigen Vectors 2) Ritz Vectors																
<b>Use Initial Conditions - Load Case State</b> <input type="checkbox"/> Use Initial Conditions from <input type="checkbox"/> Use Initial Conditions from the previous Load Case (not included in the analysis)																	
<b>Number of Modes</b> Maximum Number of Modes: 8 Minimum Number of Modes: 1																	
<b>Mode Order</b>	<b>Force Dynamic Calculation Factor (%)</b>																
<table border="1"><thead><tr><th>Load Case</th><th>Load Name</th><th>Minimum Order</th><th>Force Dynamic Calculation Factor (%)</th></tr></thead><tbody><tr><td>General</td><td>MC</td><td>1</td><td>0%</td></tr><tr><td>General</td><td>MC</td><td>1</td><td>0%</td></tr><tr><td>General</td><td>MC</td><td>1</td><td>0%</td></tr></tbody></table>	Load Case	Load Name	Minimum Order	Force Dynamic Calculation Factor (%)	General	MC	1	0%	General	MC	1	0%	General	MC	1	0%	
Load Case	Load Name	Minimum Order	Force Dynamic Calculation Factor (%)														
General	MC	1	0%														
General	MC	1	0%														
General	MC	1	0%														
<b>OK</b>	<b>Cancel</b>																

## 16) Analisis

Klik menu *Analyze, Set Analysis Option*. Klik gambar *Space Frame* yang artinya model portal akan dilakukan analisis secara tiga dimensi.



Kemudian untuk menjalankan proses analisis pilih menu *Analyze, Run Analysis*, lalu klik *Run Now*.

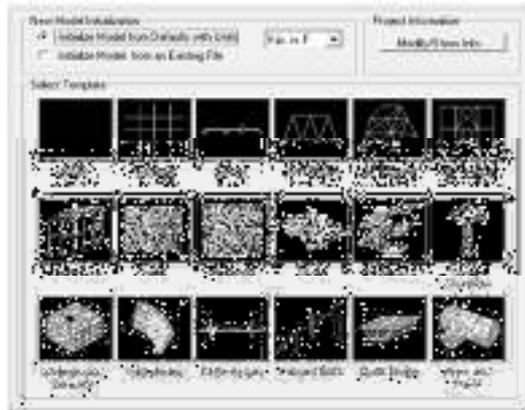


### 3.8.2 Progres Pengerjaan Analisis Struktur Model 2 (Rakit)

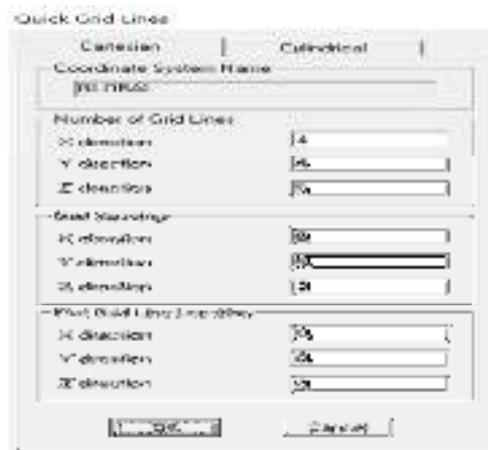
Sama halnya seperti struktur model 1, progres pengerjaan struktur model 2 memiliki penambahan pelat yang diasumsikan dengan pondasi rakit yang berada dibawah struktur, serta perletakan *Springs* (Pegas Elastis). Struktur akan dimodelkan dengan skala tiga dimensi serta memasukan elemen struktur yang berupa kolom, balok, serta pelat. Ukuran dan jarak disesuaikan dengan gambar rencana struktur. Untuk lebih jelasnya ikuti langkah-langkah berikut ini.

#### 1) Model Baru

a. Pilih *New Model*. Selanjutnya, akan muncul *pop up (New Model Initialization)*, pilih *Grid Only* untuk membuat model baru.



b. Pilih *Grid Only* untuk membuat model.



c. Sesuaikan dengan denah rencana penelitian, jumlah *grid lines* arah x, y, dan z.

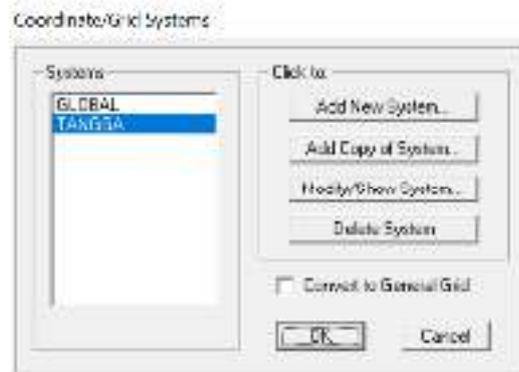
## 2) Tipe Material

Pilih menu *Define, Materials, Add New Material*. Isi tab *Material Name and Display Color* sesuai dengan nama material yang di teliti. Pilih tab *Material Type* dengan *Concrete*. *Weight per Unit Volume* = 2,354E-05. *Modulus of Elasticity* = 21409,51. *Poison Ratio* = 0,3. *Coefficient of Thermal Expansion* = 1,170E-05. *Specified Concrete Compressive Strength, Fc* = 20,75

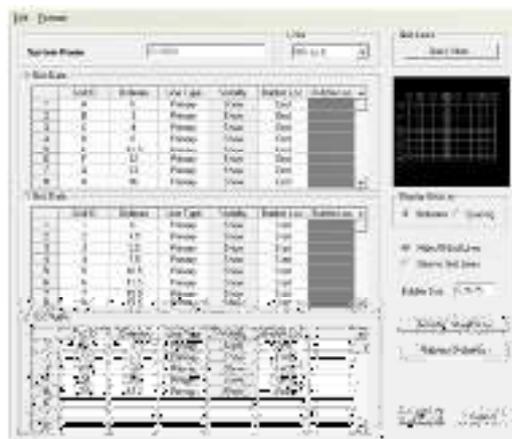


### 3) Membuat Koordinat Denah

a. Pilih menu *Define, Coordinate System/grids, Modify/Show System*



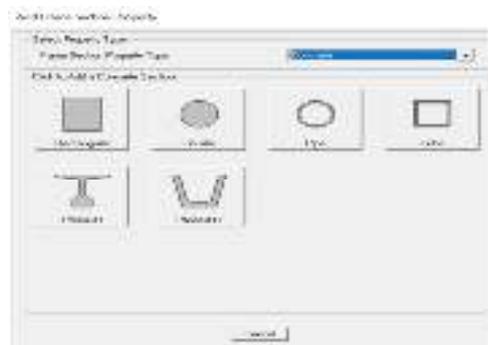
b. Klik *Modify/Show System* dan isikan seperti gambar dibawah ini.



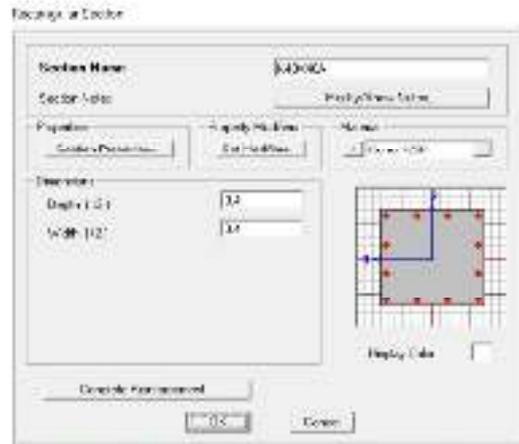
### 4) Input Data Kolom, Balok, dan Pelat

d. Data Kolom

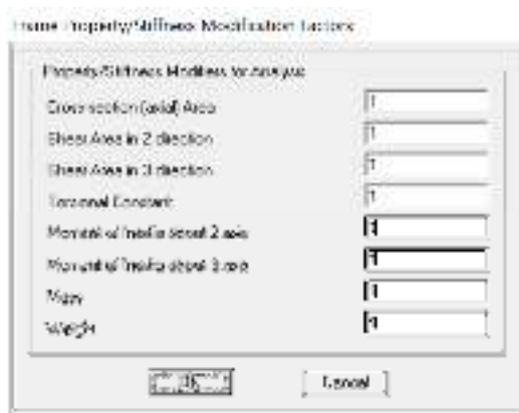
- Pilih menu *Define, Section Properties, Frame Section, Add new Property*, dan *Concrete*. Untuk kolom dan balok bangunan ini, pilih *Rectangular*.



- Selanjutnya isikan seperti gambar dibawah ini untuk ukuran kolom adalah 400mm x 400mm, Material *ConcrK250*.



- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



- Selanjutnya klik *Concrete Reinforcement* maka akan muncul *Rebar Material* lalu isikan data seperti gambar

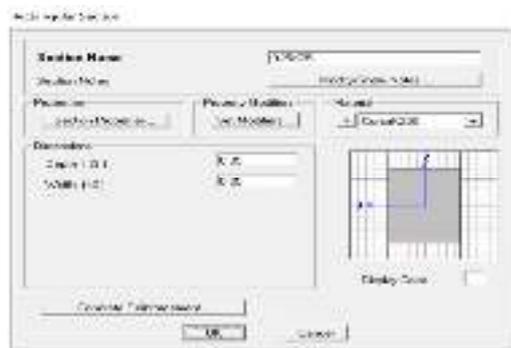


e. Data Balok

- Pilih menu *Define, Section Properties, Frame Section, Add new Property*, dan *Concrete*. Untuk kolom dan balok bangunan ini, pilih *Rectangular*.



- Selanjutnya isikan seperti gambar dibawah ini untuk ukuran kolom adalah 350mm x 250mm, Material *ConcrK250*.



- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



- Selanjutnya klik *Concrete Reinforcement* maka akan muncul *Rebar Material* lalu isikan data seperti gambar



f. Data Pelat

- Pilih menu *Define, Section Properties, dan Area Section*. Pada pilihan *Select Section Type to Add* pilih *Shell, Shell-Thin*. Lalu isikan semua seperti pada gambar



- Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



g. Data Pelat Pondasi Rakit

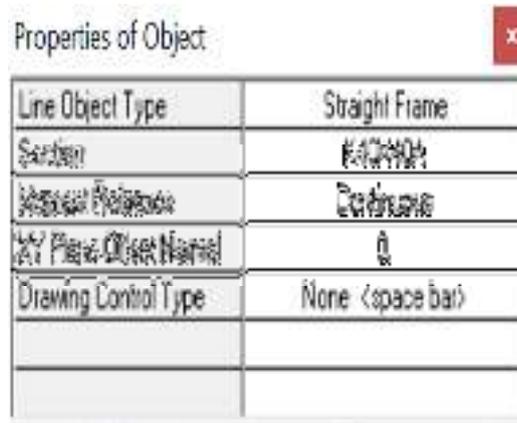
- Pilih menu *Define, Section Properties, dan Area Section*. Pada pilihan *Select Section Type to Add* pilih *Shell, Shell-Thin*. Lalu isikan semua seperti pada gambar



## 5) Menggambar Kolom, Balok, dan Pelat

### a. Membuat kolom

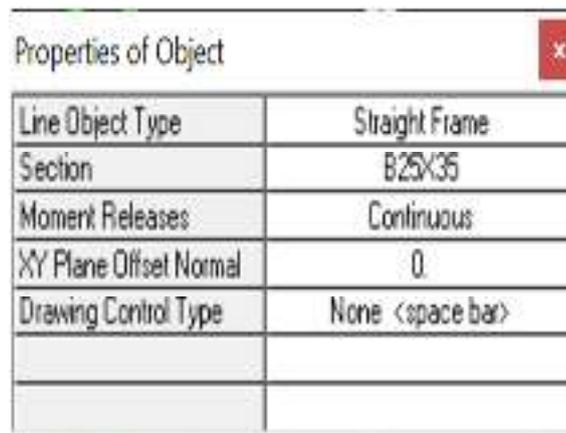
- Pilih menu *View, Set 2D View, X-Z Plane*. Lalu pilih menu *Draw, Draw Frame/Cable/Tendon*. Pada Pop up pilih *Section K40x40A*.



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	K40x40A
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0
Drawing Control Type	None <space bar>

### b. Membuat balok

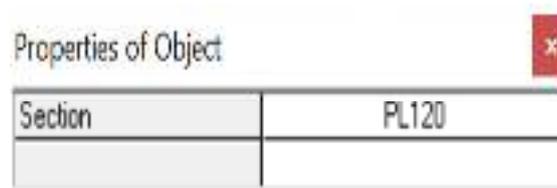
- Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. Lalu pilih menu *Draw, Draw Frame/Cable/Tendon*. Pada Pop up pilih *Section B25X35*.



Properties of Object	
Line Object Type	Straight Frame
Section	B25X35
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0
Drawing Control Type	None <space bar>

### c. Membuat pelat

- Pilih menu *Draw, Draw Rectangular Area*. Pada Pop up pilih

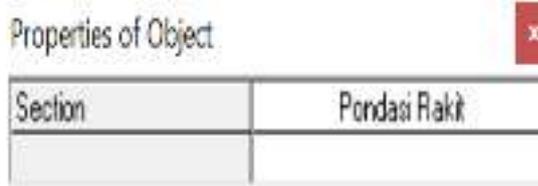


Properties of Object	
Section	PL120

*Section PL120.*

### d. Membuat Pelat Pondasi Rakit

- Pilih menu *Draw, Draw Rectangular Area*. Pada Pop up pilih *Section*.

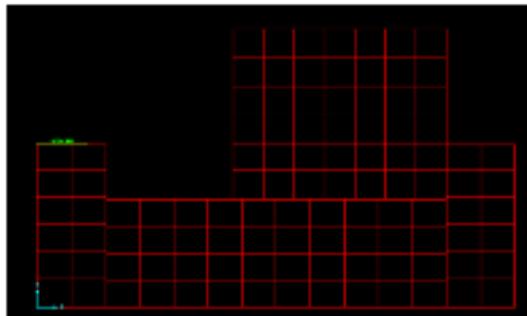


## 6) Menentukan Jenis Perletakan

Pertama-tama membuat mesh area pada pelat pondasi rakit agar pelat terbagi menjadi beberapa bagian. Klik pelat pondasi rakit lalu pilih *Edit, Edit Areas, Divide Areas* kemudian isikan seperti gambar.



Maka pelat pondasi rakit akan terbagi-bagi seperti pada gambar

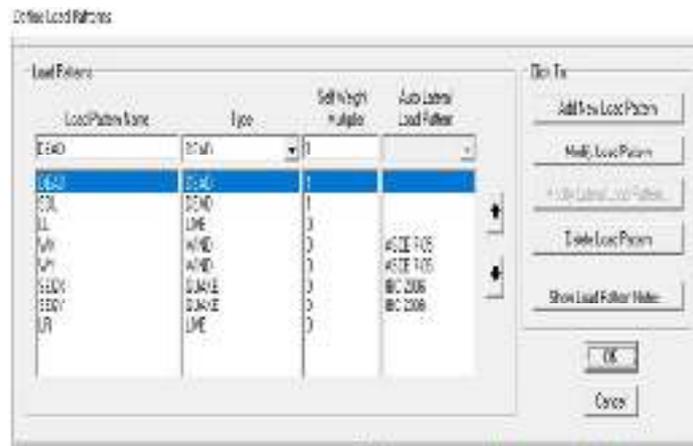


Kemudian klik beberapa *joint* pada pondasi rakit, lalu klik *Assign, Joint, Springs* maka akan terlihat seperti gambar. Isikan beberapa pop up *Translation* sesuai dengan data koefisien reaksi tanah, (K) yang sudah ditentukan.



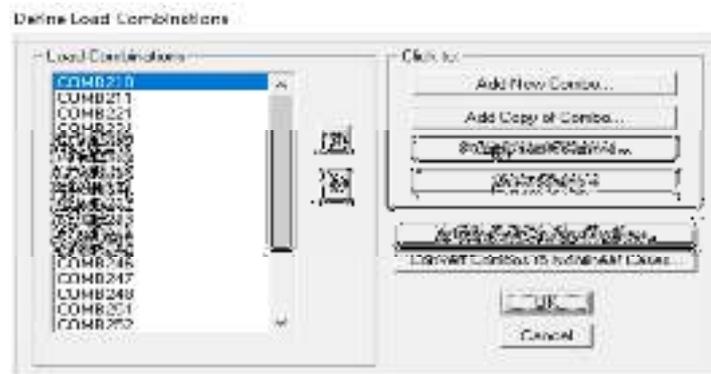
## 7) Membuat Tipe Beban

Pilih menu *Define, Load Patterns* maka terlihat gambar dibawah ini.



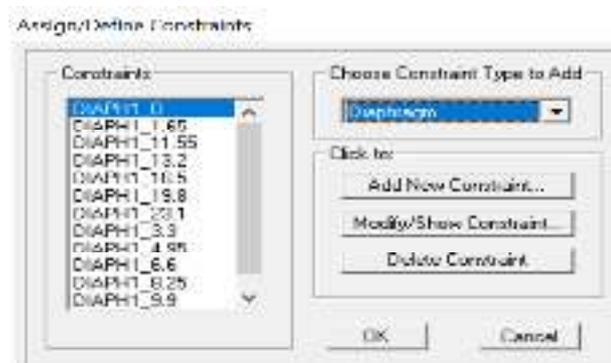
## 8) Membuat Tipe Kombinasi Beban

Pilih menu *Define, Load Combinations* maka terlihat gambar dibawah ini.



## 9) Diafragma

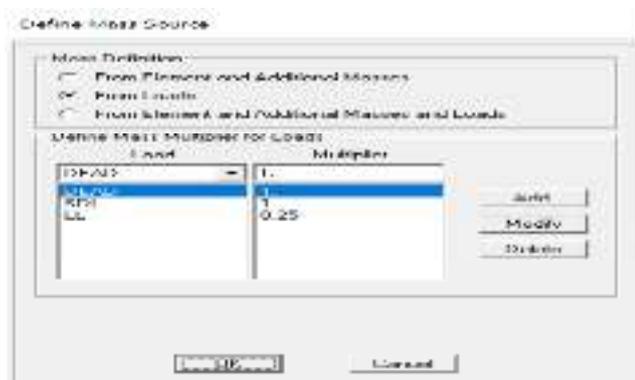
Pilih menu *Select, All*. Lalu pilih menu *Assign, Joint Constraints*.





Pada *Choose Constraint Type to Add* pilih *diaphragm* dan klik *Add New Constraint*.

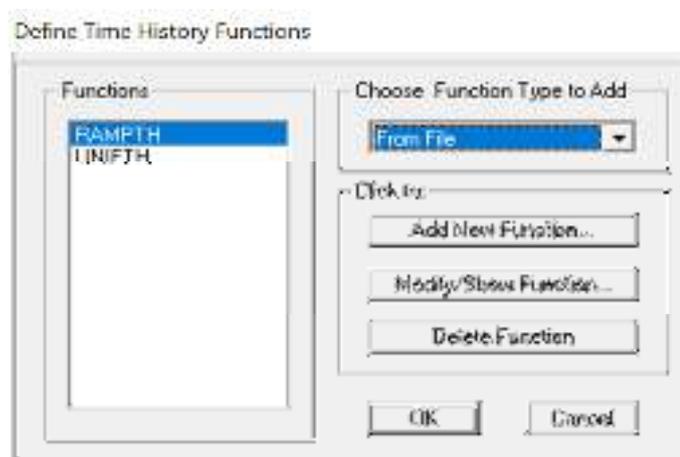
## 10) Massa Struktur



Klik menu *Define, Mass Source* maka akan terlihat seperti gambar.

## 11) Parameter Beban Seismik Riwayat Waktu/*Time History*

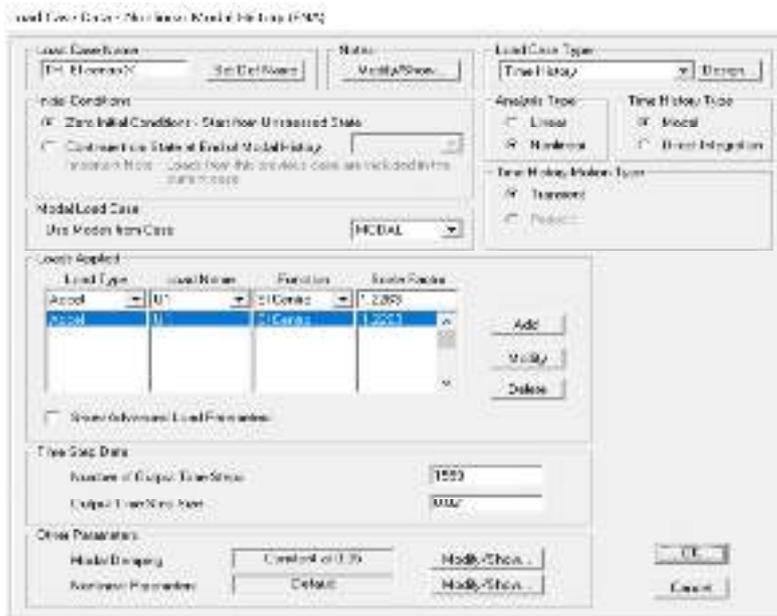
Pilih menu *Define, Function, Time History, Choose Function Type to Add* pilih *From File* lalu klik *Add New Function*.



Lalu akan muncul menu pop up seperti dibawah ini, isikan data seperti gambar

dibawah ini untuk memasukan beban seismik riwayat waktu.





### 13) Input Beban Statis



Pada baris SEQX pilih pada kolom *Auto Lateral Load Pattern*, pilih IBC 2006. Kemudian klik *Modify Lateral Load Pattern*. Lalu isikan seperti gambar.



### 14) Input Beban Pada Pelat Lantai

Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. Pilih pelat lantai yang akan diberi beban. Setelah itu pilih menu *Assign, Area Loads, Uniform to Frame (Shell)*. Pilih satuan KN.m dan isikan besar beban yang telah ditentukan.



### 15) Modal Analysis

Pilih menu *Define, Load Case*, pilih pada *Load Case Modal, Modify/Show LoadCase*. Lalu isikan seperti gambar.



### 16) Analisis

Klik menu *Analyze, Set Analysis Option*. Klik gambar *Space Frame* yang artinya model portal akan dilakukan analisis secara tiga dimensi.



Kemudian untuk menjalankan proses analisis pilih menu *Analyze, Run Analysis*, lalu klik *Run Now*.

SELECTABLE TO GO

Class Name	Type	State	Address
C	Linux 7.000	Y0000C	Y000
CPH	Linux 7.000	Y0000C	Y000
CPH	Linux 7.000	Y0000C	Y000
Y000C	Linux 7.000	Y0000C	Y000
Y000Y	Linux 7.000	Y0000C	Y000
Y0	Linux 7.000	Y0000C	Y000
Y000	Linux 7.000	Y0000C	Y000
Y000	Proprietary Software	Not Full	Can not Run
Y000	Proprietary Software	Not Full	Can not Run
Y000	Systemic Model (Linux 7.000)	Y0000C	Y000
Y000	Systemic Model (Linux 7.000)	Y0000C	Y000
Y000	Systemic Model (Linux 7.000)	Y0000C	Y000
Y000	Systemic Model (Linux 7.000)	Y0000C	Y000

Show All  
 Show Only  
 Show All