

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

**TUGAS AKHIR**

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

Disusun oleh:

**CANDRA J.A PAKPAIJAN**

**20310103**

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

**Dosen Pembimbing I**



**Bartholomeus, S.T., M.T.**

**Dosen Pembimbing II**



**Humisar Fasaribu, S.T., M.T.**

**Dosen Penguji I**



**Ir. Partahi Lumbangaol, M.Eng.Sc.**

**Dosen Penguji II**



**Nurvita Insani M. Simanjuntak S.T., M.Sc.**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Ir. Bambang Pangaribuan, M.T.**

**Ketua Program Studi**



**Ir. Yetti Riris Saragi, S.T., M.T., IPI, ACPE.**

## **BAB I**

### **1.1 Latar Belakang      PENDAHULUAN**

Seiring dengan perkembangan zaman serta pesatnya pertumbuhan penduduk menuntut ketersediaan bangunan baik sebagai tempat tinggal, sekolah maupun untuk fungsi lainnya. dalam perencanaan bangunan tersebut perlu memperhatikan beberapa hal penting mulai dari pembebanan, perancangan struktur dan data tanah dari hasil perhitungan tersebut maka dapat ditentukan material konstruksi yang tepat untuk di aplikasikan pada gedung tersebut.

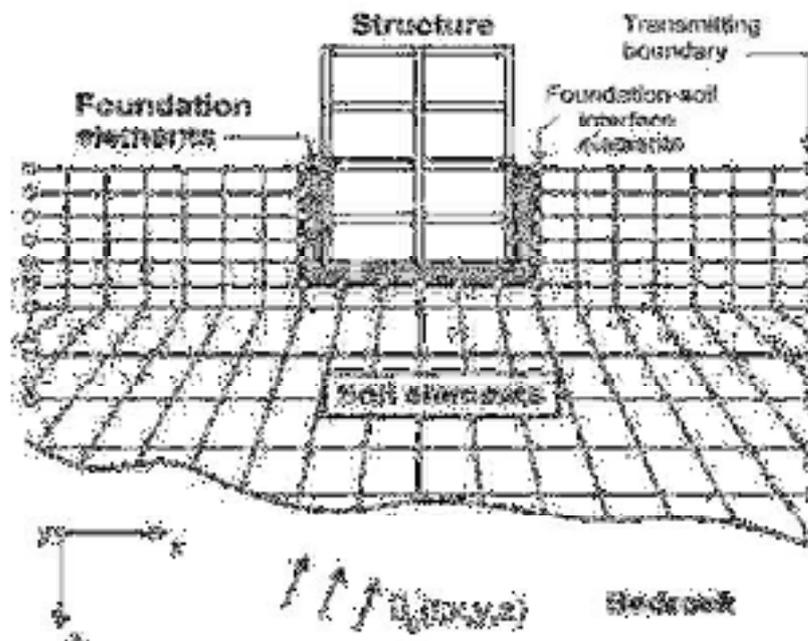
Dalam era teknologi informasi seperti sekarang, penggunaan program analisis struktur dengan *Finite Element Method*. menjadi semakin umum dalam perancangan struktur bangunan. Program analisis struktur dengan *Finite Element Method* adalah perangkat lunak yang memungkinkan analisis struktural secara detail serta mempertimbangkan berbagai kondisi pembebanan yang mungkin terjadi. Selain itu Program analisis struktur dengan *Finite Element Method* juga dapat mempercepat proses perhitungan struktur dibandingkan dengan perhitungan secara manual.

Salah satu bagian terpenting dalam konstruksi adalah pondasi. Pengertian umum untuk pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak di bawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lainnya di atasnya. Pondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri, beban - beban bangunan (beban isi bangunan), gaya-gaya luar seperti: tekanan angin, gempa bumi, dan lain-lain. Disamping itu, tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang diijinkan (Solikhati, 2011).

Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah di bawahnya. Pemilihan bentuk pondasi yang didasarkan pada daya dukung tanah, antara lain bila tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2-3 meter di bawah permukaan tanah, maka pondasi yang dipilih sebaiknya jenis pondasi dangkal (pondasi jalur atau pondasi

tapak) dan pondasi *strouspile*. Bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 10 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang biasanya dipakai adalah pondasi tiang *mini pile* dan pondasi sumuran atau *bor pile*. Dan bila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 meter atau lebih di bawah permukaan tanah maka jenis pondasi yang dapat dipakai adalah pondasi *mini pile* atau pondasi *bor pile*. Sementara faktor ekonomis menjadi pertimbangan dalam menentukan jenis pondasi (Irwansyah & Hendri, 2021).

Dalam penelitian ini dibuat dua model struktur yaitu model struktur 1 dan model struktur 2, hal yang membedakan dalam kedua model struktur ini adalah perletakan dari masing-masing struktur, dimana untuk model struktur 1 menggunakan perletakan jepit dan model struktur 2 menggunakan perletakan *Spring*. Model struktur 2 dengan perletakan *Spring* memerlukan perhitungan untuk mencari nilai K (modulus *subgrade* tanah). Dari kedua model struktur tersebut kemudian dibandingkan berapa deformasi, Perioda struktur natural, Reaksi Perletakan sesuai dengan tujuan penelitian ini. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi panduan bagi para praktisi dan akademisi untuk mengetahui apa dampak yang terjadi pada struktur bila perletakan jepit dan perletakan *spring* dibuat.



Gambar 1. 1 Ilustrasi Skema Analisis Langsung Interaksi Tanah-Struktur  
(Sumber : NIST GCR 12-917-21, 2012)

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan perioda natural struktur dari kedua model yang di buat.
2. Bagaimana perbandingan deformasi struktur dari kedua model yang di buat.
3. Bagaimana perbandingan *base shear* yang terjadi dari kedua model struktur.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam analisa ini, Penulis membatasi permasalahan untuk penyederhanaan sehingga penulisan tugas akhir ini dapat di capai, adapun pembatasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Analisa hanya di lakukan untuk beberapa perilaku struktur sesuai dengan tujuan.
2. Analisis dilakukan dengan bantuan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method*.
3. Tugas ahir ini merencanakan kebutuhan pondasi tiang yang di butuhkan dalam memikul struktur.

## 1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

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

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang di harapkan dalam penelitian ini adalah

1. Semakin menambah wawasan tentang perbandingan perioda natural struktur, deformasi dan *base shear* yang terjadi antara perletakan jepit dan perletakan *spring*.
2. Memperkenalkan perletakan *Spring* sebagai salah satu jenis perletakan dalam merencanakan sebuah struktur.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Struktur bangunan gedung terdiri dari struktur atas dan bawah. Struktur atas adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang berada di atas muka tanah. Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur *basemen*, dan/atau struktur Pondasinya (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Struktur bawah bangunan terdiri dari pondasi dan tanah pendukung pondasi. Pondasi berfungsi mendukung seluruh beban bangunan dan meneruskan beban tersebut ke tanah di bawahnya. Suatu sistem pondasi harus dapat menjamin, harus dapat mendukung beban bangunan di atasnya, termasuk gaya gaya luar seperti gaya angin, gempa dll. Untuk itu pondasi harus lah kuat, stabil aman, agar tidak mengalami penurunan, tidak mengalami patah, karena akan sulit untuk memperbaiki suatu sistim pondasi (Solikhati, 2011).

#### **2.2 Konsep Pembebanan**

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987) dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Hal yang penting adalah pemisahan antara beban dinamis dan beban statis.

##### **1. Beban Statis**

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987) beban statis adalah beban yang bersifat tetap selama struktur masih ada dan bekerja secara terus menerus pada struktur tersebut, Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1987 adalah berikut:

##### **a. Beban Mati**

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987) beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari gedung itu. Berat sendiri struktur terdapat pada Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2 . 1 Berat Sendiri Struktur (DL)

No	Nama	Berat
1	Berat sendiri beton bertulang	2400 kg/m <sup>3</sup>
2	Adukan finishing lantai per 1 cm	21 kg/m <sup>2</sup>
3	Tegel	24 kg/m <sup>2</sup>
4	Dinding setengah bata	250 kg/m <sup>2</sup>
5	Dinding bata ringan	100 kg/m <sup>2</sup>
6	Plafond	11 kg/m <sup>2</sup>
7	Penggantung Plafond	7 kg/m <sup>2</sup>
8	Sanitasi	20 kg/m <sup>2</sup>
9	Plumping	20 kg/m <sup>2</sup>
10	Instalasi mekanikal elektrik	25 kg/m <sup>2</sup>

Sumber : (SNI-1727, 2013)

Beban mati tambahan (*Superimposed dead load/SDL*) adalah berat komponen non-struktural yang melekat pada struktur setelah struktur tersebut selesai di bangun. Beban mati tambahan akan di jabarkan pada Tabel 2.2:

Tabel 2 . 2 Beban Mati Tambahan (SDL)

No	Nama	Berat
1	Berat adukan finishing lantai 2 cm	42 kg/m <sup>2</sup>
2	Berat tegel/keramik	24 kg/m <sup>2</sup>
3	Plafond	11 kg/m <sup>2</sup>
4	Penggantung Plafond	7 kg/m <sup>2</sup>
5	Sanitasi	20 kg/m <sup>2</sup>
6	Plumping	20 kg/m <sup>2</sup>
7	Instalasi mekanikal elektrik	25 kg/m <sup>2</sup>

Sumber : (SNI-1727, 2013)

#### b. Beban Hidup

Beban hidup ialah 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 tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti

selama masa hidup gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dan pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap kedalaman beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air (Dinas Pekerjaan Umum, 1987).

Berdasarkan (SNI-1727, 2013) Beban hidup untuk bangunan gedung dapat di lihat pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2 . 3 Beban Hidup

No	Nama	Berat
1	Ruang Kelas	1,92 kN/m <sup>2</sup>
2	Koridor diatas lantai pertama	3,83 kN/m <sup>2</sup>
3	Koridor lantai pertama	4,79 kN/m <sup>2</sup>

c. Beban Angin

Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang di sebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (Dinas Pekerjaan Umum, 1987). Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang yang di tinjau.

2. Beban Dinamis

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987) beban dinamis adalah beban yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umum nya beban dinamis bersifat tidak tetap serta mempunyai karakteristik berubah secara cepat. Beban dinamis mengakibatkan Deformasi pada struktur akan berubah secara cepat.

a) Beban Gempa

Menurut (Dinas Pekerjaan Umum, 1987) beban gempa adalah semua beban static ekwivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung di tentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, Maka yang di artikan beban gempa disini adalah gaya gaya yang terjadi dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

### 2.3 *Time History*

Analisis beban seismik ini dimulai dari perambatan percepatan beban seismik riwayat waktu dari batuan dasar ke permukaan tanah. Dalam perencanaan beban seismik terdapat 2 beban seismik riwayat waktu yang di digunakan yaitu berasal dari data gempa riwayat waktu percepatan *El Centro* dan dari data gempa riwayat waktu percepatan *Bak Up (Landers)* yang memiliki nilai *PGA (Peak Ground Acceleration)* sebesar 0,319 g. Durasi gempa *El Centro* sebesar 25 detik dengan  $\Delta t$  sebesar 0,02 detik.

Analisis riwayat respons harus dilakukan untuk satu set dari pasangan-pasangan gerak tanah yang dipilih dan di skala sesuai 0. Setiap pasang komponen gerak tanah harus diterapkan secara bersamaan (simultan) pada model dengan mempertimbangkan lokasi massa yang dengan eksentrisitas yang paling tidak menguntungkan. Perpindahan maksimum sistem isolasi harus dihitung dari penjumlahan vektor perpindahan-perpindahan ortogonal dari dua arah pada setiap tahapan waktu (SNI-1726, 2019).

Analisis respons riwayat waktu nonlinier harus menggunakan model matematis dari sistem pemikul beban seismik dan sistem peredam sebagaimana ditentukan pada pasal ini. Model ini harus secara langsung memperhitungkan perilaku histeretik nonlinier dari semua elemen dan sambungan yang berperilaku inelastik, dengan cara yang konsisten sesuai dengan data uji laboratorium yang berlaku. Data pengujian tidak boleh diekstrapolasi melebihi deformasi maksimum pada saat pengujian. Jika hasil analisis mengindikasikan kemungkinan adanya penurunan kekuatan elemen, model histeretik harus memperhitungkan efek ini (SNI-1726, 2019).

Untuk merambatkan percepatan beban seismik dari batuan dasar ke permukaan, akan di gunakan program *NERA (Nonlinier Earthquake site Respons Analyses)*. Analisis beban seismik ini juga ditujukan untuk memastikan dan memeriksa besarnya *base shear* struktur akibat beban statik seismik harus lebih kecil atau sama dengan *base shear* struktur akibat beban dinamis seismik.

## 2.4 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Tingkat keutamaan struktur berbeda antara bangunan satu dengan yang lainnya, ini dikarenakan tergantung pada kategori resiko atau kerugian jiwa jika terjadi kegagalan struktur akibat beban gempa yang terjadi. Menurut SNI 1726 - 2019 kategori resiko beban gempa untuk bangunan gedung dan non gedung pada Tabel 2.4 di halaman berikut:

Tabel 2 . 4 Kategori resiko bangunan gedung dan nongedung

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<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, perternakan, 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,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 perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</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>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</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 menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul>	
<p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar 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 kebocoran.</p>	

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber: SNI-1726, 2019)

Berdasarkan SNI 1726-2019 faktor keutamaan (I) digunakan untuk memperbesar beban gempa rencana agar struktur dapat memikul menahan beban gempa dengan periode ulang yang lebih panjang atau lama sehingga kegagalan struktur yang akan terjadi pada struktur bangunan dapat diminimalisir atau lebih kecil terjadi. Faktor Keutamaan gempa dapat dilihat di SNI 1726 - 2019 pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2 . 5 Faktor Keutamaan Gempa, Ie

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, Ie
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : (SNI-1726, 2019)

## 2.5 Kombinasi Pembebanan

Menurut SNI 2847 (2019) kombinasi pembebanan ini disebabkan oleh bekerjanya beban mati, beban hidup dan beban gempa. Nilai-nilai tersebut dikalikan dengan suatu faktor beban, tujuannya agar struktur dan komponennya memenuhi syarat dan layak di pakai terhadap berbagai kombinasi pembebanan.

Dari uraian diatas dan uraian berikutnya tentang beban gempa, faktor redundansi  $\rho$  bisa diambil = 1.0.

$$1,4D$$

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

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

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

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

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

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

## 2.6 Kombinasi Pembebanan dengan Pengaruh Beban Seismik

Menurut SNI 2726 : 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,  $E = f(E_v, E_h)$  (pada 0) dikombinasikan dengan pengaruh beban lainnya, maka kombinasi beban seismik yang harus digunakan adalah:

1.  $1,2 D + E_v + E_h + L$
2.  $0,9D - E_v + E_h$

## 2.7 Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik

Menurut SNI 2726 : 2019 jenis yang dapat dipilih sebagai penahan gaya seismic dapat dipilih dari tipe material dan kategori resiko yang diizinkan. Dimana pada tiap jenis penahan gaya mempunyai besaran faktor dan faktor pembesaran nilai defleksi yang berbeda-beda sistim struktur pemikul gaya seismic dapat di lihat pada Tabel 2.6 berikut:

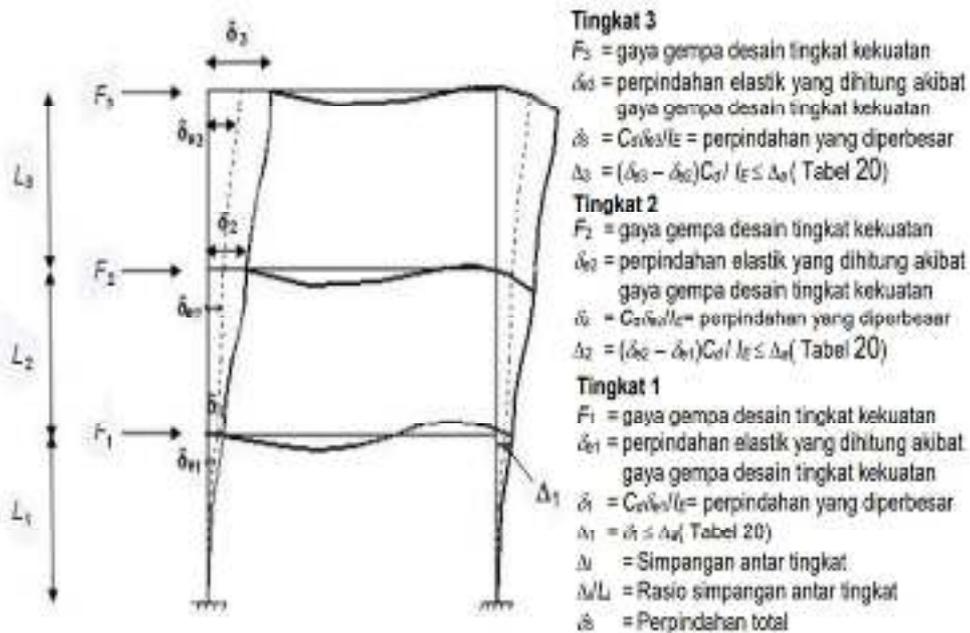
Tabel 2 . 6 Faktor R, Cd, dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $Cd^c$	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>f</sup>
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
1. Rangka baja pemikul momen khusus.	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang pemikul momen khusus.	7	3	5 ½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah.	4 ½	3	4	TB	TB	10 <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>	TI <sup>k</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa.	3 ½	3	3	TB	TB	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>	TI <sup>l</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah.	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa.	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus.	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah.	5	3	4 ½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen.	6	3	5 ½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa.	3	3	2 ½	TB	TI	TI	TI	TI
14. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan.	3 ½	3 <sup>o</sup>	3 ½	10	10	10	10	10

Sumber : (SNI-1726, 2019)

## 2.8 Penentuan Simpangan antar Lantai dan Batasan Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\square$ ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau (lihat Gambar 2.1). 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. 1 Penentuan simpangan antar lantai

(Sumber : SNI-1726, 2019)

## 2.9 Batasan Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat desain ( $\square$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\square_a$ ) 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 Tanah

Tanah, di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Hary Christady. 2011).

Istilah-istilah seperti kerikil, pasir, lanau dan lempung digunakan dalam teknik sipil untuk membedakan jenis-jenis tanah. Pada kondisi alam, tanah dapat terdiri dari dua atau lebih campuran jenis-jenis tanah dan kadang-kadang terdapat pula kandungan bahan organik. Material campurannya, kemudian dipakai sebagai nama tambahan di belakang material unsur utamanya. Sebagai contoh, pasir berlempung adalah pasir yang mengandung lempung, dengan material utama pasir; lempung berlanau adalah lempung yang mengandung lanau, dengan material utamanya adalah lempung dan seterusnya (Hary Christady. 2011).

### 2.10.1 Penyelidikan Tanah (Soil investigation)

Penyelidikan tanah merupakan fase awal dalam desain konstruksi sipil, seperti contohnya dalam perencanaan pondasi, pemadatan timbunan, bendungan maupun kestabilan lereng. Secara umum maksud dari pekerjaan penyelidikan tanah adalah untuk mendapatkan data teknis atau parameter tanah yang dapat mewakili kondisi tanah setempat untuk digunakan sebagai parameter desain (Hakim, 2021).

Penyelidikan tanah (*soil investigation*) adalah proses pengambilan contoh (*sample*) tanah yang bertujuan untuk menyelidiki karakteristik tanah tersebut. Dalam mendesain pondasi, penting bagi para *engineer* untuk mengetahui sifat setiap lapisan tanah (seperti berat isi tanah, daya dukung, ataupun daya rembes) dan juga ketinggian muka air tanah. Oleh sebab itu, *soil investigation* adalah pekerjaan awal yang harus dilakukan sebelum memutuskan akan menggunakan jenis pondasi dangkal atau pondasi dalam (Hakim, 2021).

Menurut (Hakim, 2021) Aspek - aspek yang ingin diketahui dan didapatkan dari penyelidikan tanah antara lain:

1. Jenis dan profil lapisan tanah atau batuan secara visual dan terperinci.
2. Kedalaman tanah keras (*hard/dense soil*) dan daya dukungnya.
3. Level muka air tanah (*ground water level*).
4. *Data Index Properties dan Engineering Properties*.
5. Analisa teknis yang menghasilkan rekomendasi desain untuk jenis pondasi yang akan digunakan, termasuk daya dukung pondasi dangkal, daya dukung pondasi dalam dan penurunan.
6. Menentukan besarnya tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah atau pangkal jembatan (*abutment*).
7. Analisis teknis yang menghasilkan rekomendasi desain pemadatan atau penimbunan.
8. Menyelidiki keamanan suatu struktur bila penyelidikan dilakukan pada bangunan yang telah ada sebelumnya.
9. Pada konstruksi jalan raya dan irigasi, penyelidikan tanah berguna untuk menentukan letak-letak saluran, gorong-gorong, penentuan lokasi dan macam bahan timbunan.

## **2.11 Struktur Bawah (Pondasi)**

Berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2019), Struktur bawah adalah bagian dari struktur bangunan gedung yang terletak di bawah muka tanah, yang dapat terdiri dari struktur *basemen*, dan/atau struktur fondasinya. Struktur bawah dari suatu bangunan terdiri atas *pile cap* dan pondasi namun komponen yang lebih dikenal adalah pondasi karena tugasnya lebih berat yaitu memikul beban bangunan di atasnya. Seluruh muatan (beban) dari bangunan, termasuk beban-beban yang bekerja pada bangunan dan berat pondasi sendiri, harus dipindahkan atau diteruskan oleh pondasi ke tanah dasar dengan sebaik-baiknya.

### **2.11.1 Pemilihan Jenis Struktur Bawah**

Pemilihan jenis struktur bawah (*sub-structure*) gedung harus mempertimbangkan 4 (empat) faktor berikut:

1. Keadaan tanah fondasi yang didasarkan pada hasil penyelidikan tanah untuk menentukan jenis tanah, letak tanah keras, muka air tanah dan parameter kekuatan serta penurunan tanah.

2. Transfer beban dari struktur atas baik beban statik maupun beban gempa. Beban aksial dan horizontal yang besar memerlukan daya dukung tanah yang besar pula.
3. Ketergangguan kondisi lingkungan sekitar saat pembangunan.
4. Biaya pembangunan dan waktu pelaksanaan pekerjaan fondasi.

### **2.11.2 Desain Pondasi**

Semua konstruksi yang di rekayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu pondasi. Pondasi adalah bagian dari sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Tegangan tegangan yang di hasilkan kecuali pada permukaan tanah merupakan tambahan kepada beban beban yang sudah ada dalam massa tanah dari bobot sendiri bahan dan sejarah geologisnya (Joseph E Bowles Jilid 1, 2005).

### **2.12 Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*)**

Menurut (Hary Cristady Hardiyatmo, 2008) tiang bor dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Tiang ini, biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang (Gambar 2.2).

Menurut (Hary Cristady Hardiyatmo, 2008) Keuntungan penggunaan tiang bor, antara lain :

1. Tidak ada resiko kenaikan muka tanah.
2. Kedalaman tiang dapat di variasikan.
3. Tanah dapat di periksa dan di cocok kan dengan data laboratorium.
4. Tiang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam, dengan diameter besar, dan dapat dilakukan pembesaran ujung bawahnya jika tanah dasar berupa lempung atau batu lunak.

5. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.

Menurut (Hary Cristady Hardiyatmo, 2008) Kerugian penggunaan tiang bor, antara lain :

1. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
2. Pengecoran beton sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tanah terhadap tiang.
4. Pembesaran ujung bawah tiang tidak dapat dilakukan bila tanah berupa pasir.

### **2.13 Program Analisis Dengan *Finite Element Method***

Menurut Szilard (1974), Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analisis 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.

### **2.14 Perencanaan dan Perhitungan Pondasi Tiang**

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. maka pondasi sangat perlu diperhitungkan dengan baik (SNI 2847, 2019).

#### **2.14.1 Kapasitas Daya Dukung Tiang Bor Dari Hasil *Sondering Test***

Untuk menghitung kuat daya dukung tiang bor berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan Metode *Mayerhof*. Kuat daya dukung ultimit pondasi tiang bor dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_u = Q_p \cdot Q_f \tag{2.1}$$

Dimana:

$Q_u$  = Kapasitas daya dukung aksial ultimate tiang bored.

$Q_b$  = Kapasitas daya dukung di ujung tiang persatuan luas.

$Q_f$  = Tahanan gesek sisi konus.

Kapasitas Dukung Ujung (*End Bearing Capacity*)

$$Q_b = q_b \cdot A_b \quad 2.2$$

di mana:

$q_b$  = Tekanan dukung di ujung pile.

$A_b$  = Luas penampang ujung pile.

$$Q_f = A_s \cdot f_s \quad 2.3$$

$A_s$  = Luas permukaan pile yang berinteraksi dengan tanah

$f_s$  = Gesekan tanah sepanjang pile

#### 2.14.2 Perhitungan Faktor Keamanan

Untuk memastikan keamanan, kapasitas dukung ultimit dikalikan dengan faktor keamanan untuk mendapatkan kapasitas dukung izin (*allowable bearing capacity*)

Aoki dan Alencar untuk memperkirakan kapasitas dukung ultimit dari data sondir. Kapasitas dukung ujung persatuan luas ( $q_b$ ) diperoleh sebagai berikut:

$$Q_{allowable} = \frac{Q_u}{3} \quad 2.4$$

Dimana :

$FS$  = Faktor keamanan (biasanya antara 2.5 sampai 3.0 tergantung pada kondisi tanah dan struktur)

#### 2.14.3 Jumlah Tiang yang Diperlukan

Jumlah tiang ( $n_p$ ) dapat di tentukan berdasarkan total beban yang harus di dukung dan kapasitas daya dukung per tiang, Jumlah tiang yang di perlukan dihitung dengan membagi gaya aksial yang terjadi dengan daya dukung tiang.

$$n_p = \frac{P}{Q_{all}} \quad 2.5$$

dimana:

$n_p$  = Jumlah tiang

$P$  = Gaya aksial yang terjadi

$Q_{all}$  = Daya dukung ijin tiang

#### 2.14.4 Daya Dukung Kelompok Tiang

Pada dasarnya bangunan sangat jarang menggunakan pondasi tiang tunggal, maka dari itu untuk menyanggah suatu tiang bangunan maka tiang di pasang dalam kelompok. Dengan dipasang tiang kelompok tersebut, Kelompok tiang dapat memikul beban yang di atasnya dengan menyebarkan beban ke masing-masing tiang.

$$Q_{pg} = E_g \cdot n \cdot Q_u \quad 2.6$$

Dimana:

$Q_{pg}$  = Daya dukung yang diijinkan kelompok tiang

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$n$  = Jumlah tiang

$Q_u$  = Daya dukung ultimit tiang tunggal

Menghitung efisiensi kelompok tiang ( $E_g$ ), untuk susunan tiang simetris menggunakan metode *Converse – Labbare* dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n^F - 1)m + (m - 1)n'}{90 \cdot m \cdot n'} \quad 2.7$$

Dimana:

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$m$  = Jumlah baris tiang

$n'$  = Jumlah tiang dalam satu baris

$\theta$  =  $\text{Arc tan } d/s$ , dalam derajat

#### 2.15 Perencanaan tebal *Pile Cap*

Dalam merencanakan tebal *pilecap*, maka *pile cap* harus di tinjau kuat gesernya terhadap 2 kondisi, yaitu geser 1 arah dan geser 2 arah. Kontrol geser 1 arah dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\phi V_n = 0,75 \times 0,17 \times \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d \quad 2.8$$

$$V_{U1} = P_u \times \text{Area efektif} \quad 2.9$$

Dimana :

- $V_U$  = Kuat geser terfaktor  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton  
 $b$  = Lebar sisi terpendek pondasi telapak  
 $d$  = Tebal pile cap  
 $\lambda$  = Faktor jenis beton  
 $\phi$  = Faktor reduksi kuat geser senilai 0,75  
 $V_n$  = Kuat geser nominal  
 $P_u$  = Gaya aksial kolom rencana

Kontrol geser dua arah dilakukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o \cdot d \quad 2.10$$

$$V_c = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \lambda \sqrt{f'_c} b_o \cdot d \quad 2.11$$

$$V_c = 0,33 \lambda \sqrt{f'_c} b_o \cdot d \quad 2.12$$

Dimana :

- $\beta$  = Rasio dari bentang panjang terhadap bentang pendek dari kolom  
 $\alpha_s$  = 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut  
 $\lambda$  = Faktor jenis beton  
 $f'_c$  = Kuat tekan beton  
 $U$  = Keliling zona kritis  
 $b_o$  = Panjang area geser pons  
 $V_c$  = Kuat geser nominal yang di sumbangkan beton

### 2.16 Perencanaan Penulangan *Pile Cap*

Perencanaan tulangan lentur *pile cap* direncanakan untuk dua arah. Maka perencanaan kebutuhan tulangan lentur harus di hitung terhadap masing-masing arah. Tetapi dalam kondisi *pile cap* simetris maka untuk perhitungan tulangan cukup hanya di hitung untuk satu arah saja.

$$M_u = \frac{1}{2} \times P_{ult} \times b \times (\text{Area momen lentur})^2 \quad 2.13$$

$$Rn = \frac{Mu}{0,9 \times b \times d^2} \quad 2.14$$

$$m = \frac{fy}{0,8 \times fc} \quad 2.15$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad 2.16$$

$$\rho = \frac{1}{m} - (1 - \sqrt{1 - \frac{2mRn}{fy}}) \quad 2.17$$

Dimana :

$Mu$  = Momen terfaktor

$Pult$  = Beban terfaktor

$b$  = lebar pile cap

$Rn$  = Rasio nominal tahanan

$d$  = Tinggi efektif

$m$  = Rasio tulangan

$fy$  = Kuat tarik baja

$fc$  = Kuat tekan beton

$\rho_{min}$  = Rasio penulangan minimum

$\rho$  = Rasio penulangan

### 2.16.1 Metode Pelaksanaan Pondasi *Bor pile*

Menurut (Rahman et al., 2021) Penggunaan teknologi sangat berperan pada suatu proyek konstruksi. Biasanya, aplikasi teknologi ini banyak diterapkan dalam berbagai macam metode pelaksanaan pekerjaan konstruksi teknologi yang tepat sangat berguna dalam bidang pengerjaan konstruksi manapun. Penggunaan metode yang tepat, praktis, cepat dan aman sangat membantu penyelesaian pekerjaan suatu proyek konstruksi. Sehingga target waktu, biaya dan mutu yang ditetapkan dapat tercapai.

### 2.17 Reaksi tanah terhadap beban aksial

Pondasi tiang bor harus dirancang untuk menahan beban statis dan beban aksial siklik. Tahanan aksial tanah dihasilkan oleh kombinasi adhesi atau beban aksial pada tiang bor transfer sepanjang sisi tiang dan tahanan bantalan ujung di

ujung tumpukan. Hubungan yang diplot antara di mobilisasi perpindahan geser tanah-tiang dan defleksi tiang lokal pada kedalaman berapa pun dijelaskan

menggunakan kurva  $t-z$ . Demikian pula hubungannya antara resistensi bantalan ujung yang dimobilisasi dan ujung aksial defleksi dijelaskan menggunakan kurva  $Q-z$  (API, 2007).

### 2.17.1 Kurva Transfer Beban Aksial ( $t-z$ )

Dengan tidak adanya kriteria yang lebih pasti, berikut  $t-z$  kurva direkomendasikan untuk tanah non-karbonat. Kurva yang direkomendasikan ditunjukkan pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2 . 8 Kurva  $t-z$

Clays	$z/D$	$t/t_{max}$
	0.0016	0.30
	0.0031	0.50
	0.0057	0.75
	0.0080	0.90
	0.0100	1.00
	0.0200	0.70 to 0.90
	$\infty$	0.70 to 0.90
Sands	$z$ (in.)	$t/t_{max}$
	0.000	0.00
	0.100	1.00
	$\infty$	1.00

(Sumber:API, 2007)

Dimana,

$z$  = defleksi tiang lokal, in. (mm),

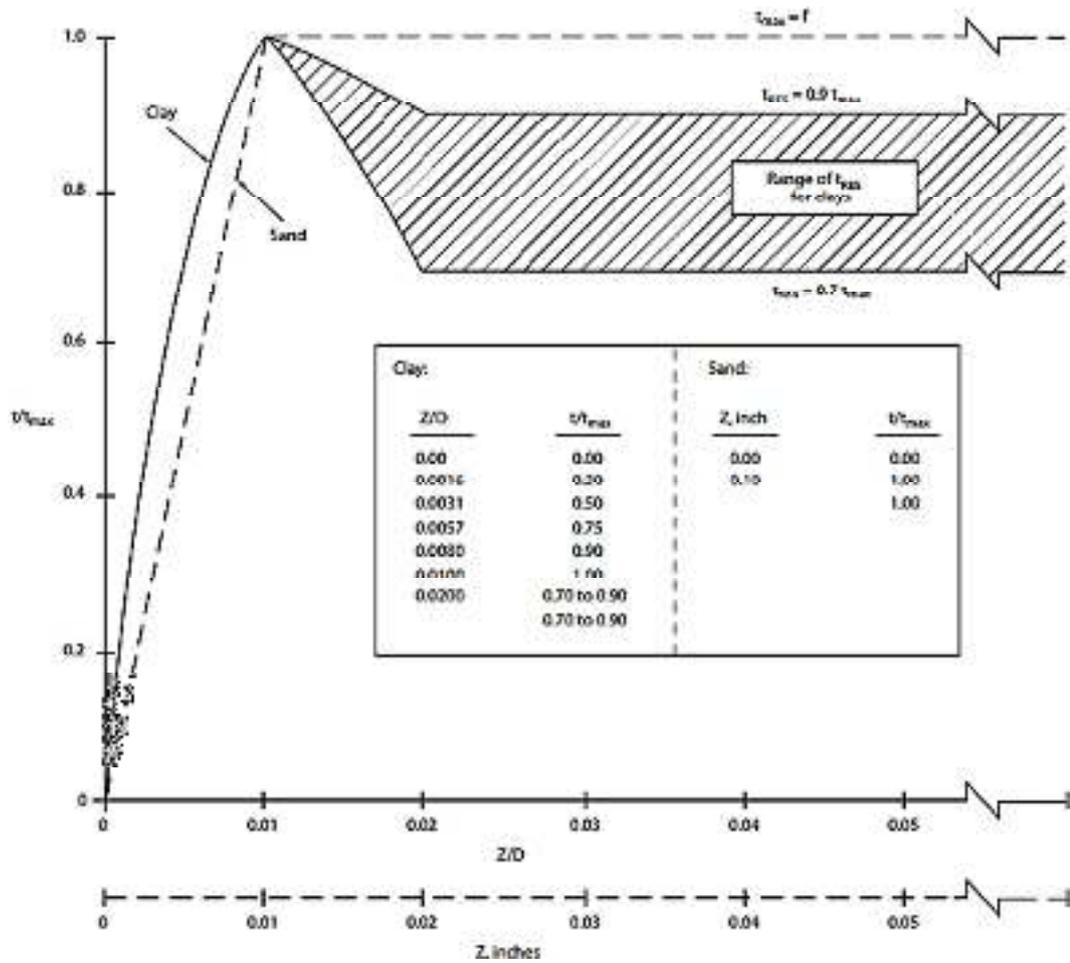
$D$  = diameter tumpukan, in. (mm),

$t$  = adhesi tumpukan tanah yang dimobilisasi, lb/ft<sup>2</sup> (kPa),

$t_{max}$  = adhesi tumpukan tanah maksimum atau gesekan kulit satuan

Bentuk kurva  $t-z$  pada perpindahan lebih besar dari  $z_{max}$  seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.8 harus dipertimbangkan dengan cermat. Nilai rasio adhesi sisa  $t_{res}/t_{max}$  pada aksial perpindahan tiang pada saat terjadinya ( $z_{res}$ ) adalah fungsi dari perilaku tegangan-regangan tanah, riwayat tegangan, pemasangan pipa metode, urutan beban tiang dan faktor lainnya (API, 2007).

Nilai  $t_{res}/t_{max}$  dapat berkisar antara 0,70 hingga 0,90. Uji laboratorium, uji lapangan atau uji model tiang bor dapat memberikan informasi berharga untuk menentukan nilai  $t_{res}/t_{max}$  dan  $z_{res}$  untuk berbagai jenis tiang bor (API, 2007).



Gambar 2. 2 Typical Axial Pile Load Transfer—Displacement ( $t$ - $z$ ) Curves

(Sumber:API, 2007)

### 2.17.2 Tip-load—Displacement Curve

Dengan tidak adanya kriteria yang lebih pasti kurva berikut direkomendasikan untuk pasir dan tanah liat.

Tabel 2 . 9 Kurva Qz

$z/D$	$Q/Q_p$
0.002	0.25
0.013	0.50
0.042	0.75
0.073	0.90
0.100	1.00

(Sumber:API, 2007)

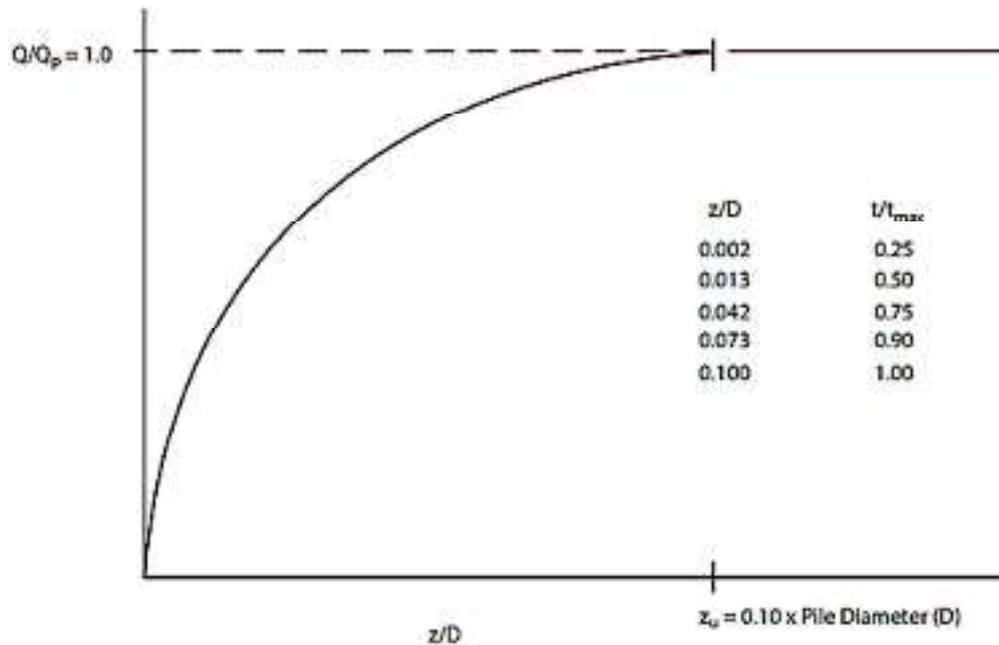
Dimana,

$z$  = defleksi ujung aksial

$D$  = diameter tiang, in, (mm)

$Q$  = daya dukung ujung yang dimobilisasi, lb (KN)

$Q_p$  = total bantalan ujung, lb (KN)



Gambar 2. 3 Beban Tip Tiang—Kurva Perpindahan ( $Qz$ ).

(Sumber:API, 2007)

## 2.18 Soil Reaction For Laterally Loaded Piles

Umumnya, di bawah pembebanan lateral, tanah liat berperilaku seperti bahan plastik yang membuatnya perlu menghubungkan deformasi tanah tiang dengan ketahanan tanah. Untuk memfasilitasi hal ini prosedur, kurva defleksi tahanan tanah lateral ( $p-y$ ). harus dibangun menggunakan data tegangan-regangan dari laboratorium sampel tanah. Ordinat kurva ini adalah ketahanan tanah,  $p$ , dan absisnya adalah defleksi tanah,  $y$ . Melalui prosedur yang berulang-ulang, seperangkat nilai-nilai beban-lendutan yang sesuai untuk sistem tanah tiang pancang dapat dikembangkan (API, 2007).

### 2.18.1 Daya Dukung Lateral untuk Tanah Lempung Lunak

Berdasarkan (API, 2007) untuk beban lateral statis, bantalan lateral unit pamungkas kapasitas  $p_u$  tanah liat lunak ditemukan bervariasi antara  $8c$  dan  $12c$  kecuali pada kedalaman dangkal dimana keruntuhan terjadi pada mode yang berbeda karena tekanan lapisan penutup minimum. Berhubung dengan putaran

beban menyebabkan penurunan daya dukung lateral dibawahnya itu untuk beban statis. Dengan tidak adanya kriteria yang lebih pasti,berikut ini direkomendasikan:

$p_u$  meningkat dari  $3c$  ke  $9c$  ketika  $X$  meningkat dari  $0$  ke  $X_R$  berdasarkan:

$$p_u = 3c + \gamma X + J \frac{cK}{D} \quad 2.18$$

dan

$$p_u = 9c \text{ for } X \geq X_R \quad 2.19$$

Dimana,

$P_u$  = beban ultimit, psi (kPa),

$c$  = kuat geser tak terdrainase untuk lempung tak terganggu sampel tanah, psi (kPa),

$D$  = diameter pile, in. (mm),

$\gamma$  = berat efektif dari tanah, lb/in<sup>2</sup> (MN/m<sup>3</sup>),

$J$  = konstanta empiris tak berdimensi dengan nilai berkisar antara 0,25 hingga 0,5 yang telah ditentukan melalui pengujian lapangan. Nilai 0,5 sesuai untuk tanah liat Teluk Meksiko,

$X$  = kedalaman di bawah permukaan tanah, in. (mm),

$X_R$  = kedalaman di bawah permukaan tanah ke dasar berkurang zona resistensi dalam inci (mm). Untuk kondisi kekuatan konstan dengan kedalaman, Persamaan 2.18 dan 2.19 diselesaikan secara bersamaan untuk menghasilkan:

$$X_R = \frac{6D}{\frac{\gamma D}{c} + J} \quad 2.20$$

Dimana kekuatannya bervariasi menurut kedalaman, Persamaan 2.18 dan 2.19 dapat diselesaikan dengan memplot dua persamaan, yaitu  $p_u$  vs kedalaman. Intinya pertama perpotongan kedua persamaan dianggap  $X_R$ . Hubungan empiris ini mungkin tidak berlaku di mana pun variasi kekuatan tidak menentu. Secara umum, minimal nilai  $X_R$  harus sekitar 2,5 diameter tiang.

### 2.18.2 Kurva Lendutan Beban ( $p$ - $y$ ) untuk Tanah Lempung Lunak

Hubungan tahanan-defleksi tanah lateral untuk tiang bor lempung lunak umumnya tidak linier. Kurva  $p$ - $y$  untuk Kasus beban statis jangka pendek dapat dihasilkan dari tabel 2.10 berikut:

Tabel 2 . 10 Kurva p-y untuk kasus beban statis

$p/p_u$	$y/y_c$
0.00	0.0
0.23	0.1
0.33	0.3
0.50	1.0
0.72	3.0
1.00	8.0
1.00	$\infty$

(Sumber:API, 2007)

Dimana,

$P$  = resistensi lateral yang sebenarnya, psi (kPa),

$y$  = defleksi lateral sebenarnya, in. (m),

$y_c = 2,5 \varepsilon_c D$ , in. (m),

2.21

$\varepsilon_c$  = regangan yang terjadi pada setengah maksimum tekanan pada laboratorium tidak terkonsolidasi, tidak terdrainase uji kompresi sampel tanah tidak terganggu.

Untuk kasus di mana keseimbangan telah tercapai pembebanan siklik, kurva  $p$ - $y$  dapat dihasilkan dari tabel 2.11 berikut:

Tabel 2 . 11 Kurva p-y untuk kasus beban siklik

$X > X_R$		$X < X_R$	
$P/p_u$	$y/y_c$	$p/p_u$	$y/y_c$
0.00	0.0	0.00	0.0
0.23	0.1	0.23	0.1
0.33	0.3	0.33	0.3
0.50	1.0	0.50	1.0
0.72	3.0	0.72	3.0
0.72	$\infty$	$0.72 X/X_R$	15.0
		$0.72 X/X_R$	$\infty$

(Sumber:API, 2007)

## 2.19 Penelitian Terdahulu

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

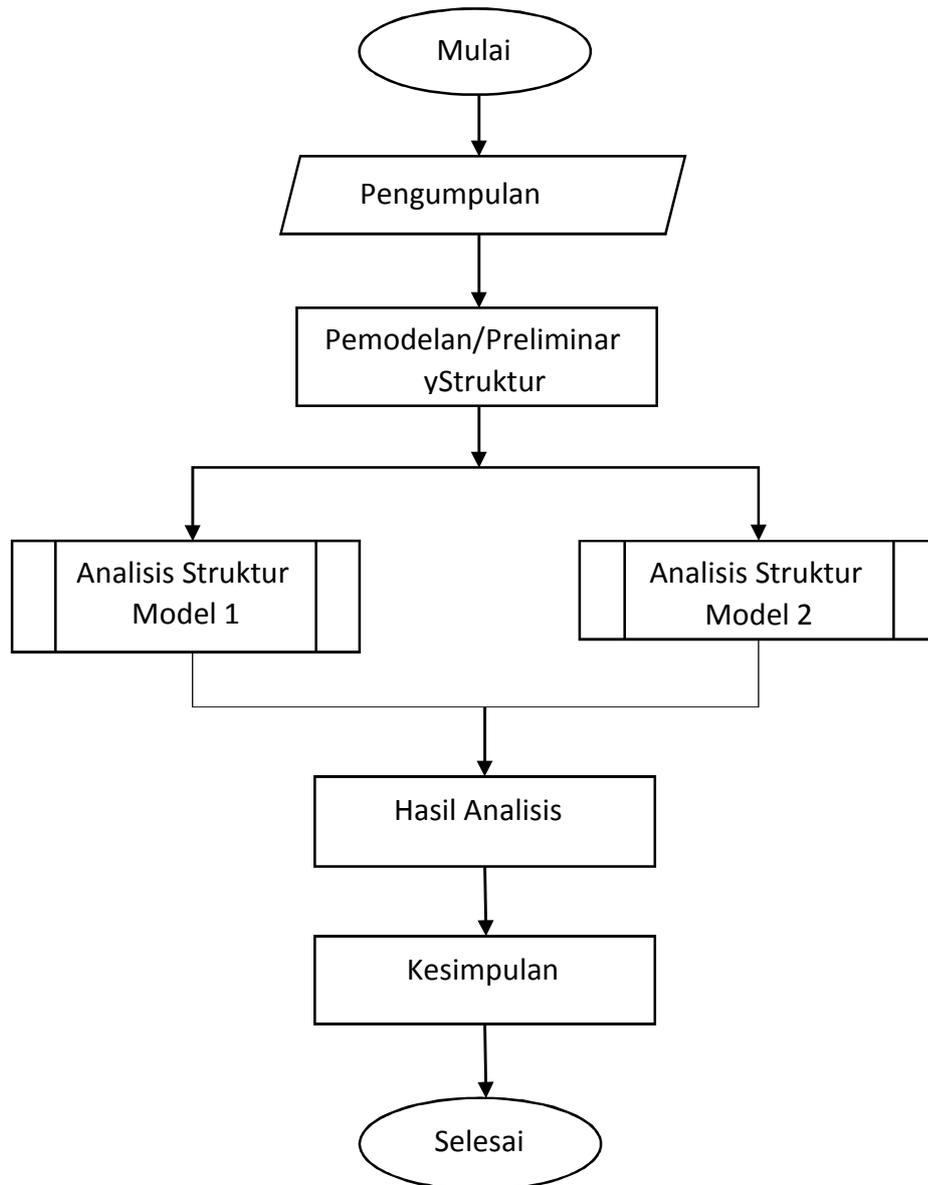
Simatupang, Minson.,dkk (2019) "*Perilaku Pondasi Tiang Pancang Dengan Mempertimbangkan Interaksi Tanah – Tiang – Struktur Pada Gedung Bertingkat Menggunakan Sap 2000*". Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (FEM), Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perilaku tiang pancang dengan mempertimbangkan interaksi tanah – tiang – struktur. Disimpulkan bahwa besarnya pergerakan tanah akibat spectrum respon situs SD maupun akibat pergerakanempa yang di modelkan ke dalam analisa time history menyebabkan terjadinya lateral displacement dan bending momen pada tiang pancang.

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.

Anisa (2023), "*Studi Perencanaan Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Pada Gedung Unimuda Hospital Sorong*" Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah bor pile, Diameter bor pile serta daya dukung tiang tunggal dan daya dukung kelompok tiang. Metode yang yang digunakan dalam menghitung daya dukung tiang adalah metode Mayerhoff. Penelitian ini menyimpulkan bahwa Jumlah bored pile yang dibutuhkan dalam 1 pile cap pada bore hole-1 adalah 3 buah tiang dan pada bore hole-2 dibutuhkan 4 buah tiang dan berdasarkan hasil perhitungan pada excel maka diameter rencana bored pile tiap lubang yang aman untuk gedung UNIMUDA Hospital Sorong adalah 80 cm dengan kedalaman 5,1 meter.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan adalah studi kasus. Dalam proses pembuatan laporan Tugas Akhir ini, membutuhkan tahapan pengerjaan yang teratur dan sistematis agar dapat sesuai dengan laporan yang di harapkan. Berikut Gambar 3.1 menyajikan diagram alir penelitian.



Gambar 3. 1 Gambar Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Pengumpulan Data

Dalam penyelesaian penelitian ini terlebih dahulu di lakukan pengumpulan data-data pendukung di mana terdapat 3 jenis data yang di kumpulkan yaitu :

1. Data Tanah berupa sondir.

Data Terlampir

2. Jenis dan mutu material struktur.

Material beton = 25 Mpa

Material Baja = 400 Mpa

3. Gambar rencana struktur bangunan yang meliputi denah, potongan, tampak bangunan, dimensi struktur, serta detail 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

Diameter tiang bor = 300 mm

Panjang tiang = 10 m

#### 3.1.1 Data Pembebanan

Struktur bangunan yang di pakai adalah struktur portal 4 lantai. Pembebanan yang di gunakan pada proses penelitian ini meliputi beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban gempa (*earthquake*).

1. Beban Mati

Untuk perencanaan beban mati pada penelitian ini berdasarkan pada Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987.

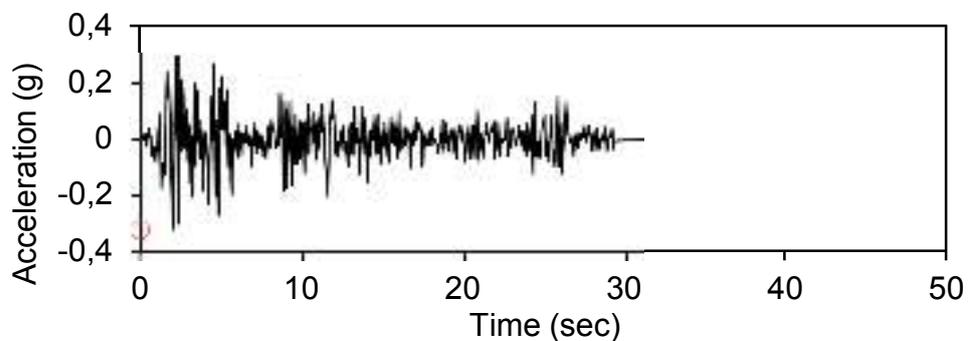
## 2. Beban Hidup

Untuk perencanaan beban hidup khususnya pada penelitian ini berdasarkan pada SNI-1727,2013.

## 3. Beban Gempa

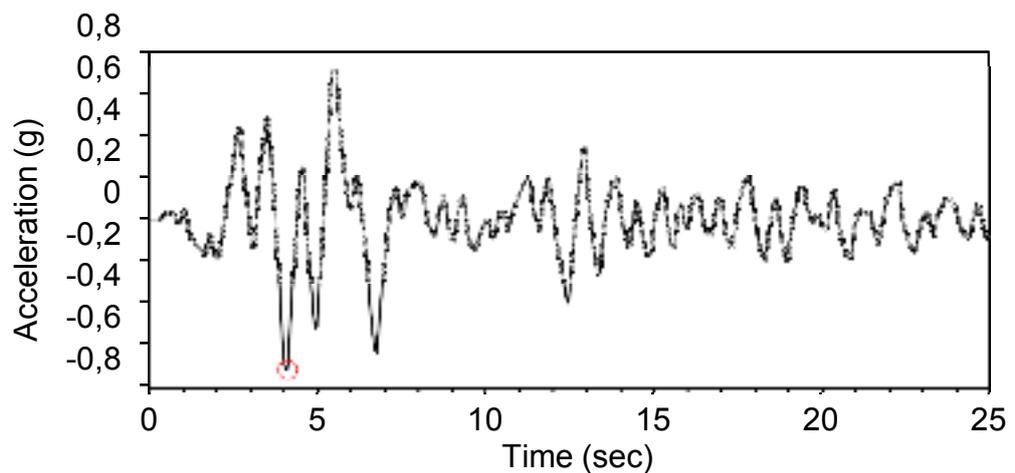
Dalam analisa gempa pada penelitian ini adalah menggunakan analisis *time history*. Perambatan percepatan beban seismik riwayat waktu dimulai dari batuan dasar ke permukaan menggunakan program *NERA* dimana terdapat 2 data gempa yang di pakai yaitu:

### 1. *EL Centro*



Gambar 3. 2 Data *Acceleration* Riwayat Waktu *El Centro* di Batuan Dasar

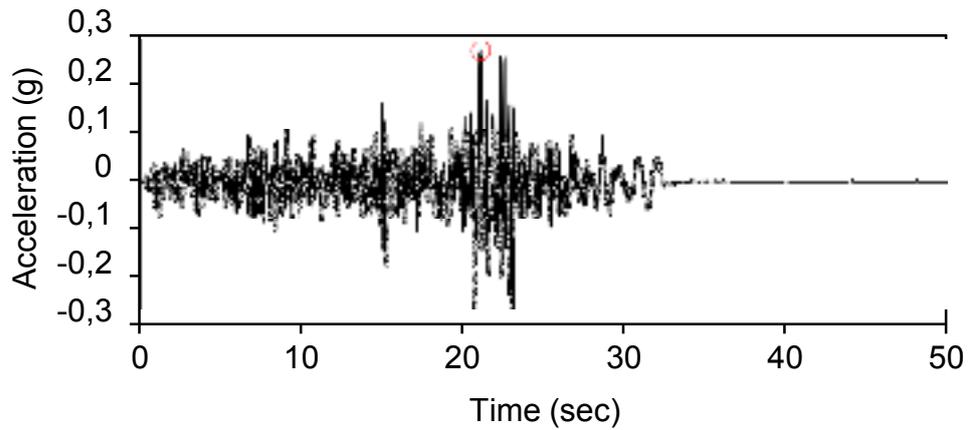
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)



Gambar 3. 3 Data *Acceleration* Riwayat Waktu *El Centro* di permukaan

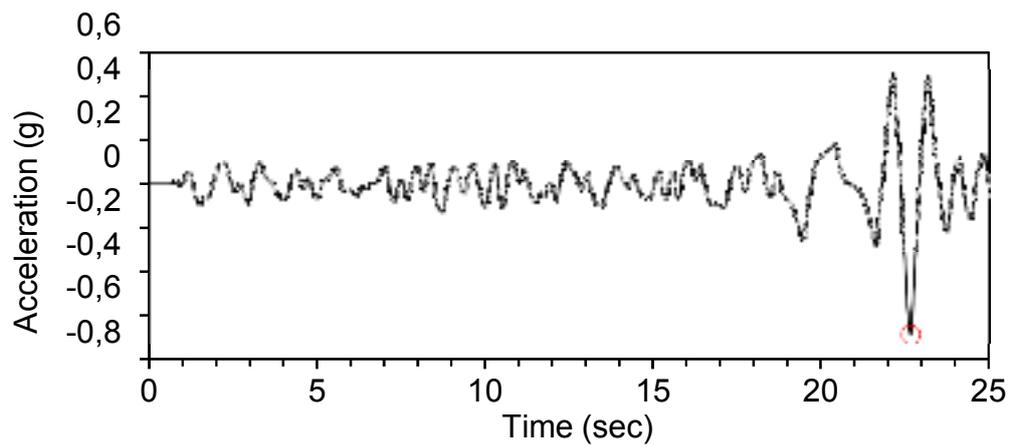
(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

## 2. Landers



Gambar 3. 4 Data *Acceleration* Riwayat Waktu *Landers* di batuan dasar

(Sumber : Hasil Analisis, 2024)



Gambar 3. 5 Data *Acceleration* Riwayat Waktu *Landers* di permukaan

(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

*Fundamental period (s) = 0,87*

*Average shear wave velocity (m/sec) = 210,67*

*Total number of sublayers = 10*

Tabel 3. 1 Data tanah untuk *Time History*

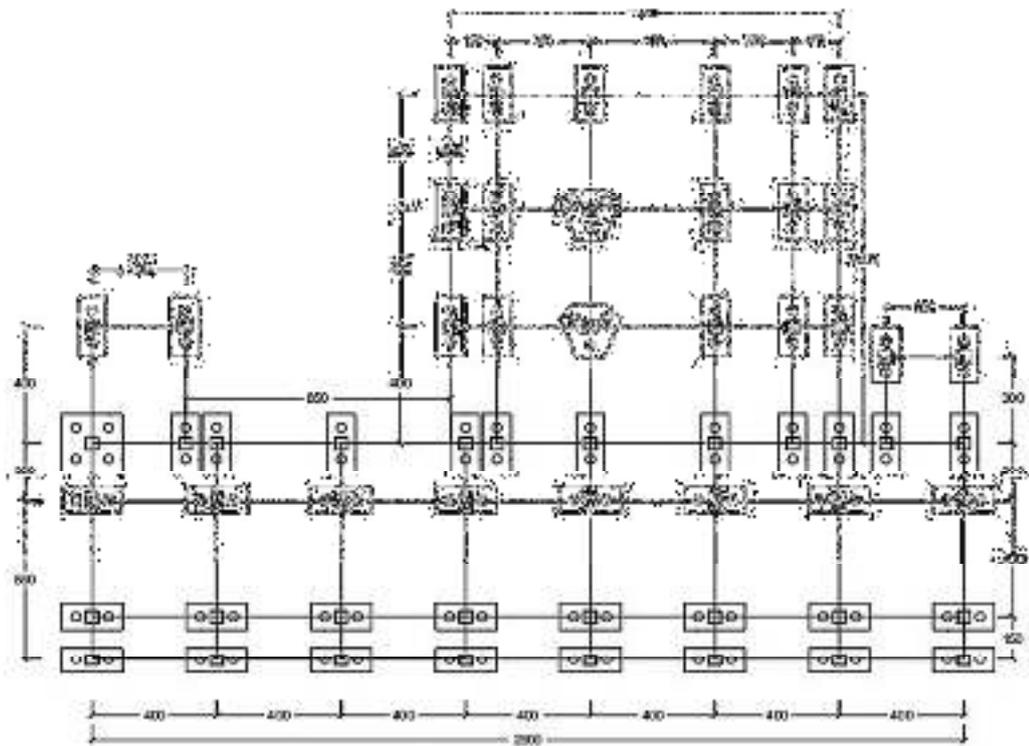
	<i>Layer Number</i>	<i>Soil Material Type</i>	<i>Thickness of layer (m)</i>	<i>Maximum shear modulus <math>G_{max}</math> (MPa)</i>	<i>Total unit weight (kN/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Shear wave velocity (m/sec)</i>	<i>Depth at top of layer (m)</i>	<i>Vertical effective stress (kPa)</i>
<i>Surface</i>	1	1	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
<i>Bedrock</i>	10	0	10.0	3229.36	22.00	1200	46.0	805.09

(Sumber : Hasil Analisis, 2024)

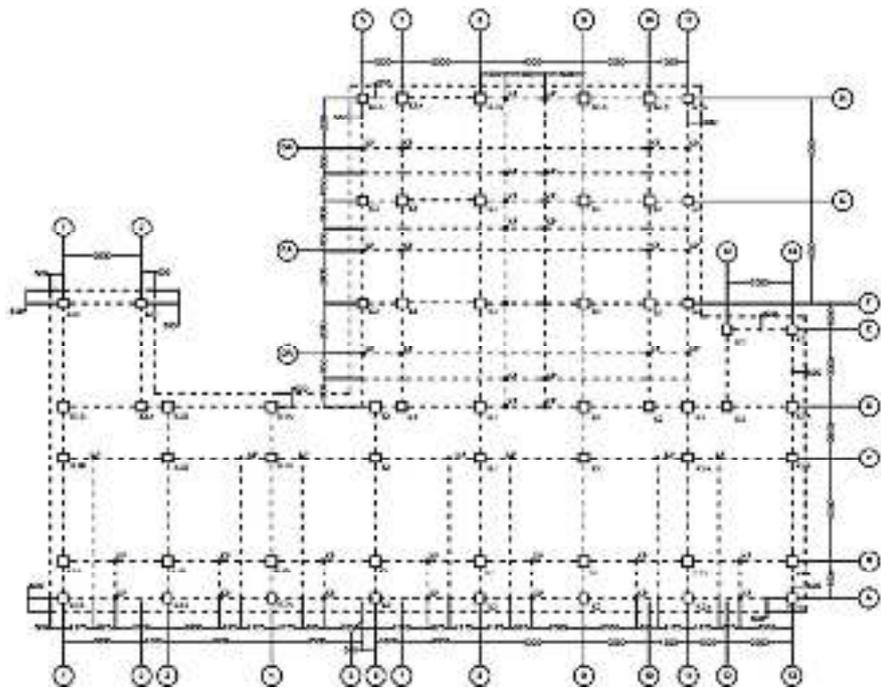
### 3.2 Layout dan Denah Bangunan

Data pembebanan yang di dapat di analisa secara literatur kemudian di analisis dengan menggunakan bantuan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method*. Berikut Gambar 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, dan 3.10 permodelan struktur yang akan dianalisis.

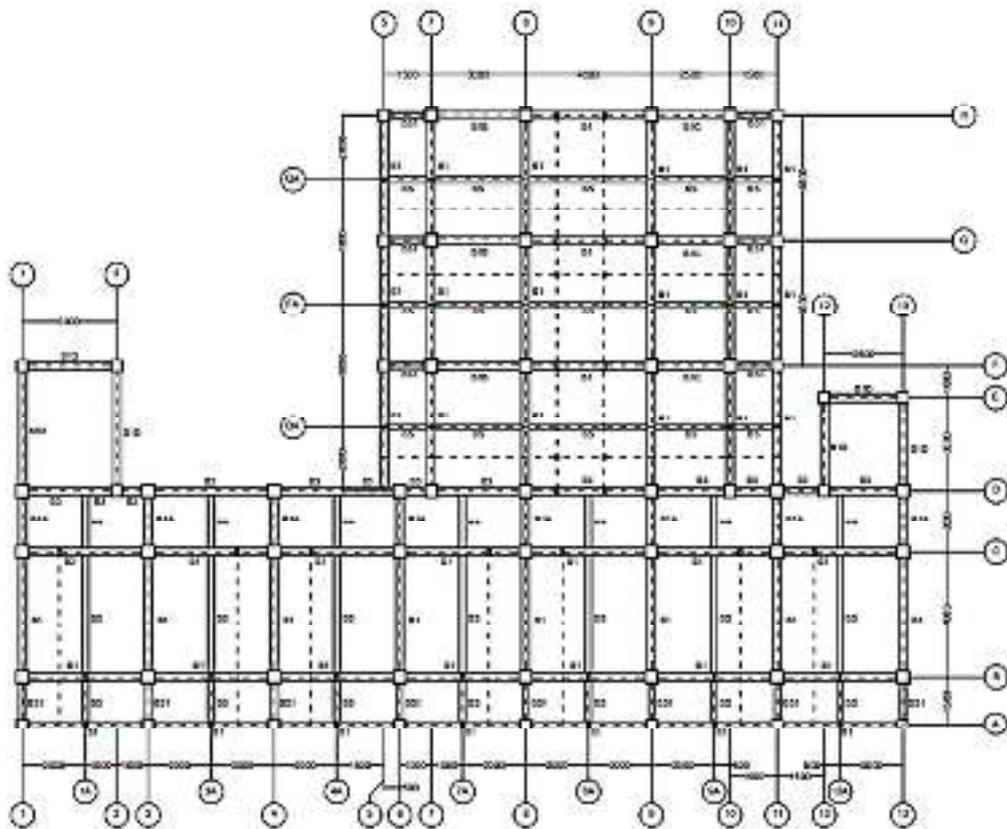




Gambar 3. 8 Denah Pondasi  
(Sumber : CV Trigora, 2024)



Gambar 3. 9 Denah Kolom Lantai 1  
(Sumber : CV Trigora, 2024)



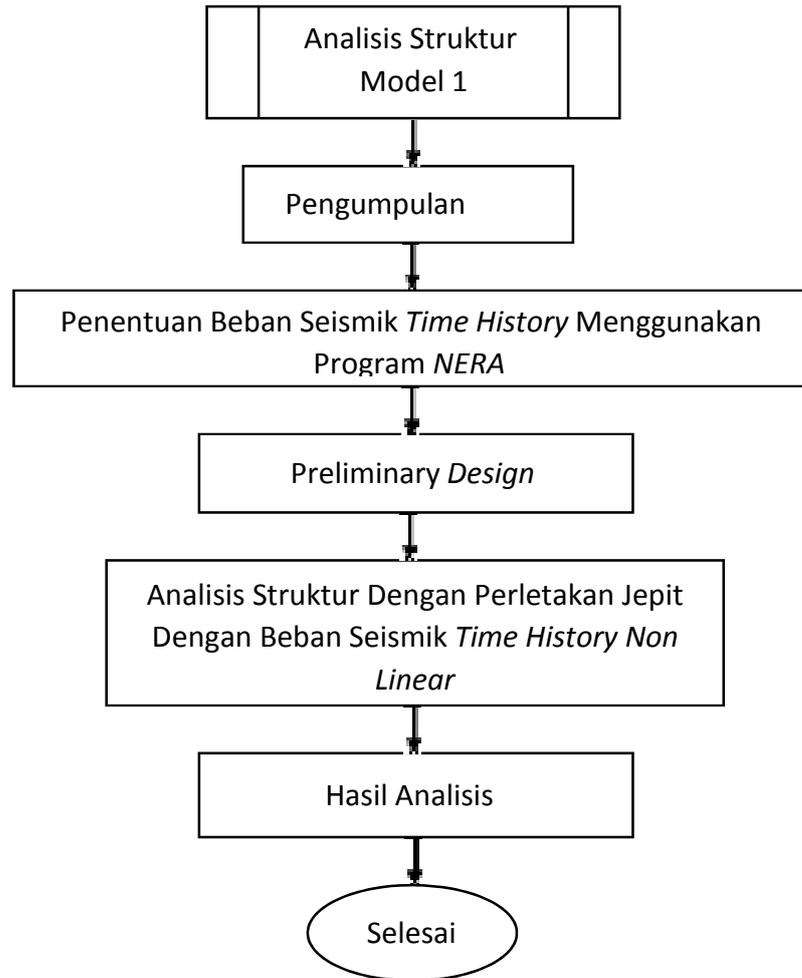
Gambar 3. 10 Denah Balok LT 1 S/D LT 2  
(Sumber : CV Trigora, 2024)

### 3.3 Analisis Struktur Model 1

Dalam analisis struktur model 1 metode yang di pakai untuk menganalisis beban gempa gedung ini adalah metode analisis dinamis respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Dalam melakukan analisis strukturnya, dihitung berdasarkan SNI 1727-2013, PPURG 1983. Untuk mempercepat, maka perhitungan analisa struktur di lakukan menggunakan bantuan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method*. Untuk tahapan pengerjaannya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan permodelan gedung yang akan di analisis.
2. Menentukan dimensi kolom, balok dan plat lantai.
3. Menentukan jenis pondasi dan jenis material struktur yang akan di pakai.
4. Merencanakan beban yang bekerja pada bangunan.

Berikut Gambar 3.11 untuk menggambarkan diagram alur analisis mengoperasikan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method* yang di lakukan pada karya ilmiah ini.



Gambar 3. 11 Bagan Alir Analisa Struktur Model 1

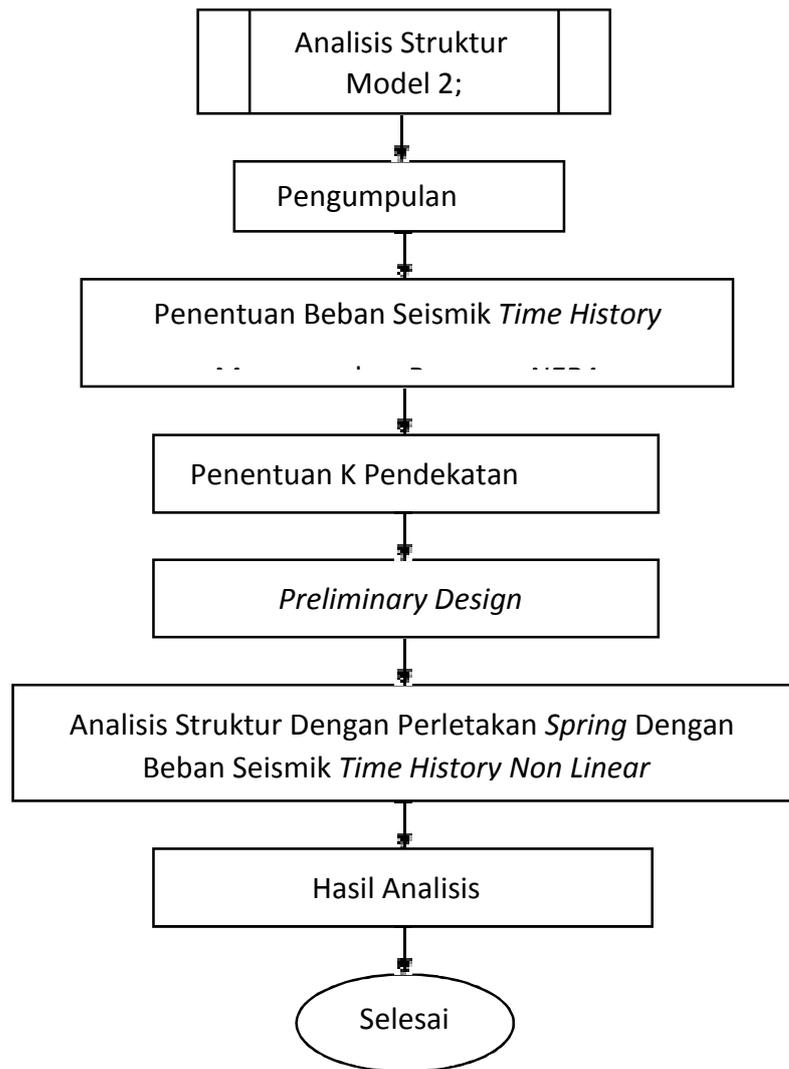
### 3.4 Analisis Struktur Model 2

Dalam analisis struktur model 2 metode yang di pakai untuk menganalisis beban gempa gedung ini sama dengan struktur model 1 yaitu menggunakan metode analisis dinamis respon spektrum berdasarkan SNI 1726-2012. Dalam melakukan analisis strukturnya, dihitung berdasarkan SNI 1727-2013, PPURG 1983. Untuk mempercepat, maka perhitungan analisa struktur di lakukan menggunakan bantuan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method* Untuk tahapan pengerjaan nya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan permodelan gedung yang akan di analisis.
2. Menentukan dimensi kolom, balok dan plat lantai.
3. Menentukan jenis pondasi dan jenis material struktur yang akan di pakai.

4. Merencanakan beban yang bekerja pada bangunan.
5. Menentukan K (modulus subgrade tanah)

Berikut Gambar 3.12 untuk menggambarkan diagram alur analisis mengoperasikan program analisis struktur dengan *Finite Element Method* yang dilakukan pada karya ilmiah ini.



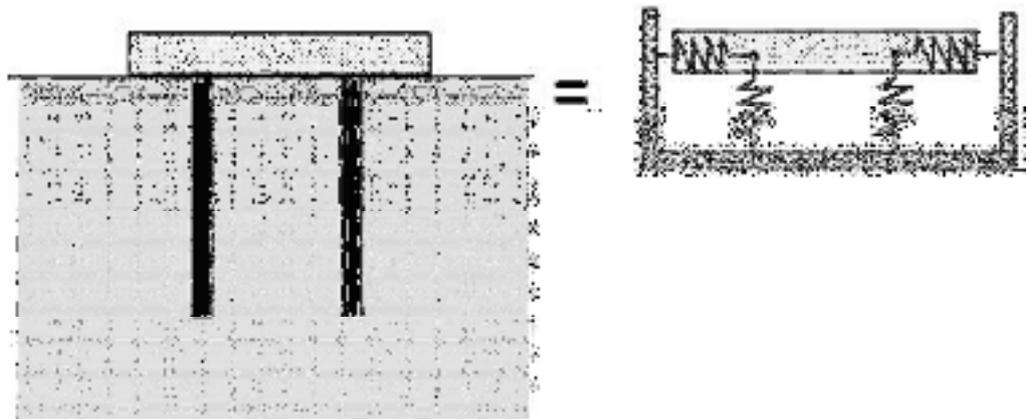
Gambar 3. 12 Bagan Alir Analisa Struktur Model 2

### 3.5 Pemodelan *Pile Group* untuk Menentukan Koefisien *Subgrade*

#### Pondasi Terhadap Tanah

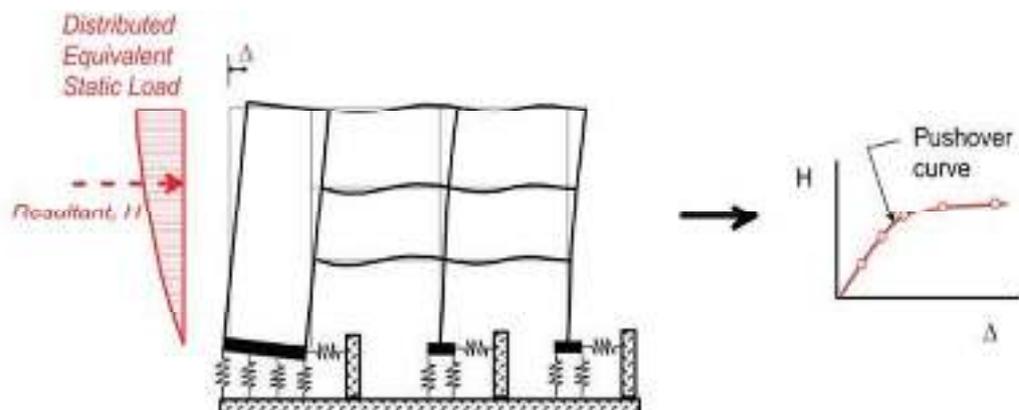
Dalam melakukan pemodelan *pile group* pilih beban  $P$  yang paling besar dari hasil analisa program analisis struktur dengan *Finite Element Method*. Beban  $P$  yang paling besar tersebut di analisa dengan pemodelan *pile group* setelah hasilnya di dapat maka di lanjutkan untuk menentukan gaya  $K$  (modulus *subgrade* tanah), baik itu  $K$  horizontal,  $K$  vertikal dan  $K$  bearing.

Setelah  $K$  (modulus *subgrade* tanah) tersebut di analisa pada *pile grub* untuk memperoleh grafik hubungan perpindahan dengan gaya yang bekerja, setelah nilai masing-masing *subgrade* tanah diperoleh maka akan digunakan sebagai input program analisis struktur dengan *Finite Element Method*.



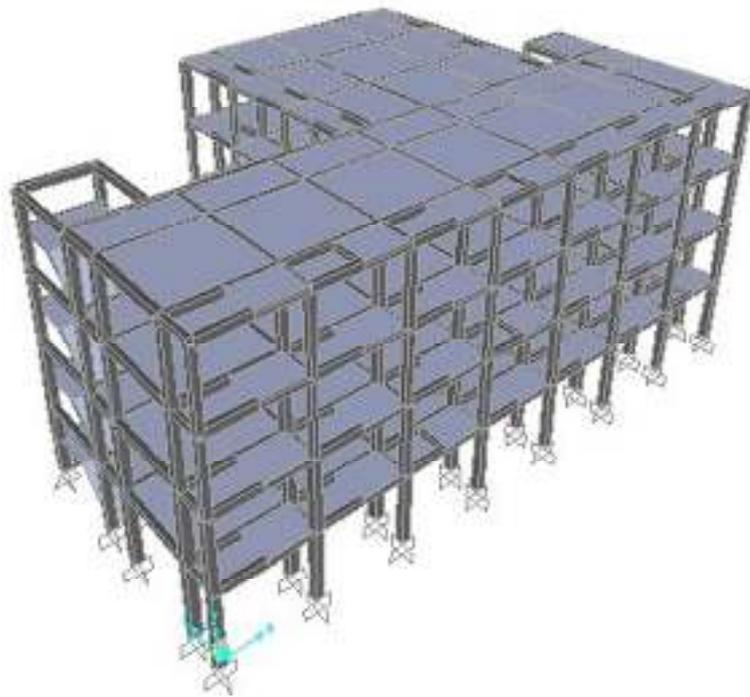
Gambar 3. 13 Ilustrasi Skema Menunjukkan Penggantian Pondasi Tiang dengan Pegas

(Sumber:Institute, 2012)

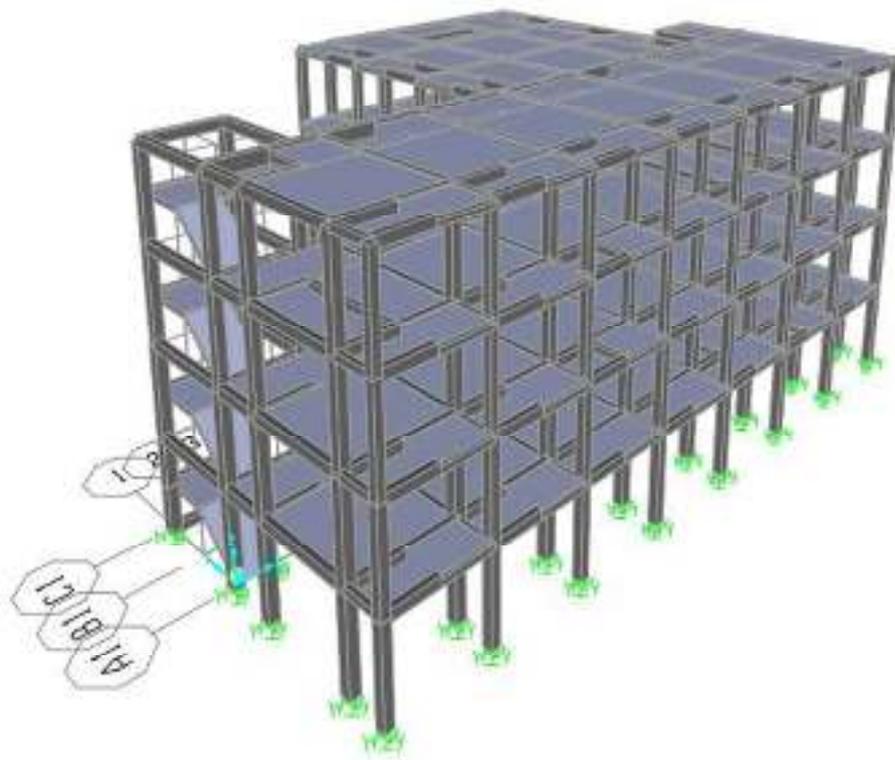


Gambar 3. 14 Ilustrasi Skema Analisis Langsung Interaksi Tanah-Struktur

(Sumber:Institute, 2012)



Gambar 3. 15 Model Struktur 1  
(Sumber: Program finite element method, 2024)



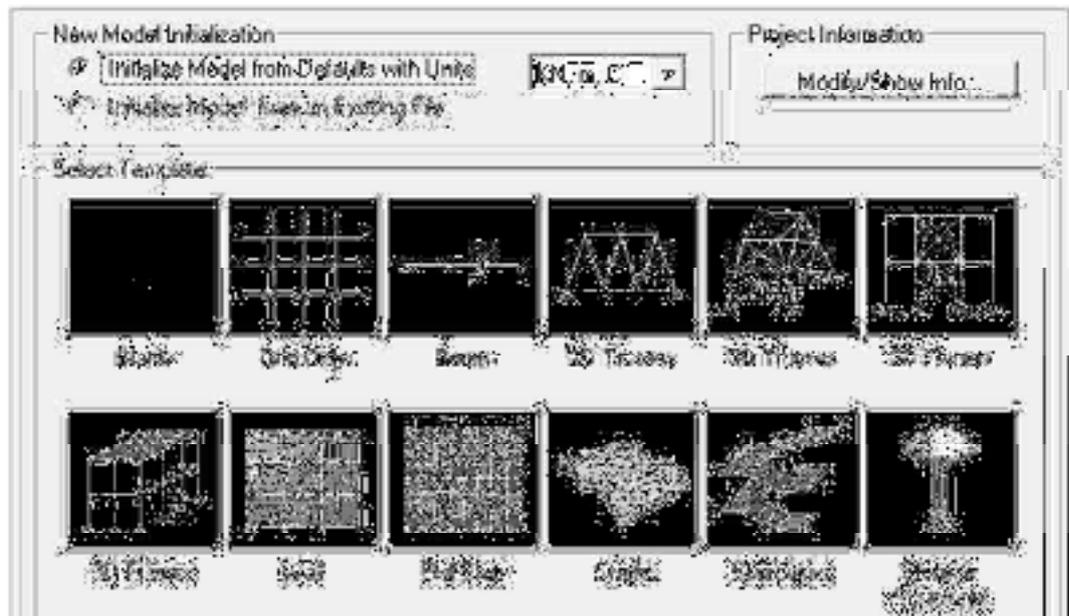
Gambar 3. 16 Model Struktur 2  
(Sumber: Program finite element method, 2024)

### 3.6 Analisis Struktur Model 1 Menggunakan Program analisis struktur dengan *Finite Element Method*

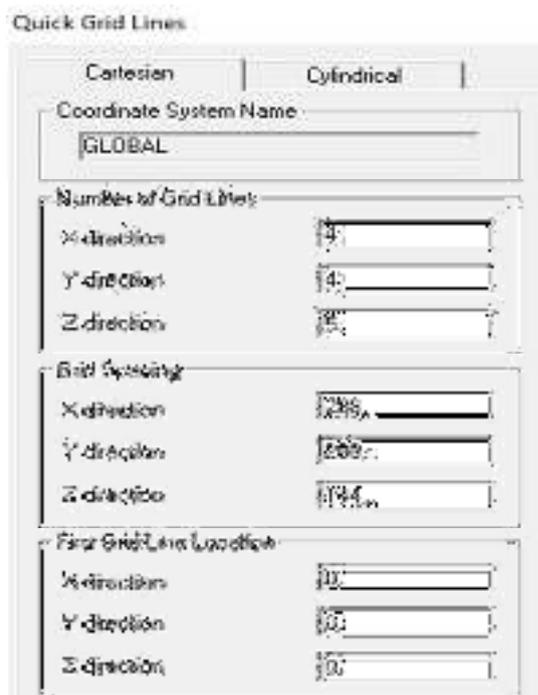
Berikut beberapa langkah dalam pengoperasian program analisis struktur dengan *finite element method*.

Langkah 1 : Mempersiapkan satuan dan *grid*.

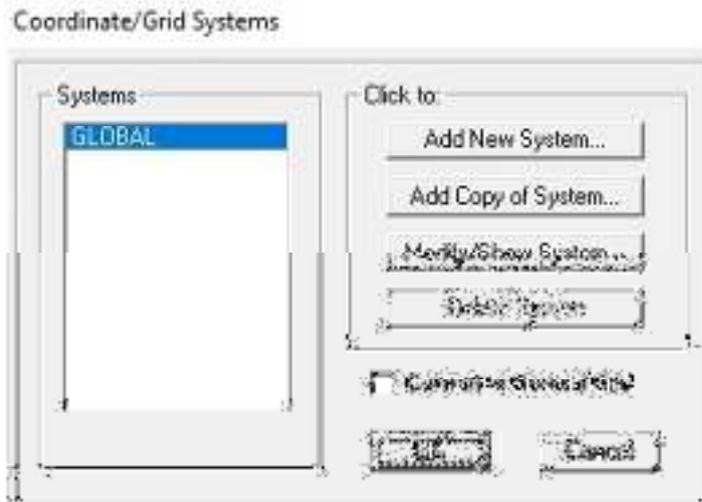
- a) Pilih *New Model*. Selanjutnya, akan muncul *pop up (New Model Initialization)*, pilih *Grid Only* untuk membuat model baru.



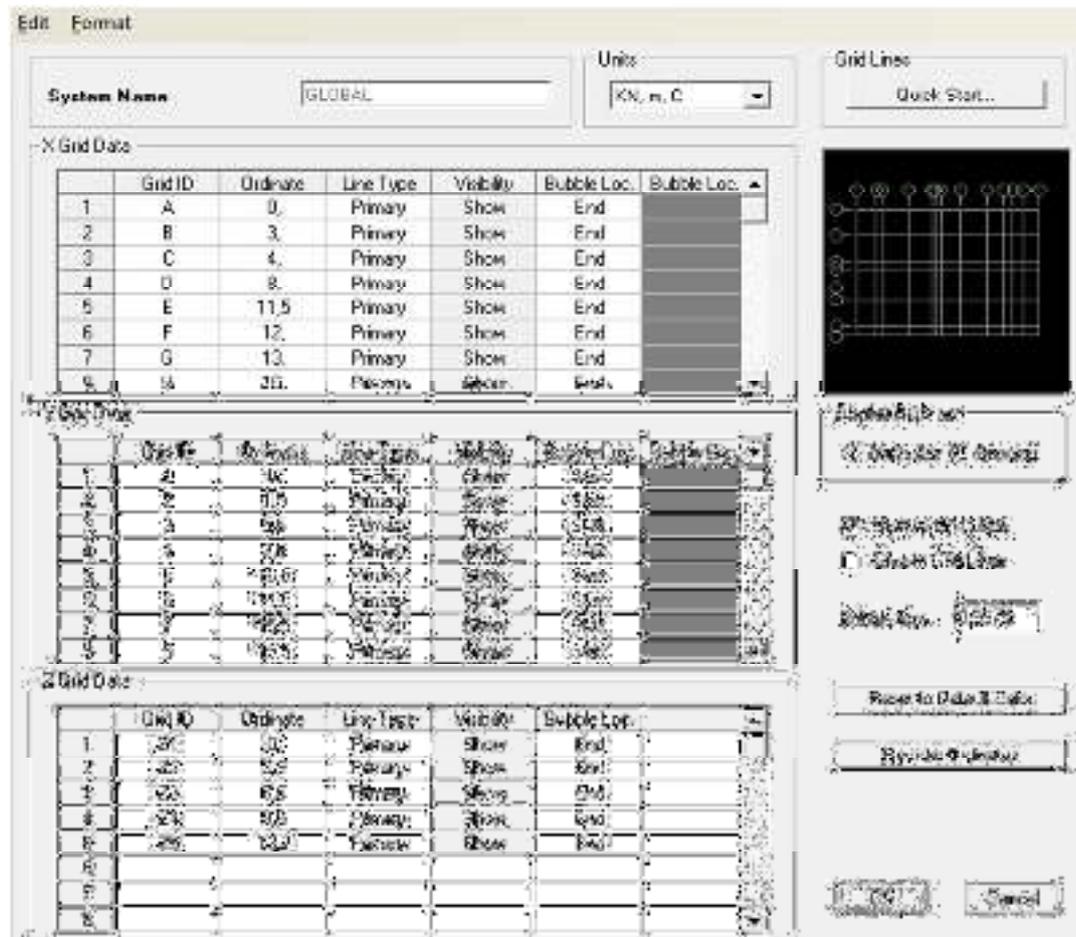
- b) Pilih *Grid Only* untuk membuat model.



c) Pilih Global kemudian *Modify/Show System*

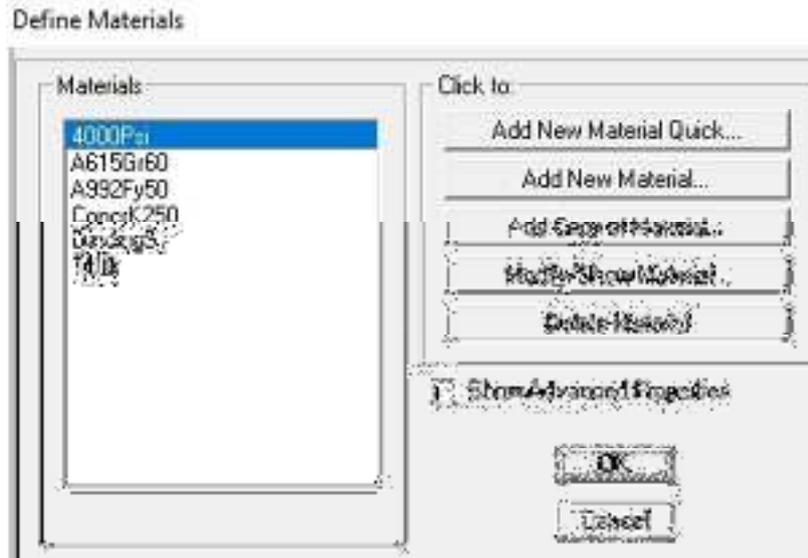


d) Edit data sesuai dengan ukuran arah x,y,z

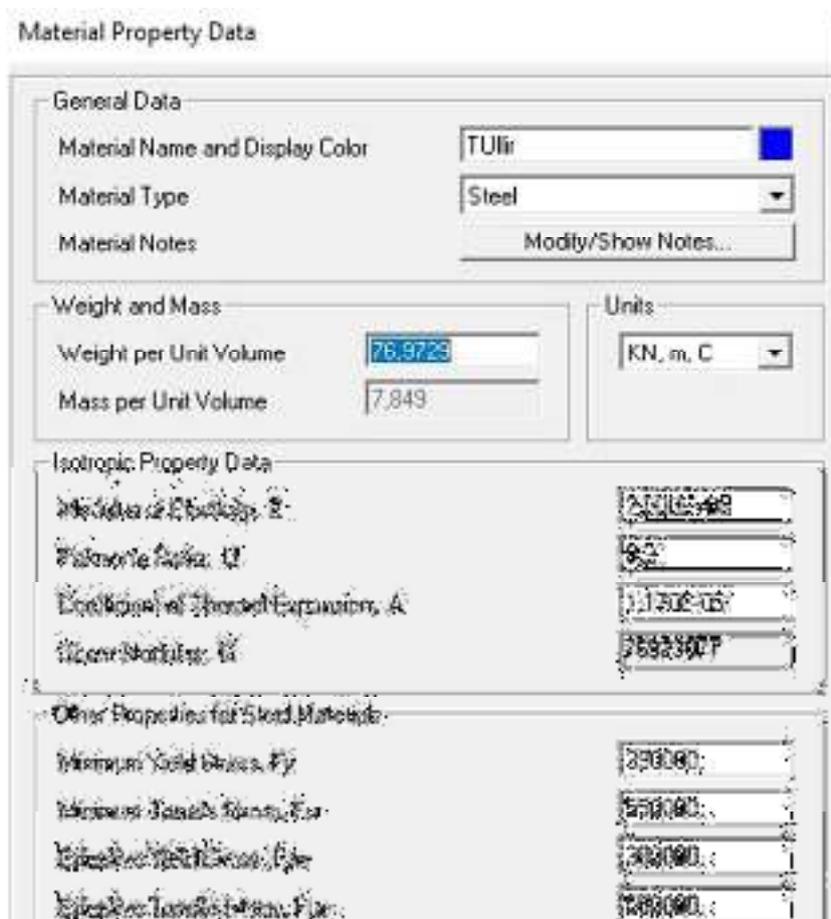


Langkah 2 : Menginput mutu material

a) Pilih *Define material* kemudian menambahkan jenis material



b) Pilih *Material Property* untuk memasukkan jenis dan mutu material

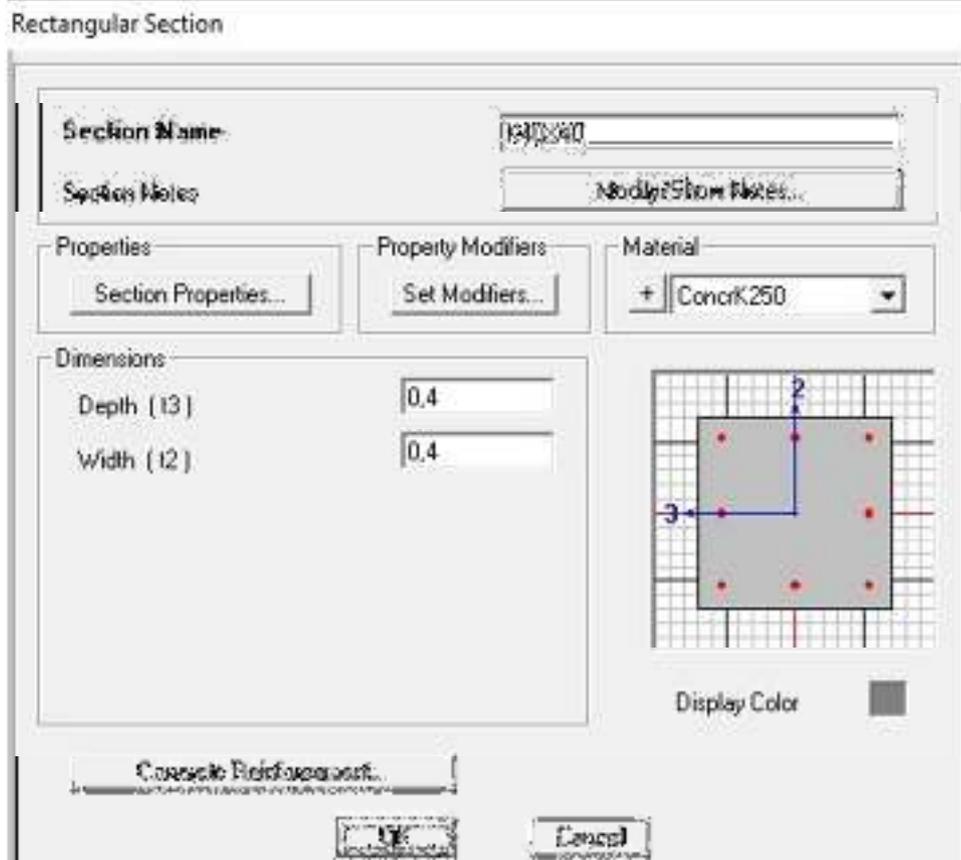


Langkah 3 : Menginput dimensi penampang elemen

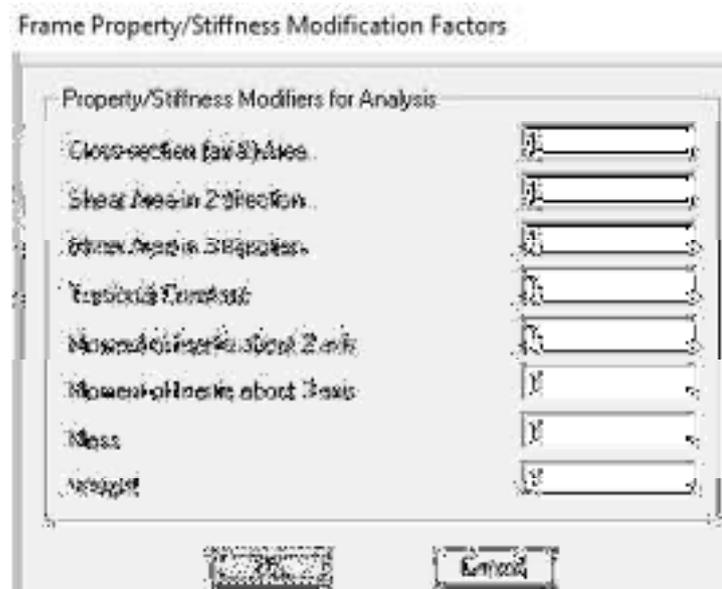
a) Data Kolom

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

Ukuran kolom adalah 400mm x 400mm, Material *ConcrK250*.



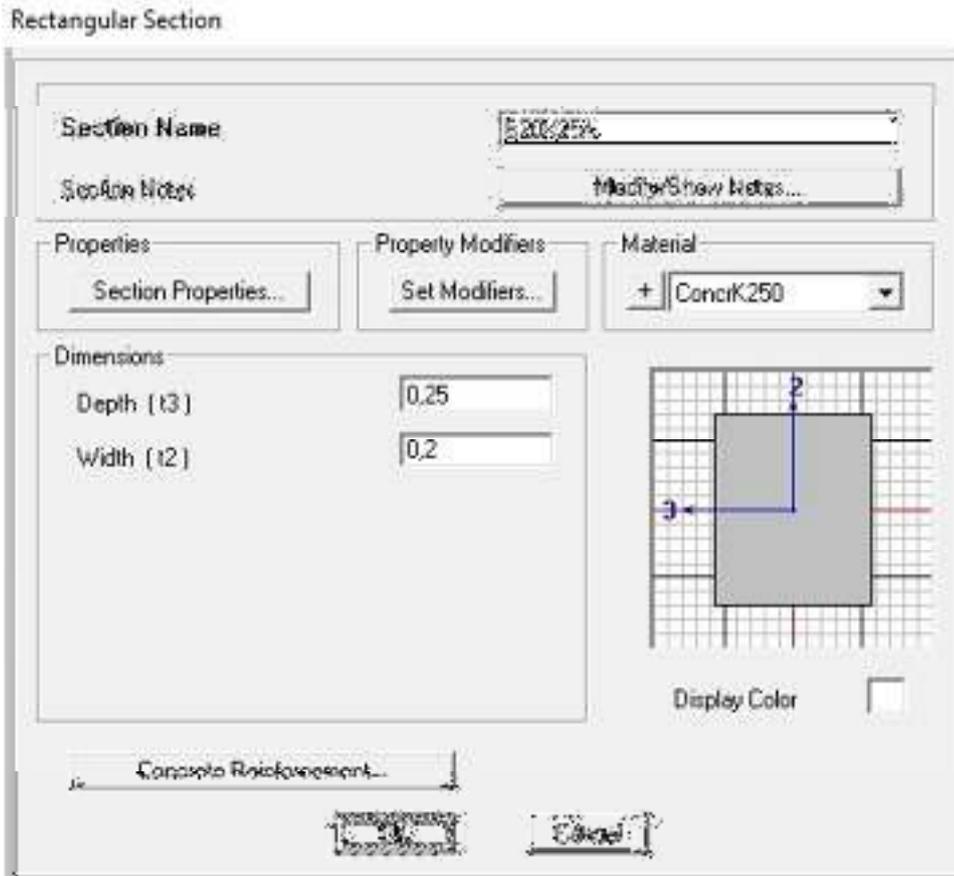
Klik *Set Modifiers* untuk input data *Frame Property/Stiffness Modification Factor*.



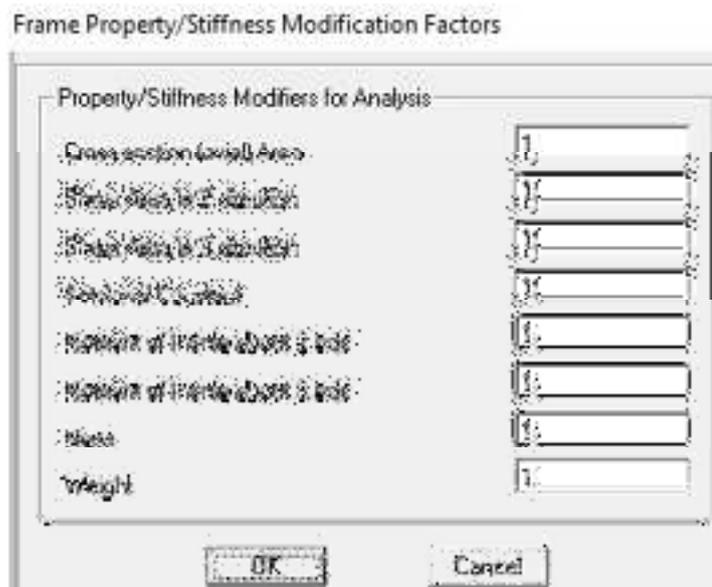
Selanjutnya klik *Concrete Reinforcement* maka akan muncul *Rebar Material* lalu isikan data sesuai dengan material.

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

### Reinforcement Data

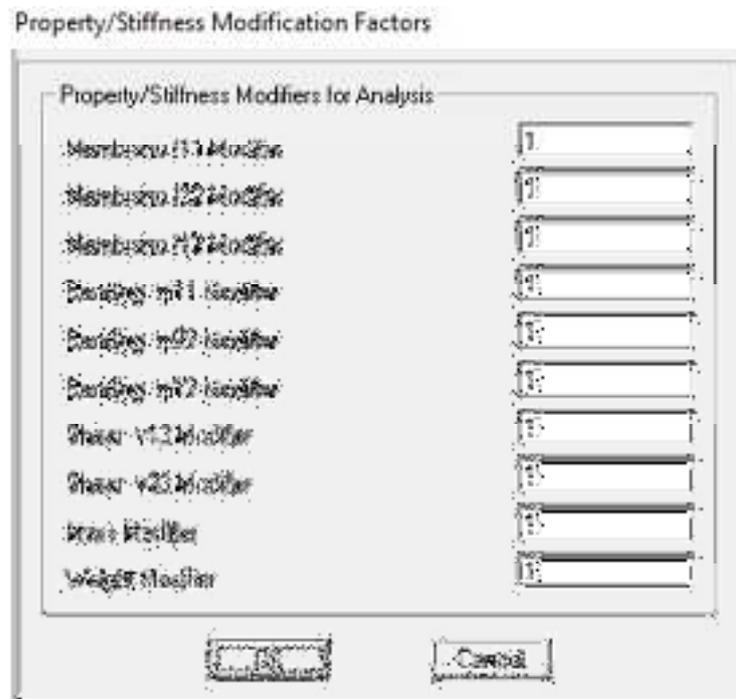
Reinforcement Cover for Bar/Chairs		
	Left	Right
Top	0.0	0.0
Bottom	0.0	0.0

### 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.

Thickness	
Membrane	0.12
Bending	0.12

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



Langkah 4 : 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 K30x30*.

Line Object Type	Straight Frame
Section	K30x30
Moment Release	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 B20x25*.

Line Object Type	Straight Frame
Section	B20x25B
Moment Releases	Continuous
XY Plane Offset Normal	0,
Drawing Control Type	None <space bar>

c. Membuat pelat

Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. pilih menu *Draw, Draw Rectangular Area*. Pada *Pop up* pilih *Section PL120*.

Section	PL120
Drawing Control Type	None <space bar>

Langkah 5 : Menentukan Jenis Perletakan

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



Langkah 6 : Menginput beban dan kombinasi beban

a) Membuat Tipe Beban

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

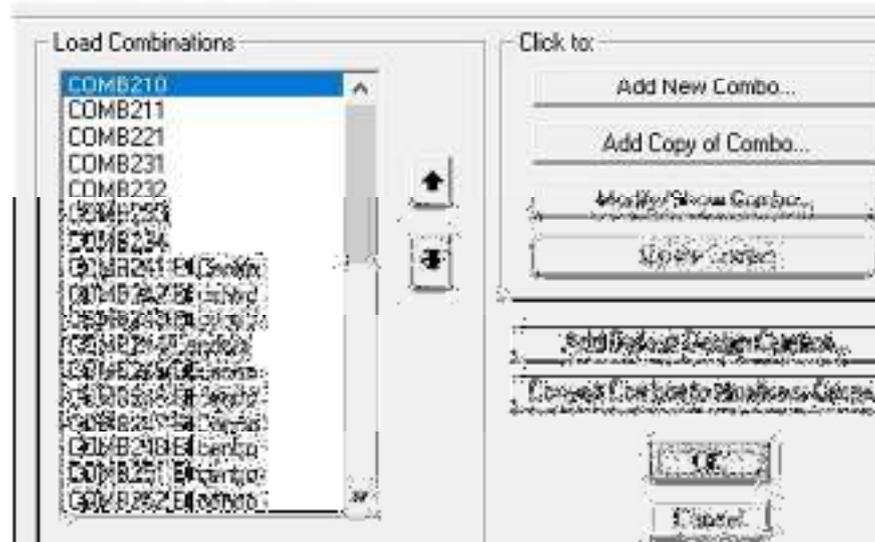
### Define Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
SDL	DEAD	1	
LL	LIVE	0	
WX	WIND	0	ASCE 7-05
WY	WIND	0	ASCE 7-05
SEDP	SHAKE	0	IBC 2006
SDTA	SHAKE	0	IBC 2006
LR	LIVE	0	

### b) Membuat Tipe Kombinasi Beban

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

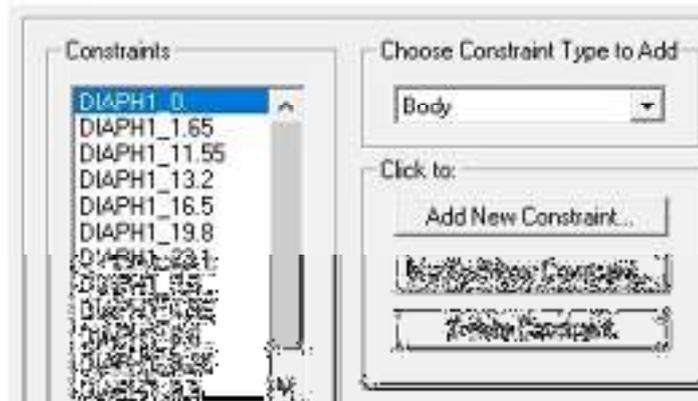
### Define Load Combinations



### Langkah 7 : Membuat diafragma dan massa struktur

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

### Assign/Define Constraints



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

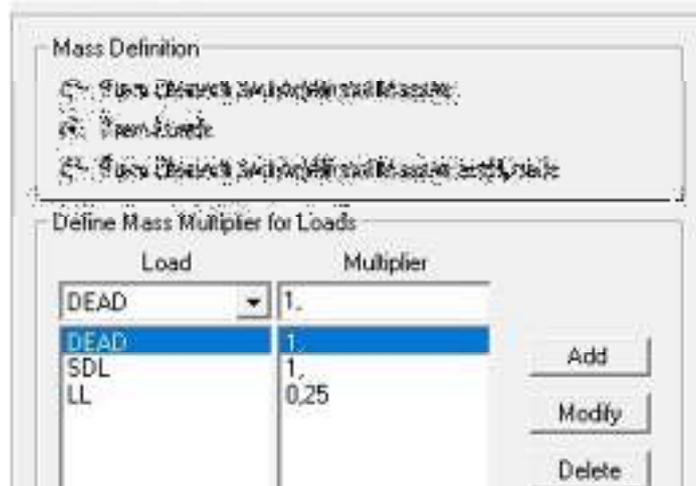
### Diaphragm Constraint



- c) Massa Struktur

Klik menu *Define, Mass Source* untuk memasukkan data *Mass Source* nya.

### Define Mass Source

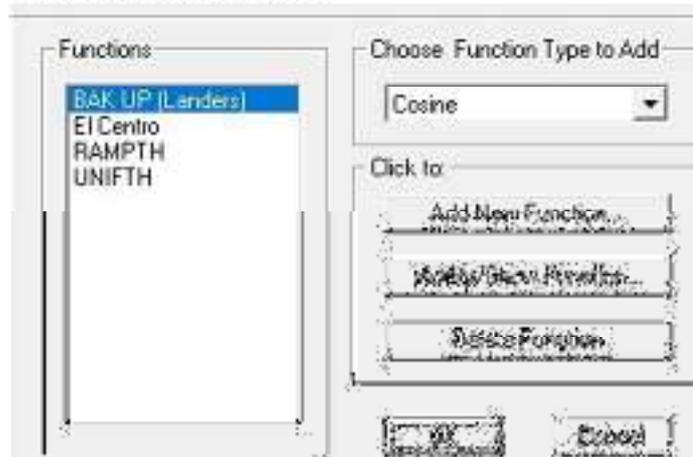


Langkah 8 : Input beban dinamis dan beban statis

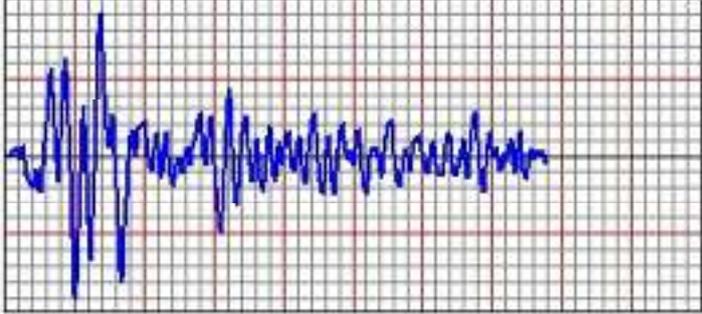
a) Input beban dinamis

Pilih menu *Define, Function, Time History, Choose Function Type to Add data El Centro dan Landers* .

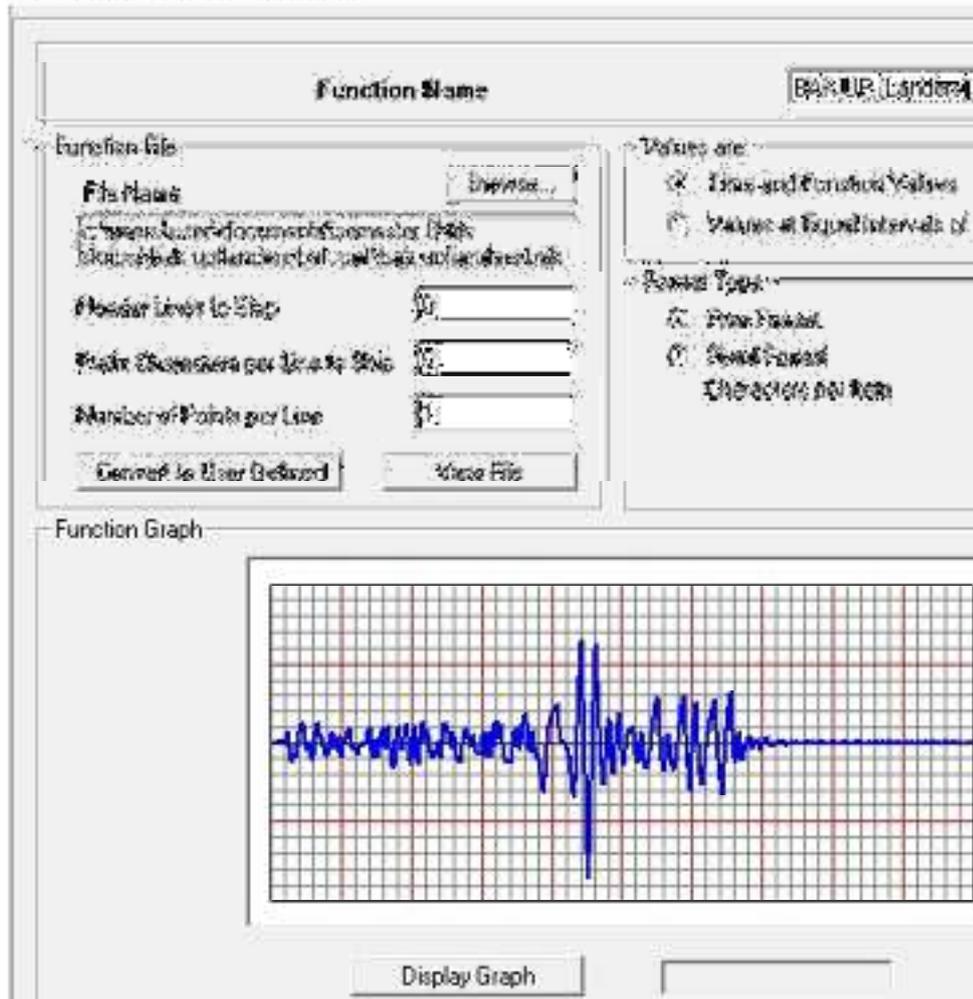
### Define Time History Functions



### Time History Function Definition

Function Name		File Name
<b>Function File</b>		<b>Save as:</b>
File Name	Browse...	<input checked="" type="radio"/> Time and Position Values
Header Lines to Skip: 0		<input type="radio"/> Values of Equal Intervals of
Prefix Characters per Line to Skip: 0		
Number of Points per Line: 1		<b>Format Type</b>
<input type="button" value="Convert to User Defined"/>	<input type="button" value="View File"/>	<input checked="" type="radio"/> Free Format
		<input type="radio"/> Fixed Format
		Characters per Item
<b>Function Graph</b>		
		
<input type="button" value="Display Graph"/>		

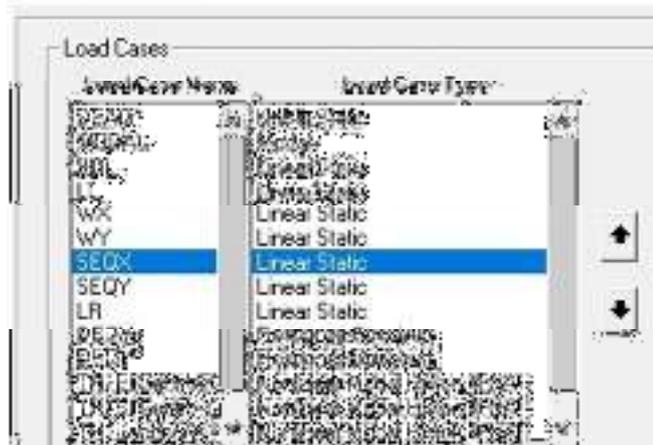
### Time History Function Definition



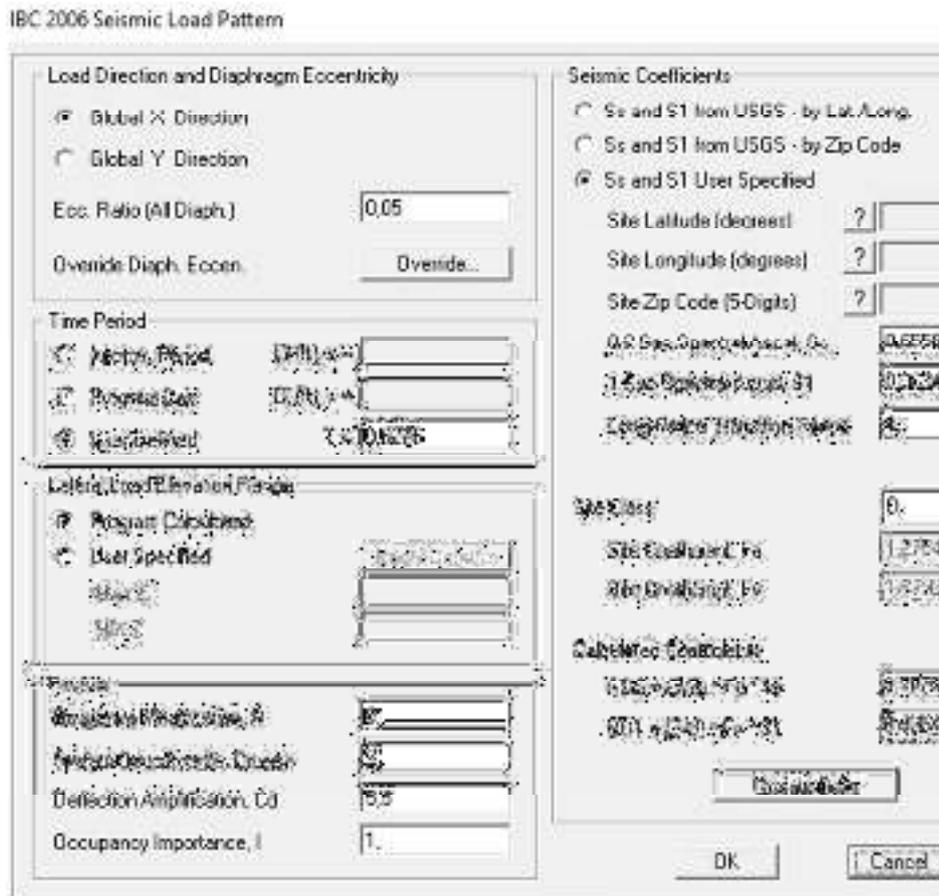
Langkah 9 : Input beban dinamis dan beban statis

b) Input Beban Statis

### Define Load Cases



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



#### Langkah 10 : Input Beban Pada Pelat Lantai

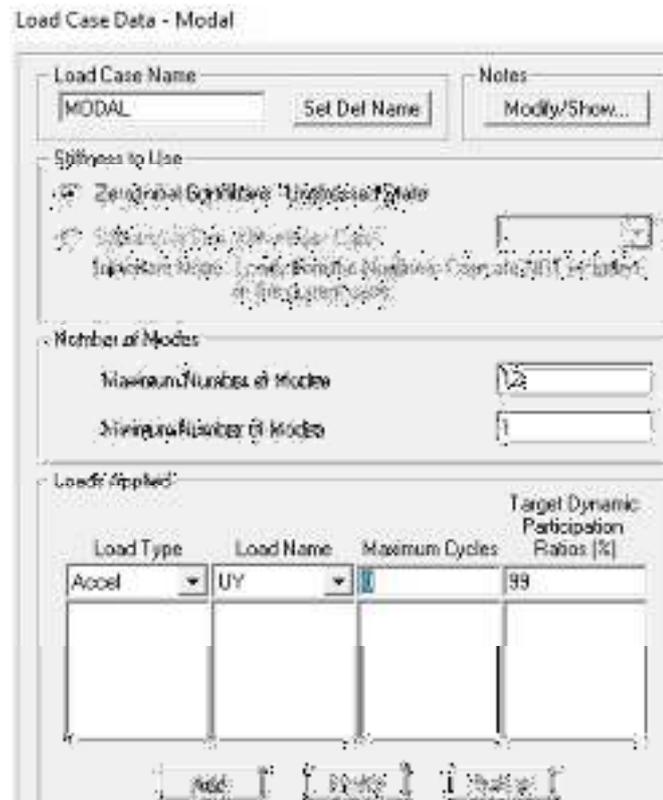
Pilih menu *View, Set 2D View, X-Y Plane*. Pilih pelat lantai yang akan diberi beban. Setelah itu pilih menu *Assign, Area Loads, Uniform to Frame (Shell)*. Pilih satuan KN.m dan isikan besar beban yang telah ditentukan.



## Langkah 11 : Modal Analisis dan *Run Analysis*

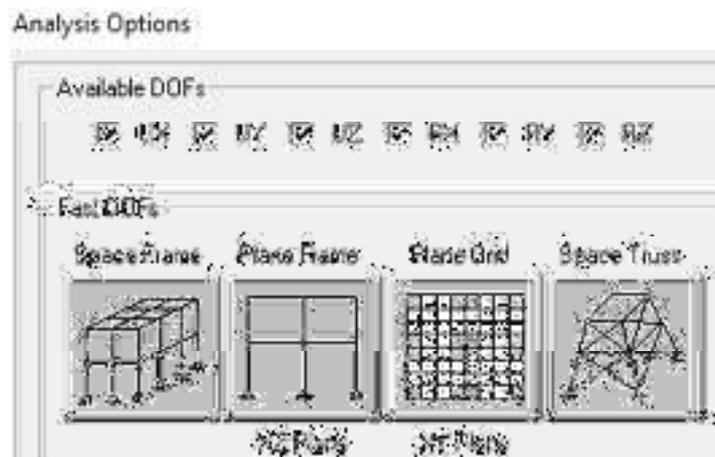
### a) Modal Analisis

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



### b) 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*.



### 3.7 Analisis Struktur Model 2 Menggunakan Program analisis struktur dengan Finite Element Method

Sama dengan analisis struktur model 1, hal yang membedakan dari kedua model tersebut adalah jenis perletakan nya untuk model struktur 1 perletakan nya jepit sedangkan model struktur 2 perletakan nya *Spring* ( Pegas elastis ).

Langkah 1 : Menentukan Jenis Perletakan

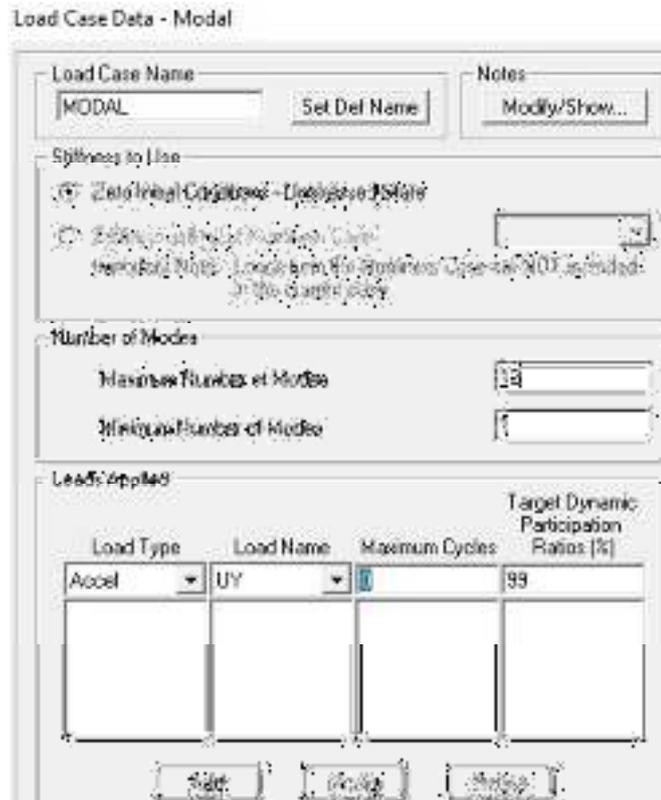
Setelah di dapat hasil nilai  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ,  $K-M_x$ ,  $K-M_y$ ,  $K-M_z$ . Kemudian di masukkan ke kolom yang kosong di bawah yang terdapat pada Program analisis struktur dengan finite element method.



Langkah 2 : Modal Analisis dan *Run Analysis*

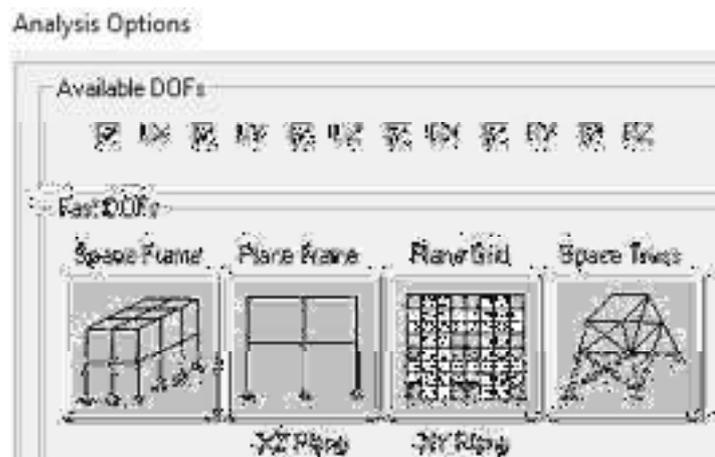
a) Modal Analysis

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



b) 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*.



