

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGURANGAN KEKAKUAN  
TERHADAP BESARNYA  
GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING  
GEDUNG BERTINGKAT BANYAK**

Disusun Oleh:

**ERWIN FAMULARSIH**

No Mhs : 93310246

NIRM : 930051013114120246

**HERAWATI SAMBODO WIROGO**

No Mhs : 94310011

NIRM : 940051013114120011

Diperiksa dan disetujui oleh :

**Ir. H. Susastrawan, MS**

**Dosen Pembimbing I**



**Tanggal : 30/04/99**

**Ir. H. Sarwidi, MSCE, Phd**

**Dosen Pembimbing II**



**Tanggal : 30/04/99**

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan tugas wajib bagi setiap mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, dalam menyelesaikan kuliah pada jenjang program strata I ( S1 ).

Dalam penyusunan Tugas Akhir kami yang berjudul “ PENGARUH PENGURANGAN KEKAKUAN TERHADAP BESARNYA GAYA GESER DASAR DAN MOMEN GULING GEDUNG BERTINGKAT BANYAK “, kami telah berusaha semaksimal mungkin untuk memperoleh hasil yang sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang ada pada kami serta berpegang pada buku-buku referensi, pedoman dan petunjuk yang terpakai. Disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang ada pada kami, untuk itu kritik dan saran dari berbagai pihak sangat kami harapkan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini kami telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik bantuan moril maupun sprirituil. Untuk itu kami menghaturkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Phd, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Tadjuddin BM Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Susastrawan, MS, selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. Sarwidi, MSCE, Phd, selaku Dosen Pembimbing II.
5. Bapak Ir. Suharyatmo, MT, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Ayahanda dan Ibunda kami tercinta, yang selalu berdoa untuk keberhasilan kami, hingga kami sampai pada penghujung studi ini.
7. Mas Imawan, atas program basicnya, kami berharap suatu saat nanti kami dapat membalas kebaikan mas Imawan dan semoga Tuhan akan membalas kebaikan mas Imawan kepada kami.
8. Mas Ganang, yang telah menyediakan waktu dan tenaga untuk menemani kami mencari literatur perpustakaan UI.
9. Teman-teman yang telah banyak memberikan bantuan kepada kami, baik secara langsung maupun tidak langsung, dan juga semu pihak yang telah banyak membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, yang tidak mungkin kami sebutkan satu persatu.

Atas segala budi dan amal baik yang telah diberikan, kami hanya dapat memanjatkan doa, semoga segala amal kebajikan itu, mendapat imbalan yang setimpal dari Allah SWT, Amien.

Selanjutnya penulis berharap juga, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kami dan bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, April 1999

Penyusun

*Moto:*

*"Sesungguhnya Allah telah mennguji kamu, agar kamu melakukan aktivitas yang paling baik"*  
( Al-Quran )

*"Allah tidak akan membebani sesuatu pada jiwamu, akan tetapi pada kekuatan jiwamu"*  
( Al-Quran )

*"Pemikiran dalam jiwamu itu adalah kekuatan jiwa yang akan menyelesaikan persoalan hidup dan kehidupanmu"* (Dalail Attauhid )

*"Ketahuilah dengan berzikir kepada Allah hatimu akan menjadi tenang"*  
( Al- Quran )

*"Wahai jiwa yang tenang kembalilah kepada Allah dengan hati yang bahagia lagi diridhoi"*  
( Al-Quran )

*"Ketahuilah bahwa sesungguhnya kekasih Allah adalah seseorang yang tidak memiliki kekhawatiran dalam jiwa, dan tidak melakukan aktivitas yang mengungkapkan kedukaan"*  
( Al-Quran )

*Dipersembahkan untuk:*

**Bapak tercinta,**

*Yang tiada henti mengingatkan agar selalu bertawakal kepada-Mu Ya Allah dalam menerima kenyataan hidup ini, dan juga selalu bersyukur atas semua nikmat yang telah Engkau berikan*

**Ibu tercinta,**

*Yang dengan penuh kasih sayang dan ketulusan, mendoakan dan meridhoi setiap langkah yang kutempuh, sehingga Allah selalu memberikan kemudahan dibalik kesulitan-kesulitan yang kuhadapi, karena ridhonya Allah adalah ridhonya orang tua*

**Kakak, Adik dan tante tercinta,**

*Yang tiada henti membantu serta senantiasa memberikan dorongan dan semangat untuk terus berkarya*

**Ali, temanku**

*Yang dengan perhatiannya yang tulus, selalu siap membantu disetiap kesulitan-kesulitanku, sehingga kamu begitu berarti bagi TA-ku, I never find someone like you, and afier all this time yo're the best that I ever have*

**Ririn, Aji, Zamroni, Andi dan Dani**

*Yang dengan tulus selalu memberikan semangat dan dorongan didalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta tiada henti mengingatkan agar terus maju mencapai cita-cita yang tinggi. Terima kasih, kalian telah mengajarkan arti sebuah "persahabatan" yang sesungguhnya*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
MOTTO.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
INTI SARI.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Manfaat .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengertian Kekakuan .....	4
2.2 Pengertian Gaya Geser Dasar .....	7
2.3 Pengertian Momen Guling .....	8
2.4 Pengertian Masa .....	9
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	
3.1 Prinsip Bangunan Geser .....	11
3.2 Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (“ <i>Multi Degree</i>	

<i>Of Freedom, MDOF</i> “ <i>“</i> ) .....	13
3.2.1 Nilai Karakteristik ( <i>Eigen Problem</i> ) .....	16
3.2.2 Frekuensi Sudut ( $\omega$ ) Dan Normal Mode .....	19
3.3 Gaya Geser Dasar .....	23
3.4 Momen Guling .....	25
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	
4.1 Pengumpulan Data Tata Letak Dan Fungsi Struktur .....	27
4.2 Pengolahan Dan Analisis Data .....	28
4.3 Pembahasan .....	29
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Pembebanan Struktur .....	30
5.2 Perhitungan Masa Dan Kekakuan Tingkat .....	32
5.2.1 Perhitungan Masa Tingkat .....	32
5.2.2 Perhitungan Nilai Kekakuan Tingkat .....	34
5.3 Pembahasan .....	48
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan .....	62
6.2 Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	65
<b>LAMPIRAN</b>	



## INTI SARI

Struktur gedung bertingkat ketika dilanda beban gempa dimodelkan sebagai bandul yang terjepit sempurna pada taraf lantai dasar (terjepit 100%) dengan masa-masa lantai tergumpal atau *lump mass*. Dengan anggapan ini, kita akan terhindar dari masalah interaksi yang sulit antara struktur dengan tanah. Kondisi struktur atas yang terjepit sempurna sangatlah jarang kita temui dilapangan karena berbagai kendala, seperti perubahan konfigurasi beban partisi, tingkat pengerjaan yang buruk sewaktu pelaksanaan, adanya kerusakan pada struktur ataupun nonstruktur.

Dalam penelitian ini, kami mencoba meneliti seberapa besar pengaruh pengurangan kekakuan terhadap kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta simpangan horisontal tingkat/lantai. Metode yang kami lakukan adalah mengalikan nilai kekakuan asal dengan persentase kekakuan yang kami inginkan, kekakuan tingkat yang kami variasikan hanyalah kekakuan tingkat 1, 2 dan 3 secara sendiri-sendiri dengan persentase kekakuan yang menurun dari 100% sampai 10% dengan interval penurunan 100%.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini, ternyata pengurangan kekakuan tingkat sampai 60% dari kekakuan asal menyebabkan berkurangnya gaya geser dasar sebesar 10.365% untuk tingkat 1, 7.707% untuk tingkat 2 dan 3.256% untuk tingkat 3 dengan kapasitas geser pada saat kekakuan 100% adalah 3.010 E5 kgm, sedangkan pengurangan kekakuan dibawah 60% kekakuan asal untuk tingkat 2 dan 3 terjadi kenaikan, hal ini disebabkan nilai koefisien gempa dasar / C yang dipergunakan berasal dari grafik desain spektrum. Simpangan horisontal akan bertambah besar bila kekakuan tingkat dikurangi, dan pertambahan simpangan terbesar terjadi pada lantai / tingkat yang kekakuannya dikurangi. Pada saat kekakuan tingkat sebesar 60% dari kekakuan asalnya, maka simpangan tingkat 1, 2 dan 3 bertambah sebesar 49.31%, 22.347% dan 8.133% dari simpangan tingkat saat kekakuannya 100%.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Umumnya struktur atas dimodelkan terjepit pada taraf lantai dasar. Dengan asumsi ini, maka analisis struktur atas akan terhindar dari masalah interaksi tanah yang rumit. Analisa struktur atas yang menghasilkan beban gempa pada struktur bawah, dilakukan dengan model struktur terjepit penuh (terjepit 100%) pada taraf lantai dasar. Kenyataannya kondisi jepitan seperti itu sangatlah jarang kita temui dilapangan karena berbagai kendala, seperti perubahan konfigurasi beban partisi, tingkat pengerjaan yang buruk sewaktu pelaksanaan dan adanya kerusakan struuktur ataupun nonstruktur.

Dalam hal ini, masih ada anggapan bahwa fondasi dan tanah pendukungnya bergerak secara bersama-sama, atau fondasi dianggap menyatu dengan tanah. Anggapan ini tidak sepenuhnya benar. Karena, tanah bukanlah material yang kaku dan menyatu dengan fondasi. Yang sesungguhnya terjadi adalah, antara fondasi dan tanah tidak akan bergerak bersama-sama. Fondasi masih akan bergerak secara horisontal, relatif terhadap tanah pendukungnya.

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah, bagaimana pengaruh pengurangan kekakuan terhadap besarnya Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada gedung-gedung bertingkat.

### **1.2 Tujuan**

Adapun yang menjadi tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengurangan kekakuan pada gedung bertingkat akan mempengaruhi besarnya Gaya Geser Dasar dan Momen Guling gedung tersebut, dengan model struktur tidak terjepit penuh (tidak terjepit 100%) pada tanah.

### **1.3 Manfaat**

Manfaat dari studi kasus ini adalah :

#### 1. Manfaat Ilmiah

- Menambah pengetahuan dan pemahaman tentang pengaruh dari perubahan kekakuan terhadap besarnya Gaya Geser Dasar dan momen Guling dalam penggunaannya pada proyek-proyek gedung bertingkat banyak.
- Menambah wawasan tentang ilmu Dinamika Struktur dan Rekayasa Gempa.

#### 2. Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bank data bagi para pembaca, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan gedung bertingkat banyak.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Analisa yang digunakan dalam menghitung besarnya kekakuan tingkat, memakai prinsip Bangunan Geser (Clough RW, Penzien J, Dynamics of Structure, second edition, 1992).
2. Metode analisa dinamika menggunakan Desain Spektrum, seperti yang tercantum dalam PPTGIUG 1983.
3. Dinamika struktur hanya dibatasi pada kondisi linear elastik.
4. Struktur gedung yang ditinjau hanyalah struktur gedung 5 (lima) lantai.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengertian Kekakuan

Di dalam “ Struktur Dinamika ” kekakuan kolom dalam menahan beban horisontal dimodelkan sebagai konstanta “pegas”. Pegas yang ditarik atau didesak dengan beban  $P$  akan mengalami perpanjangan atau perpendekan (simpangan) sebesar  $Y$ . Apabila kolom masih dalam kondisi linear elastik, maka hubungan antara beban  $P$  dan simpangan  $Y$  dapat dinyatakan :

$$P = K * Y ; K = P / Y \quad (2.1)$$

dimana :  $P$  = Beban

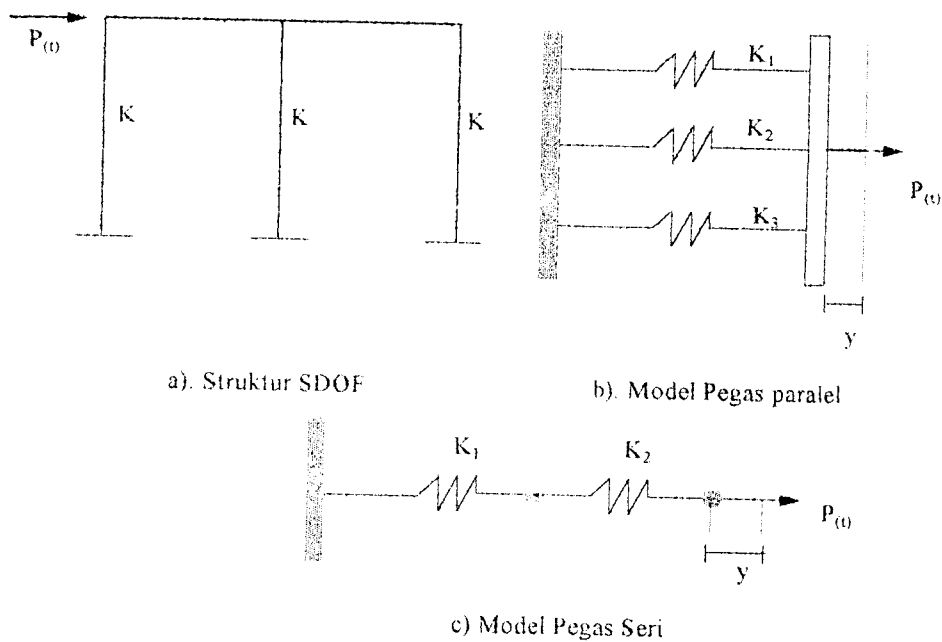
$Y$  = Simpangan

$K$  = Kekakuan

Dengan memperhatikan hubungan menurut persamaan diatas maka dapat dikatakan bahwa “ Kekakuan suatu struktur yang dipresentasikan sebagai konstanta pegas adalah beban yang diperlukan untuk menghasilkan setiap unit perubahan panjang “. (Widodo, 1997).

Pegas sebagai suatu “model” yang umum dipakai dalam mempresentasikan kekakuan kadang-kadang tidak berdiri sendiri, seringkali bekerja bersama-sama

dengan model paralel ataupun seri. Setiap kolom akan mempunyai kekakuan tingkat sendiri-sendiri, maka kolom-kolom dalam suatu tingkat tersebut akan dimodelkan sebagai pegas-pegas yang paralel. Kadang-kadang suatu struktur juga dapat dimodelkan sebagai suatu seri dari pegas-pegas. Baik model pegas paralel maupun seri, nilai konstanta pegas yang dipakai didalam analisa adalah “nilai ekuivalen konstanta pegas”, yang akan mewakili kekakuan dari pegas-pegas penyusunnya.



Gambar. 2.1 Pemodelan struktur SDOF sebagai pegas paralel dan pegas seri

Nilai ekivalen konstanta pegas pada pegas paralel seperti pada gambar 2.1.b, dapat dihitung berdasarkan prinsip bahwa perubahan panjang pegas-pegas adalah sama. Dengan memakai prinsip tersebut maka :

$$P = K_{eq} * Y \quad (2.2)$$

Sedangkan nilai  $K_{eq}$  diperoleh dari :

$$K_{eq} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i \quad (2.3)$$

dimana:  $P$  = Beban

$K_i$  = Konstanta Pegas ke-i

$Y$  = Simpangan

$K_{eq}$  = Konstanta pegas ekivalen

$n$  = Jumlah pegas

Berdasarkan model pegas seri pada gambar 2.1.c, di atas maka prinsip yang dapat dipakai adalah

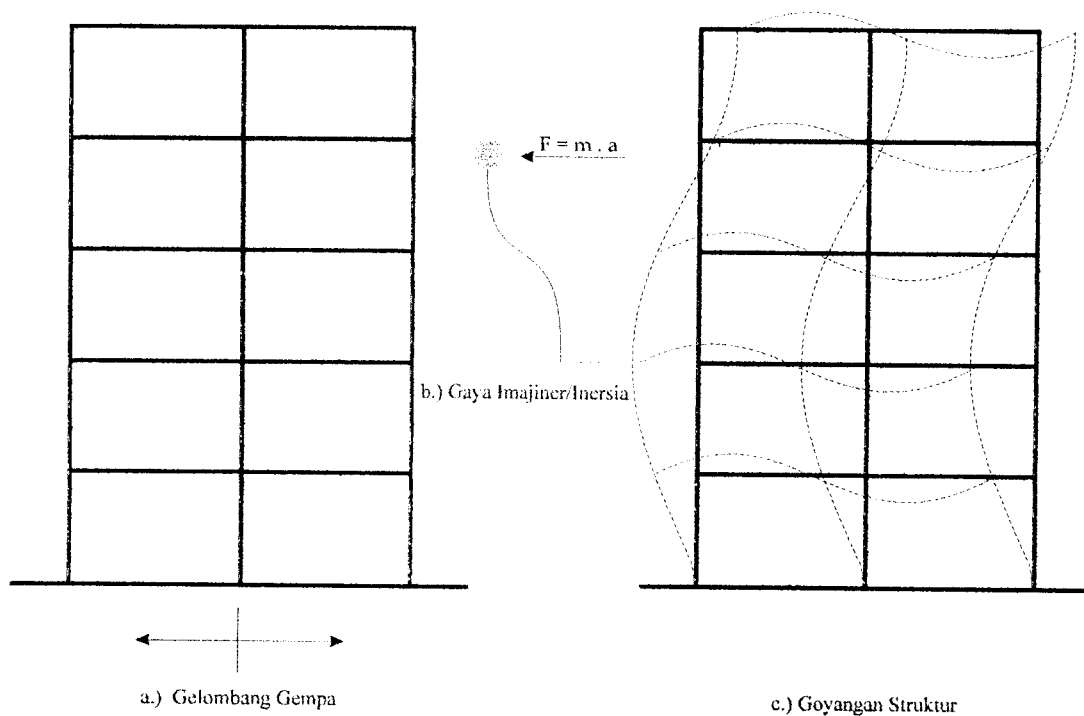
$$Y_1 = P * / K_1 \quad \longrightarrow \quad Y = Y_1 + Y_2 = (P / k_1) + (P / K_2)$$

$$Y = P * ((1/K_1) + (1/K_2)) \quad \longrightarrow \quad Y = P * (1/K_{eq})$$

$$1 / K_{eq} = (1/K_1) + (1/K_2) \quad \longrightarrow \quad \text{Untuk pegas seri}$$

$$1 / K_{eq} = \sum_{i=1}^{i=n} (1/K_i) \quad (2.4)$$

## 2.2 Pengertian Gaya Geser Dasar



Gambar 2.2 Goyangan Struktur akibat gelombang gempa pada tanah dasar

Gerakan tanah akibat beban gempa dipresentasikan oleh adanya gaya geser dasar  $V$ . Sesuai dengan hukum d'Alembert yang mengatakan bahwa " *Di dalam keseimbangan dinamika pada suatu masa yang bergerak terdapat gaya imajiner (fictitious force) atau gaya inersia yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan*". Maka pada masa  $m$  akan bekerja sebuah gaya inersia sebesar  $F = m.a$  yang berlawanan arah dengan arah gerakan (Mario Paz, 1987). Apabila gerakan tanah



ekivalen gaya geser dasar  $V$  arah kiri, maka gaya inersia mempunyai arah kekanan. Karena arah gerakan tanah akibat beban gempa berubah-ubah secara random sebagaimana ditunjukkan oleh *aselerogram* maka gaya inersia yang timbulpun akan berubah-ubah dengan arah yang berlawanan. Pada kondisi seperti itu maka struktur menjadi bergetar/bergoyang kekanan dan kekiri bergantung pada gerakan tanah akibat gempa. Jelaslah bahwa goyangan struktur akibat gempa adalah sebagai akibat dari adanya gaya inersia yang bekerja pada struktur.

### 2.3. Pengertian Momen Guling

Secara umum ukuran tinggi bangunan tahan gempa yang dapat dibuat, tidak ada batasnya. Jadi dapat saja dibuat bangunan yang setinggi-tingginya, tetapi yang menjadi ukuran kesetabilan bukanlah tinggi bangunan, melainkan tingkat kelangsingan dari bangunan, yaitu perbandingan antara tinggi dengan lebar struktur utama bangunan.

Bangunan yang tinggi tetapi kurang lebar berarti mempunyai kelangsingan cukup besar. Bangunan tinggi berarti akan menyebabkan Momen Guling (*Overtuning Moment*) yang besar. Apabila bangunan kurang lebar maka tegangan pada kolom akan semakin besar dan pada kenyataannya kolom luarlah yang paling menderita. Selain itu juga akan menyebabkan kesulitan pada struktur fondasi sehubungan dengan besarnya momen guling. Di dalam pendistribusian massa secara

vertikal, sebaiknya semakin keatas, masa tingkat semakin kecil, sehingga momen guling menjadi kecil.

Bangunan-bangunan yang menjorok ke depan dengan kantilever, pada kenyataannya sangat dibatasi oleh PPTGIUG 1983. Dengan tujuan agar perilaku bangunan terhadap gempa tidak menjadi jelek. Karena pada bagian kantilever yang panjang, kenyataan selain bergetar ke arah mendatar, juga bergetar ke arah vertikal, sehingga analisa dinamikanya harus ditinjau dua arah, sedangkan hal ini tidaklah mudah.

#### **2.4. Pengertian Masa**

Berdasarkan hukum Newton II, masa adalah gaya berbanding terbalik dengan percepatan. Di dalam desain struktur, biasanya semua batang direncanakan sedemikian rupa sehingga mempunyai potongan prismatis sepanjang batang, baik pada kolom maupun pada balok. Dengan batang seperti itu, maka berat sendiri batang akan sama setiap satuan panjang atau berat sendiri akan terdistribusi secara merata diseluruh luasan lantai yang diperhitungkan (Widodo, 1997). Berat sendiri dan beban berguna merupakan beban gravitasi dari struktur yang bersangkutan.

Dengan beban yang terbagi merata disepanjang balok, maka struktur akan mempunyai derajat kebebasan yang jumlahnya tak terhingga, dan hal ini akan menyulitkan dalam proses analisisnya. Suatu penyederhanaan yang biasa dipakai adalah bahwa masa struktur dianggap tergumpal pada sebuah titik (*lump mass*) atau beberapa titik. Dengan anggapan seperti itu, analisis menjadi sederhana karena gaya inersia dan respon parameter hanya bekerja dan diperhitungkan pada masa tersebut.

## BAB III

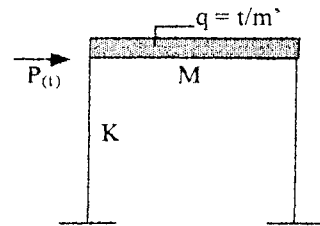
### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Prinsip Bangunan Geser

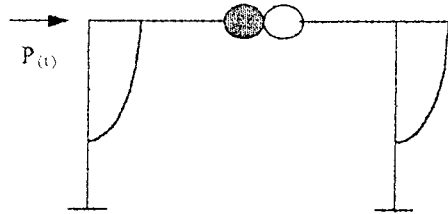
Pada prinsip Bangunan Geser (*Shear Building*) balok lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun setelah terjadi penggoyangan. Adanya pelat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip bangunan tahan gempa, dikehendaki agar kolom lebih kuat dibanding dengan balok. Namun demikian rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Dengan prinsip *Shear Building* ini, maka memungkinkan pemakaian *lump mass model*.

Prinsip Bangunan Geser mempunyai anggapan atau peyederhanaan, sebagai berikut :

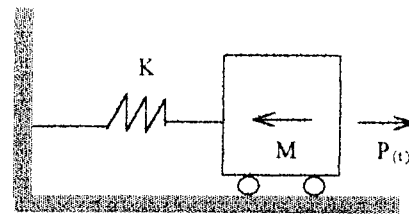
1. Masa dari struktur termasuk beban yang harus didukung dianggap terkonsentrasi pada satu titik (*lump mass*) dan kolom dianggap tidak bermasa. Hal ini bertujuan agar struktur yang terdiri atas terhingga derajat kebebasan berkurang menjadi beberapa derajat kebebasan saja.



a. Struktur yang sesungguhnya



b. Asumsi Penyederhanaan



c. Model Matematik

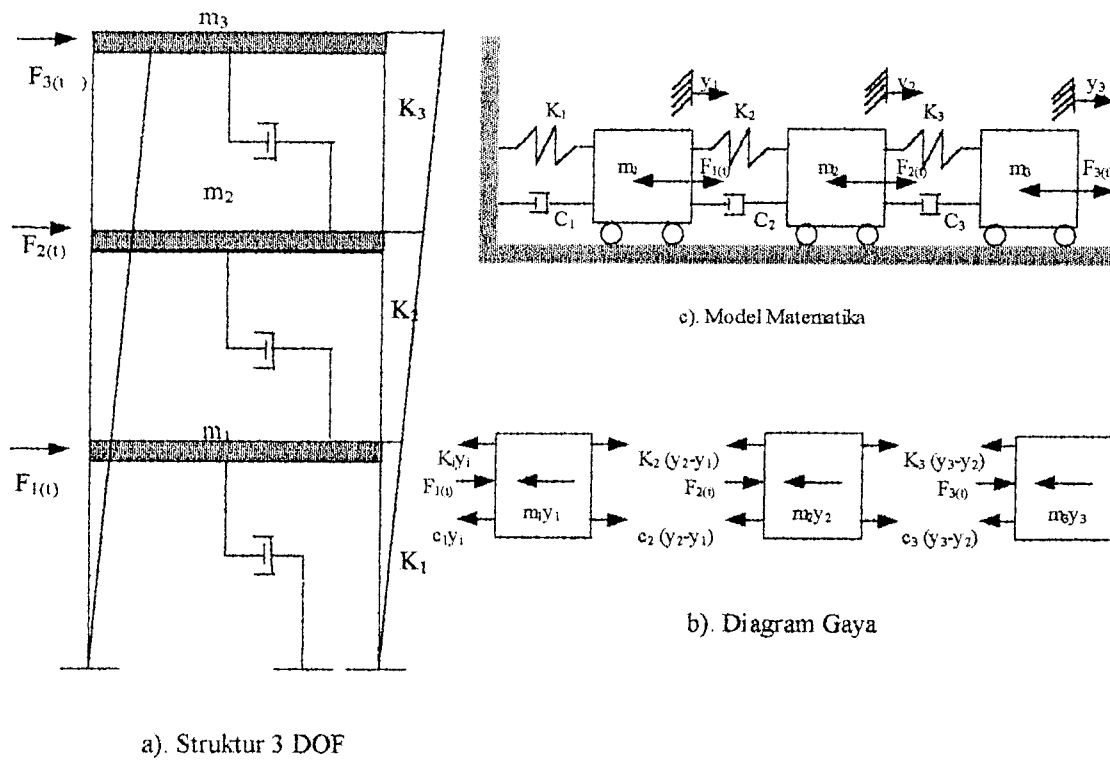
Gambar. 3.1 Penerapan *lump mass* model pada struktur SDOF

2. Balok dan pelat lantai dianggap relatif sangat kaku dibanding kolom. Hal ini berarti bahwa " *Beam Column Joint* " mampu menahan rotasi (joint tidak berotasi) dan simpangan masa hanya kearah horisontal tanpa adanya puntir (masa momen inersia dianggap tidak ada).
3. Simpangan masa dianggap tidak dipengaruhi oleh beban aksial kolom. Hal ini dan ditambah dengan anggapan diatas, berarti bahwa balok harus tetap horisontal setelah terjadi penggoyangan.

Dengan anggapan-anggapan tersebut, portal seolah-olah menjadi bangunan kantilever yang bergoyang akibat Gaya Lintang saja.

### 3.2. Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (*“Multi Degree Of Freedom, MDOF“*)

Secara umum struktur bangunan gedung tidaklah selalu dapat dinyatakan di dalam suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (*Single Degree Of Freedom*) atau yang disingkat SDOF. Dalam kenyataannya banyak dijumpai struktur bangunan gedung yang mempunyai derajat kebebasan banyak (*Multi Degree Of Freedom*) atau yang disingkat MDOF. Struktur seperti pada cerobong asap atau struktur lain yang mirip merupakan struktur yang mempunyai bentuk fisik kontinyu, maka pada struktur-struktur seperti itu akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga, walaupun kadang-kadang dianggap sebagai struktur yang mempunyai derajat kebebasan terbatas. Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak masa struktur dapat dianggap sebagai gumpalan terpusat pada tiap-tiap muka lantai-tingkat. Dengan demikian analisa bangunan gedung bertingkat banyak menjadi lebih sederhana karena struktur yang tadinya mempunyai derajat kebebasan tak terhingga dirubah menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas.



Gambar. 3.2 Penerapan *lump mass model* pada struktur 3 DOF dengan memperhatikan redaman struktur (c)

Pada struktur bangunan gedung bertingkat 3 seperti pada gambar, maka struktur akan mempunyai 3 derajat kebebasan. Sering jumlah kebebasan dihubungkan secara langsung dengan jumlahnya tingkat. Struktur yang mempunyai  $n$  tingkat akan mempunyai  $n$  derajat kebebasan dan mempunyai  $n$  mode. Persamaan diferensial gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut *first mode* atau model pertama, seperti yang tampak pada garis putus-putus pada gambar diatas.

Berdasarkan keseimbangan dinamika seperti pada gambar 3.2b, maka akan diperoleh

$$(m_1 \ddot{y}_1) + (c_1 \dot{y}_1) + (k_1 y_1) - (c_2(y_2 - \dot{y}_1)) - (k_2(y_2 - y_1)) - F_1(t) = 0 \tag{3.2a}$$

$$(m_2 \ddot{y}_2) + (c_2(y_2 - \dot{y}_1)) + (k_2(y_2 - y_1)) - (c_3(y_3 - \dot{y}_1)) - (k_3(y_3 - y_2)) - F_2(t) = 0 \tag{3.2b}$$

$$(m_3 \ddot{y}_3) + (c_3(y_3 - \dot{y}_2)) + (k_3(y_3 - y_2)) - F_3(t) = 0 \tag{3.2c}$$

Dari Persamaan (3.2), diatas tampak bahwa untuk mencapai keseimbangan dinamika suatu masa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman dan simpangan masa sebelum dan sesudah masa/tingkat yang ditinjau. Dengan menyusun persamaan diatas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan), maka diperoleh :

$$(m_1 \ddot{y}_1) + ((c_1 + c_2) \dot{y}_1) - (c_2 \dot{y}_2) + ((k_1 + k_2) y_1) - (k_2 y_2) - F_1(t) = 0 \tag{3.2d}$$

$$(m_2 \ddot{y}_2) - (c_2 \dot{y}_1) + ((c_2 + c_3) \dot{y}_2) - (c_3 \dot{y}_3) - (k_2 y_1) + ((k_2 + k_3) y_2) - (k_3 y_3) - F_2(t) = 0$$

..... (3.2b)

$$(m_3 \ddot{y}_3) - (c_3 \dot{y}_2) + (c_3 \dot{y}_3) - (k_3 y_2) + (k_3 y_3) - F_3(t) = 0 \tag{3.2c}$$

selanjutnya Persamaan (3.2) dapat ditulis dalam bentuk matriks menjadi :

$$[M] \left\{ \ddot{y} \right\} + [C] \left\{ \dot{y} \right\} + [K] \left\{ y \right\} = \left\{ F(t) \right\} \tag{3.2g}$$



Yang mana matriks masa, redaman dan damping masing-masing adalah :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

Kemudian  $\{\ddot{y}\}$ ,  $\{\dot{y}\}$ ,  $\{y\}$  dan  $\{F(t)\}$  masing-masing disebut vektor percepatan,

vektor kecepatan, vektor simpangan dan vektor beban atau

$$\begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \begin{Bmatrix} y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix}, \quad \text{dan} \quad \begin{Bmatrix} F(t) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}$$

### 3.2.1. Nilai Karakteristik (*Eigen Problem*)

Pada umumnya suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar, misalnya akibat beban angin, akibat putaran mesin ataupun akibat beban gerakan tanah/gempa. Getaran seperti ini dikelompokan sebagai getaran paksa (*forced vibration system*) sedangkan getaran bebas atau free vibration system pada kenyataannya jarang terjadi pada struktur MDOF, tetapi membahas jenis getaran ini diperoleh suatu besaran/karakteristik dari struktur yang bersangkutan, yang

selanjutnya akan berguna pada pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya. Besaran-besaran tersebut terutama adalah frekuensi sudut dan normal mode.

Pada getaran bebas struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka persamaan diferensial gerakannya adalah seperti pada persamaan 3.2.g. dengan nilai  $\{F(t)\}$  sama dengan nol atau

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{0\} \quad (3.2.1a)$$

Frekuensi pada struktur dengan redaman (damped frequency) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman apabila nilai damping rasio cukup kecil. Apabila hal ini diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka untuk nilai  $[C] = 0$ , persamaan 3.2.1a. akan menjadi.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = \{0\} \quad (3.2.1b)$$

Karena persamaan 3.2.1b. adalah persamaan diferensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman, maka seperti penyelesaian persamaan diferensial yang sejenis, penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk

$$\begin{aligned}
Y &= \{\phi\}_j \sin(\omega t) \\
\dot{Y} &= -\omega \{\phi\}_j \cos(\omega t) \\
\ddot{Y} &= -\omega^2 \{\phi\}_j \sin(\omega t)
\end{aligned}
\tag{3.2.1c}$$

Dimana  $\{\phi\}_j$  adalah suatu ordinat masa pada mode ke-j. Substitusi persamaan 3.2.1c ke dalam persamaan 3.2.1b, selanjutnya akan diperoleh

$$\begin{aligned}
-\omega^2 [M] \{\phi\}_j \sin(\omega t) + [K] \{\phi\}_j \sin(\omega t) &= 0 \\
\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\}_j &= 0
\end{aligned}
\tag{3.2.1.d}$$

Persamaan (3.2.1d) adalah persamaan eigen problem

Persamaan simultan baik persamaan yang homogen maupun persamaan yang tidak homogen dapat diselesaikan dengan memakai dalil atau hukum *Cramer* (1704 – 1752), seorang ahli matematika bangsa Swiss. Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor  $\{\phi_j\}$  adalah nol, sehingga :

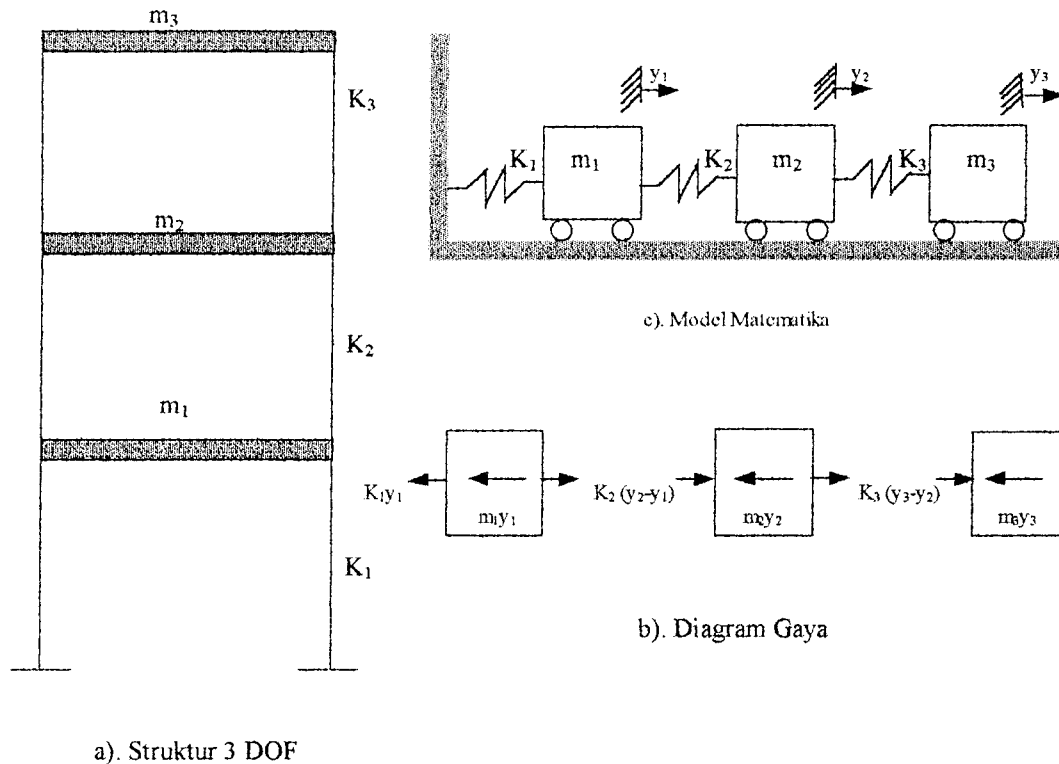
$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \tag{3.2.1.e}$$

Jumlah mode pada struktur dengan derajat kebebasan banyak biasanya dapat dihubungkan dengan jumlah masa. Mode itu sendiri adalah jenis/pola/ragam getaran/goyangan suatu struktur bangunan. Mode ini hanya merupakan fungsi dari

properti dinamika dari struktur yang bersangkutan (dalam hal ini adalah masa dan kekakuan tingkat) dan bebas dari pengaruh waktu serta frekuensi getaran. Dengan adanya hubungan antara jumlah mode dengan jumlah masa struktur, maka bangunan yang mempunyai 5 tingkat misalnya, akan mempunyai 5 derajat kebebasan dan akan memiliki 5 jenis mode gerakan serta akan memiliki 5 nilai frekuensi sudut yang berhubungan langsung dengan jenis/nomor modenya. Apabila jumlah derajat kebebasan adalah  $n$ , maka Persamaan (3.2.1e) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat  $n$  yang selanjutnya akan menghasilkan  $\omega_j^2$  untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Selanjutnya substitusi masing-masing frekuensi  $\omega_j$  kedalam Persamaan (3.2.1d) akan diperoleh nilai-nilai  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ .

### 3.2.2. Frekuensi Sudut ( $\omega$ ) dan Normal Mode

Setiap struktur yang dikenai beban dinamik akan mengalami goyangan. Untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak, maka struktur yang bersangkutan akan mempunyai banyak ragam atau pola goyangan. Normal modes adalah suatu istilah yang sering dipakai pada problem dinamika struktur, dan kata tersebut diterjemahkan sebagai ragam/pola goyangan. Suatu persamaan diferensial gerakan dapat diperoleh dengan memperhatikan diagram gaya atau *free body diagram*. Untuk menghitung sekaligus menggambar normal mode, maka diambil sebuah model struktur 3 DOF seperti pada gambar berikut :



Gambar. 3.2 Penerapan *lump mass model* pada struktur 3 DOF

$$(m_1 \ddot{y}_1) + (k_1 y_1) - (k_2 (y_2 - y_1)) = 0$$

$$(m_2 \ddot{y}_2) + (k_2 (y_2 - y_1)) - (k_3 (y_3 - y_2)) = 0$$

$$(m_3 \ddot{y}_3) + (k_3 (y_3 - y_2)) = 0 \quad (3.2.2a)$$

Persamaan (3.2.2.a) dapat ditulis dalam bentuk sederhana yaitu :

$$(m_1 \ddot{y}_1) + ((k_1 + k_2) y_1) - (k_2 y_2) = 0$$

$$(m_2 \ddot{y}_2) - (k_2 y_1) + ((k_2 + k_3) y_2) - (k_3 y_3) = 0$$

$$(m_3 \ddot{y}_3) - (k_3 y_2) + (k_3 y_3) = 0 \quad (3.2.2b)$$

Persamaan (3.2.2.b) dapat ditulis dalam bentuk matriks yaitu :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - k_3 & \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.2.2)$$

Selanjutnya persamaan eigen problem atas Persamaan (3.2.2.b) adalah

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 - \omega^2 m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.2.2.d)$$

Dengan  $\phi_i$  adalah suatu nilai/ordinat yang berhubungan dengan masa ke-i pada ragam/pola goyangan ke-j. Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa Persamaan (3.2.2.c) akan ada penyelesaiannya apabila dipenuhi nilai determinan sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 - \omega^2 m_3 \end{bmatrix} = 0 \quad (3.2.2.e)$$

Apabila Persamaan (3.2.2.e) tersebut diteruskan maka nilai determinannya adalah

$$(k_3(k_2 + k_3)) \{ (k_1 + k_2) - \omega^2 \} - (k_1 + k_2) \{ (k_3 m_2 \omega^2) + ((k_2 + k_3) m_3 \omega^2) - (m_2 m_3 \omega^4) + k_3^2 \} - \omega^4 \{ (k_3 m_1 m_2) - ((k_2 + k_3) m_1 m_3) + (m_1 m_2 m_3 \omega^2) \} + k_2^2 (k_3 - \omega^2 m_3) + m_1 \omega^2 k_3^2 = 0 \quad (3.3.2.f)$$

Nilai yang akan dicari adalah nilai percepatan sudut  $\omega$ .

Struktur 3 tingkat atau struktur dengan 3 derajat kebebasan akan mempunyai 3 nilai frekuensi sudut. Frekuensi sudut  $\omega_1$  adalah frekuensi sudut untuk mode ke-1 atau pola/ragam goyangan ke-1, sedangkan  $\omega_2$  adalah frekuensi sudut untuk mode ke-2 dan  $\omega_3$  adalah frekuensi sudut untuk mode ke-3. Substitusi nilai  $\omega_j$  kedalam Persamaan (3.2.2.d) akan diperoleh nilai/koordinat yang berhubungan dengan suatu masa pada setiap pola goyangan umumnya dapat ditulis dalam bentuk baku,  $\phi_{ij}$

Dengan indeks  $i$  menunjukkan masa dan indeks  $j$  menunjukkan nomor ragam/pola goyangan, dengan demikian  $\phi_{ij}$  adalah suatu koordinat yang berhubungan dengan masa ke- $i$  pada ragam/pola goyangan ke- $j$ . Substitusi  $\omega_1$  ke dalam Persamaan (3.2.2.d) akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk ragam/pola goyangan ke-1, Substitusi  $\omega_2$  akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk ragam/pola goyangan ke-2, dan Substitusi  $\omega_3$  akan diperoleh nilai-nilai koordinat untuk ragam/pola goyangan ke-3. Sehingga dapat ditulis dalam bentuk matriks yang umumnya disebut dengan modal matriks.

$$\phi_{ij} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{bmatrix} \quad (3.2.2.g)$$

Dengan diperolehnya nilai-nilai frekuensi sudut untuk tiap-tiap mode, maka akan diperoleh nilai periode getar  $T$  tiap-tiap mode yaitu

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} \quad T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} \quad (3.2.2h)$$

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} \quad \omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} \quad \omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} \quad (3.2.2i)$$

Nilai-nilai bentuk ragam/pola ragam atau *mode shapes*  $\phi_{ij}$  tidak tergantung pada beban luar, melainkan hanya tergantung pada properti fisik struktur, misalnya masa  $m_i$  dan kekakuan tingkat  $k_i$ . Selain itu nilai-nilai mode shapes juga tidak dipengaruhi oleh waktu, artinya nilai-nilai tersebut akan tetap, asal nilai-nilai masa dan kekakuan tingkatnya tidak berubah. Karena nilai kekakuan tingkat  $k_i$  tidak berubah-ubah, maka *mode shapes* merupakan nilai untuk struktur yang bersifat elastik. Dan juga nilai *mode shapes* tidak dipengaruhi oleh frekuensi beban. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai-nilai *mode shapes* adalah :

- a. bebas dari pengaruh redaman,
- b. bebas dari pengaruh waktu,
- c. bebas dari pengaruh frekuensi beban, dan
- d. hanya untuk struktur yang elastik.

### 3.3. Gaya Geser Dasar

Menghitung gaya horisontal tingkat dengan prinsip elastik analitis untuk problema dinamika struktur bahwa simpangan horisontal, gaya horisontal tingkat dan momen tingkat adalah elastik respon penting yang selalu dicari. Persamaan gaya



horizontal tingkat atau gaya horizontal maksimum yang bekerja pada suatu massa akibat kontribusi dari mode ke-j.

$$F_j = M \phi \frac{P_j^*}{M_j^*} C g \quad (3.2a)$$

Dimana,  $F_j$  = Gaya horizontal tiap mode

$M$  = Matriks masa

$\phi_j$  = Nilai koordinat tiap pola/ragam goyangan/mode ke-j

$$P_j^* = (\phi)_j^T [M] \{1\}$$

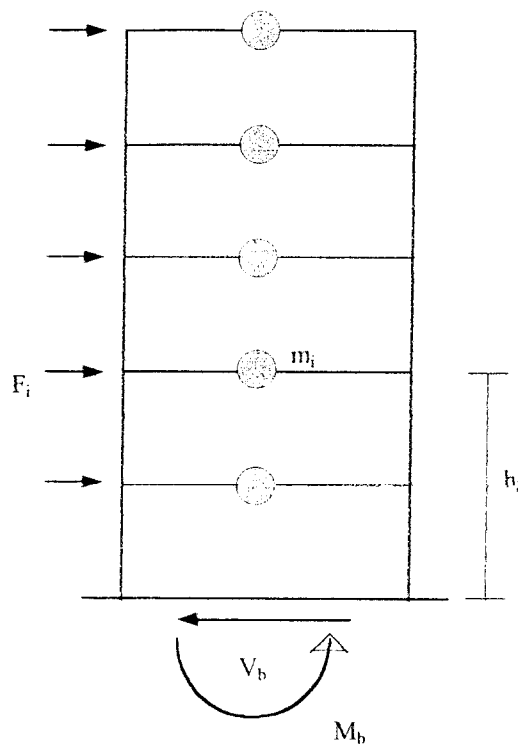
$$M_j^* = (\phi)_j^T [M] \{\phi\}_j$$

$C$  = Koefisien gempa dasar

$g$  = Percepatan gravitasi

Sedangkan gaya geser dasar merupakan jumlah dari hasil penjumlahan gaya horizontal tingkat tiap mode.

### 3.4. Momen Guling



Gambar. 3.4 Hubungan antara momen guling dan gaya geser dasar

Momen guling pada gedung bertingkat banyak adalah :

$$M_b = \sum_{i=1}^N F_i \cdot h_i \quad (3.4.1)$$

dimana,  $M_b$  = momen guling dasar

$V_b$  = gaya geser dasar

$F_i$  = gaya horisontal tingkat ke- $i$

$h_i$  = tinggi tingkat ke- $i$

$N$  = jumlah lantai

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas perencanaan penelitian yang diajukan. Metode yang dipergunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### **4.1 Pegumpulan Data Tata Letak Dan Fungsi Struktur**

Pada penelitian tugas akhir ini ditinjau suatu struktur yang berfungsi sebagai gedung perkantoran, dengan data sebagai berikut :

1. Gedung dianggap masuk dalam wilayah gempa 2
2. Gedung terdiri dari 5 lantai/tingkat
3. Beban yang bekerja adalah beban hidup dan beban mati
4. Gedung berdiri diatas tanah keras

Data-data dalam penulisan tugas akhir ini mengacu pada buku-buku, pendapat dan teori-teori yang berhubungan. Sedangkan data input gedung yang ditinjau, diperoleh dari tugas akhir yang menulis perencanaan ulang gedung Ltd. PT. Silkar.

## 4.2 Pengolahan dan Analisis Data

Setelah data terkumpul maka dilakukan pengolahan dan analisis data dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- menghitung masa tiap lantai/tingkat ( $m_i$ ),
- menghitung inersia kolom ( $I$ ),
- menghitung kekakuan kolom ( $K$ ),
- membuat persamaan eigen problem,
- menghitung frekuensi sudut ( $\omega$ ),
- menghitung waktu getar alami ( $T$ ),
- menentukan koefisien gempa dasar ( $C$ ),
- menghitung mode shape ( $\phi_j$ ),
- menghitung partisipasi tiap mode ( $\Gamma_j$ ),
- menghitung simpangan horisontal tiap mode ( $Y_j$ ),
- menghitung gaya horisontal tiap mode ( $F_j$ ),
- menghitung simpangan horisontal total ( $Y$ ),
- menghitung gaya horisontal tingkat ( $F$ ),
- menghitung gaya geser dasar ( $V_b$ ),
- menghitung momen guling ( $M_b$ ).

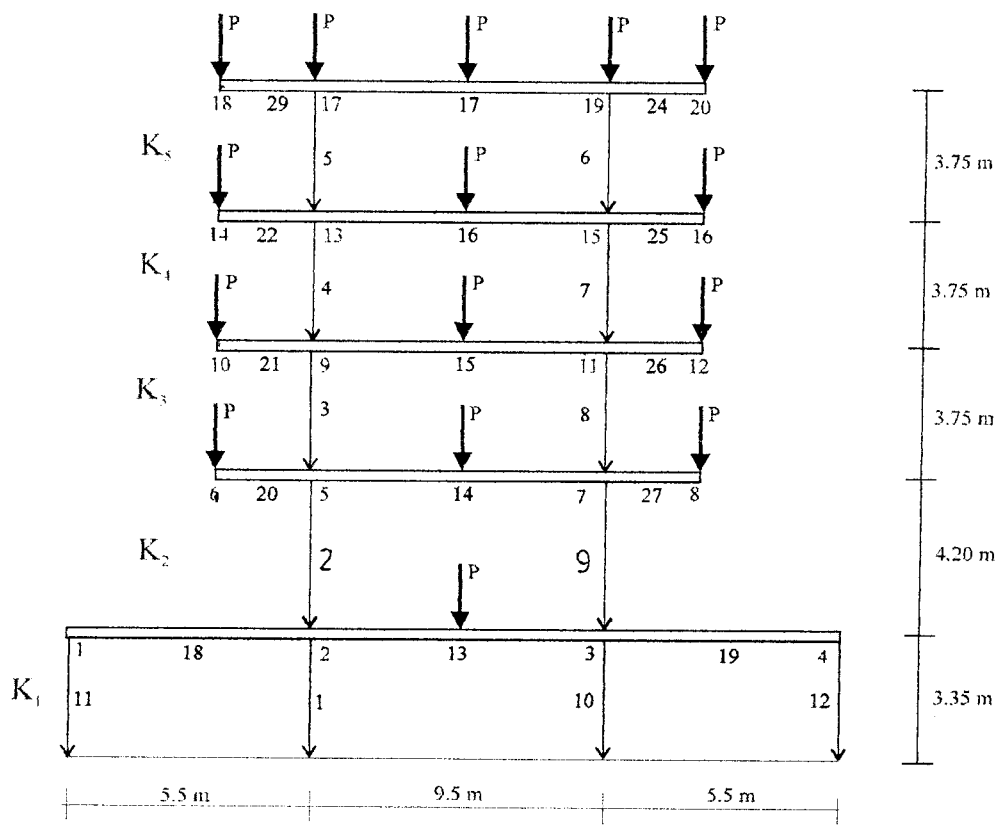
### **4.3. Pembahasan**

Pembahasan yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini meliputi pengaruh pengurangan kekangan jepit pada lantai dasar terhadap nilai gaya geser tingkat/dasar, momen guling dasar dan simpangan horisontal tingkat. Perubahan kekangan jepit ini ditinjau sampai 10 % dengan interval 10 %.

## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pembebanan Struktur



Gambar. 5.1. Pembebanan Struktur

## 5.1.1 Beban Mati

Element	B. merata ( kg/m <sup>2</sup> )
13	1573.33
14,15,16	2534.17
17	2371.11
18	4788
19	5471.4
20,21,22	2257.5
23	1977.5
24	1390.0
25,26,27	1327.5

Element	B. Terpusat ( kg )
13	12518.3
14,15,16	12753.2
17	11992.2

Nodal	B. Terpusat ( kg )
2,3	4733.4
5,7,9	4226.25
11,13,15	4226.25
6,10,14	6152.9
8,12,16	7737.9
17,19	2037.5
18	5812.7
20	4692.6

## 5.1.2 Beban Hidup

Element	B. merata ( kg/m <sup>2</sup> )
13	722.2
14,15,16	556
17	5778
18	1504
19	1301.4
20,21,22	312.5
23	231.25
24	100
25,26,27	100

Element	B. Terpusat ( kg )
13	7275.3
14,15,16	5596.4
17	5820.4

Nodal	B. Terpusat ( kg )
6,10,14	1230.21
8,12,16	570.33
18	910.24
17,19	2256.3
20	708.95



## 5.2 Perhitungan masa dan kekakuan tingkat

### 5.2.1. Perhitungan masa tingkat

- Masa balok tingkat 1 ( $m_1$ )

$$m_1 = W_1 / g$$

Beban mati	: (4788 . 5.5) + (1573.33 . 9) + (5471.4 . 5.5)	= 70586.67	kg
	(12518.3) + (4733.4 . 2)	= 21985.1	kg
Beban hidup	: (1504 . 5.5) + (722.2 . 9) + (1301.4 . 5.5)	= 21929.5	kg
	(7275.3)	= 7275.3	kg
		= 121776.57	kg
	Beban Total		

$$m_1 = 121776.57 / 9.81 = 12413.52 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 13.000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

- Masa balok tingkat 2 ( $m_2$ )

$$m_2 = W_2 / g$$

Beban mati	: (2534.17 . 9) + (2257.5 . 2) + (1627.5 . 2)	= 30577.53	kg
	12753.2 + (4226.25 . 2) + 6152.9 + 7737.9	= 35096.5	kg
Beban hidup	: (556 . 9) + (315.5 . 2) + (100 . 2)	= 5829	kg
	5596.4 + 1230.21 + 570.33	= 7396.94	kg
		= 78899.97	kg
	Beban Total		

$$m_2 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8.100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

- Masa balok tingkat 3 ( $m_3$ )

$$m_3 = W_3 / g$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati} & : (2534.17 \cdot 9) + (2257.5 \cdot 2) + (1627.5 \cdot 2) & = 30577.53 \text{ kg} \\
 & 12753.2 + 6152.9 + 7739.9 + (4226.25 \cdot 2) & = 35096.5 \text{ kg} \\
 \text{Beban hidup} & : (556 \cdot 9) + (312.5 \cdot 2) + (100 \cdot 2) & = 5829 \text{ kg} \\
 & 1230.21 + 570.33 + 5596.4 & = 7396.94 \text{ kg} \\
 & & \hline
 \text{Beban Total} & & = 78899.97 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$m_3 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8.100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

- Masa balok tingkat 4 ( $m_4$ )

$$m_4 = W_4 / g$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati} & : (2534.17 \cdot 9) + (2257.5 \cdot 2) + (1627.5 \cdot 2) & = 30577.53 \text{ kg} \\
 & 12753.2 + (4226.25 \cdot 2) + 6152.9 + 7737.9 & = 35096.5 \text{ kg} \\
 \text{Beban hidup} & : (556 \cdot 9) + (312.5 \cdot 2) + (100 \cdot 2) & = 5829 \text{ kg} \\
 & 5596.4 + 1230.21 + 570.33 & = 7275.3 \text{ kg} \\
 & & \hline
 \text{Beban Total} & & = 78899.97 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$m_4 = 78899.97 / 9.81 = 8042.81 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 8.100 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

- Masa balok tingkat 5 ( $m_5$ )

$$m_5 = W_5 / g$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati} & : (2371.11 \cdot 9) + (1977.5 \cdot 2) + (1390 \cdot 2) & = 28074.99 \text{ kg} \\
 & 11992.2 + (2037.5 \cdot 2) + 5812.7 + 4692.6 & = 26572.5 \text{ kg} \\
 \text{Beban hidup} & : (557.8 \cdot 9) + (231.25 \cdot 2) + (100 \cdot 2) & = 5862.7 \text{ kg} \\
 & 5820.4 + (2256.3 \cdot 2) + 910.24 + 708.95 & = 11952.19 \text{ kg} \\
 & & \hline
 \end{aligned}$$

### 5.2.2 Perhitungan nilai kekakuan tingkat

$$\text{Inersia : untuk dimensi } 70/70 \rightarrow I_x = 1/12 (0.7)^4 = 0.02 \text{ m}^4$$

$$35/35 \rightarrow I_x = 1/12 (0.35)^4 = 0.00125 \text{ m}^4$$

$$\text{Perhitungan kekakuan, dengan nilai } E = 2.10^5 \text{ kg/cm}^2 = 2.10^9 \text{ kg/m}^2$$

$$K_1 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.35)^3 = 12.767.527,92 \text{ kg/m}$$

$$\approx 13.000.000 \text{ kg/m}$$

$$K_{1'} = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.00125 / (3.35)^3 = 797.970,495 \text{ kg/m}$$

$$\approx 800.000 \text{ kg/m}$$

$$K_2 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (4.2)^3 = 6.478.781,989 \text{ kg/m}$$

$$\approx 6.500.000 \text{ kg/m}$$

$$K_3 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$K_4 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$K_5 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

### Perhitungan kekakuan tingkat

$$K_1 = (13.000.000 \cdot 2) + (800.000 \cdot 2) = 27.600.000 \text{ kg/m}$$

$$K_2 = (6.500.000 \cdot 2) = 13.000.000 \text{ kg/m}$$

$$K_3 = (9.100.000 \cdot 2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$K_4 = (9.100.000 \cdot 2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban Total} = 72462.19 \text{ kg}$$

$$m_s = 72462.19 / 9.81 = 7386.58 \text{ kg dt}^2/\text{m} \approx 7.400 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

### 5.2.2 Perhitungan nilai kekakuan tingkat

$$\text{Inersia : untuk dimensi } 70/70 \rightarrow I_x = 1/12 (0.7)^4 = 0.02 \text{ m}^4$$

$$35/35 \rightarrow I_y = 1/12 (0.35)^4 = 0.00125 \text{ m}^4$$

$$\text{Perhitungan kekakuan, dengan nilai } E = 2.10^9 \text{ kg/cm}^2 = 2.10^9 \text{ kg/m}^2$$

$$K_1 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.35)^3 = 12.767.527,92 \text{ kg/m}$$

$$\approx 13.000.000 \text{ kg/m}$$

$$K_1' = 12 E I_y / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.00125 / (3.35)^3 = 797.970,495 \text{ kg/m}$$

$$\approx 800.000 \text{ kg/m}$$

$$K_2 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (4.2)^3 = 6.478.781,989 \text{ kg/m}$$

$$\approx 6.500.000 \text{ kg/m}$$

$$K_3 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$K_4 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

$$K_5 = 12 E I_x / h^3 = 12 \cdot 2.10^9 \cdot 0.02 / (3.75)^3 = 9.102.222,22 \text{ kg/m}$$

$$\approx 9.100.000 \text{ kg/m}$$

### Perhitungan kekakuan tingkat

$$K_1 = (13.000.000 \cdot 2) + (800.000 \cdot 2) = 27.600.000 \text{ kg/m}$$

$$K_2 = (6.500.000 \cdot 2) = 13.000.000 \text{ kg/m}$$

$$K_3 = (9.100.000 \cdot 2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$K_4 = (9.100.000 \cdot 2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

$$K_5 = (9.100.000 \cdot 2) = 18.200.000 \text{ kg/m}$$

Setelah melalui proses perhitungan, ternyata struktur gedung yang ditinjau memiliki periode waktu getar alami dengan nilai koefesien gempa dasar ( C ) yang sama untuk semua mode. Untuk membuat periode waktu getar struktur yang bervariasi dapat dilakukan dengan cara memperbesar nilai masa tingkat atau memperkecil kekakuan tingkat. Dalam penelitian ini, diambil cara pembesaran masa tingkat sampai 15 kali dari masa tingkat asli, sehingga diperoleh masa tingkat yang baru seperti dibawah ini :

masa tingkat ( $m_i$ )	kekakuan tingkat ( $k_i$ )
$m_1 = 195.000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27.600.000 \text{ kg/m}$
$m_2 = 121.500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13.000.000 \text{ kg/m}$
$m_3 = 121.500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18.200.000 \text{ kg/m}$
$m_4 = 121.500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18.200.000 \text{ kg/m}$
$m_5 = 111.000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18.200.000 \text{ kg/m}$

Untuk mempermudah penghitungan maka dibuat unit satuan sebagai berikut :

- Unit masa :  $100.000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$
- Unit kekakuan :  $10.000.000 \text{ kg/m}$

Matriks masa dan kekakuan

Matriks masa [ M ]

$$[M] = \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan [ K ]

$$[K] = \begin{bmatrix} 4.06 & -1.30 & 0 & 0 & 0 \\ -1.30 & 3.12 & -1.82 & 0 & 0 \\ 0 & -1.82 & 3.64 & -1.82 & 0 \\ 0 & 0 & -1.82 & 3.64 & -1.82 \\ 0 & 0 & 0 & -1.82 & 1.82 \end{bmatrix}$$

Persamaan eigen problem

$$\begin{bmatrix} 4.06k - 1.95\omega^2 m & -1.30k & 0 & 0 & 0 \\ -1.30k & 3.12k - 1.215\omega^2 m & -1.82k & 0 & 0 \\ 0 & -1.82k & 3.64k - 1.215\omega^2 m & -1.82k & 0 \\ 0 & 0 & -1.82k & 3.64k - 1.215\omega^2 m & -1.82k \\ 0 & 0 & 0 & -1.82k & 1.82k - 1.1k\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

atau dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4.06 - 1.95 \frac{\omega^2}{k/m} & -1.30 & 0 & 0 & 0 \\ -1.30 & 3.12 - 1.215 \frac{\omega^2}{k/m} & -1.82 & 0 & 0 \\ 0 & -1.82 & 3.64 - 1.215 \frac{\omega^2}{k/m} & -1.82 & 0 \\ 0 & 0 & -1.82 & 3.64 - 1.215 \frac{\omega^2}{k/m} & -1.82 \\ 0 & 0 & 0 & -1.82 & 1.82 - 1.11 \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dengan  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$ , maka matriks diatas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 4.06 - 1.95\lambda & -1.30 & 0 & 0 & 0 \\ -1.30 & 3.12 - 1.215\lambda & -1.82 & 0 & 0 \\ 0 & -1.82 & 3.64 - 1.215\lambda & -1.82 & 0 \\ 0 & 0 & -1.82 & 3.64 - 1.215\lambda & -1.82 \\ 0 & 0 & 0 & -1.82 & 1.82 - 1.11\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Fungsi  $[\phi_i]$  / persamaannya dinormalisasikan menjadi

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 3.123077 - 1.5 \lambda$$

$$\phi_3 = 4.63956 - 4.65634\lambda + 1.001374\lambda^2$$

$$\phi_4 = 6.156043 - 10.90997\lambda + 5.111238\lambda^2 + 0.6684905\lambda^3$$

$$\phi_5 = 7.672526 - 21.27326\lambda + 16.5044\lambda^2 - 4.749172\lambda^3 + 0.4462786\lambda^4$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$-0.4954\lambda^5 + 6.083808\lambda^4 - 25.74671\lambda^3 + 44.34888\lambda^2 - 27.3777\lambda + 2.759999 = 0$$

Dengan menggunakan metode *setengah interval*, didapat nilai akar-akarnya sebagai berikut :

$$\lambda_1 = 0.123966, \lambda_2 = 1.073561, \lambda_3 = 2.202490, \lambda_4 = 3.598050, \text{ dan } \lambda_5 = 5.282531$$

Dari nilai-nilai  $\lambda$  tersebut, maka diperoleh nilai frekuensi sudut seperti dibawah ini :

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = \sqrt{0.123966 \frac{10E6}{10E4}} = 3.521 \text{ rad/dt}, \text{ maka } T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 1.784 \text{ dt}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = \sqrt{1.073561 \frac{10E6}{10E4}} = 10.361 \text{ rad/dt}, \text{ maka } T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.606 \text{ dt}$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = \sqrt{1.073561 \frac{10E6}{10E4}} = 14.841 \text{ rad/dt}, \text{ maka } T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0.423 \text{ dt}$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = \sqrt{3.598050 \frac{10E6}{10E4}} = 18.969 \text{ rad/dt}, \text{ maka } T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0.331 \text{ dt}$$

$$\omega_5 = \sqrt{\lambda_5 \frac{k}{m}} = \sqrt{5.282531 \frac{10E6}{10E4}} = 22.984 \text{ rad/dt}, \text{ maka } T_5 = \frac{2\pi}{\omega_5} = 0.273 \text{ dt}$$

Nilai koefesien gempa dasar didapat dari grafik hubungan antara periode (T) vs koefesien gempa dasar (C) pada buku “ Pedoman Perencanaan Untuk struktur Beton Bertulang biasa dan Struktur Tembok bertulang untuk gedung 1983 “ dengan wilayah gempa 2 dan tanah keras,

Dengan  $T_1 = 1.785 \text{ dt}$ , maka  $C_1 = 0.04$

$T_2 = 0.606 \text{ dt}$ , maka  $C_2 = 0.065$

$T_3 = 0.423 \text{ dt}$ , maka  $C_3 = 0.07$

$T_4 = 0.331 \text{ dt}$ , maka  $C_4 = 0.07$

$T_5 = 0.273 \text{ dt}$ , maka  $C_5 = 0.07$



### Simpangan horisontal tiap mode

- Kontribusi mode ke-1

$$P_1^* = \{\phi\}_1^T [M] \{1\} = \left\{ \begin{matrix} 1 & 2.94 & 4.08 & 4.88 & 5.28 \end{matrix} \right\} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 22.2693 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_1^* = \{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_1 = \left\{ \begin{matrix} 1 & 2.94 & 4.08 & 4.88 & 5.28 \end{matrix} \right\} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.94 \\ 4.08 \\ 4.88 \\ 5.28 \end{Bmatrix}$$

$$= 92.5569 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-1} = \Gamma = \frac{P_1^*}{M_1^*} = \frac{22.2693}{92.5569} = 0.241$$

$$\{y\}_1 = \{\phi\}_1 \frac{P_1^* C g}{M_1^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.94 \\ 4.08 \\ 4.88 \\ 5.28 \end{Bmatrix} \frac{0.241 \cdot 0.04 \cdot 9.81}{(3.521)^2} = \begin{Bmatrix} 7.63 \\ 22.4 \\ 31.1 \\ 37.23 \\ 40.27 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m}$$

- Kontribusi mode ke-2

$$P_2^* = \{\phi\}_2^T [M] \{1\} = \left\{ \begin{matrix} 1 & 1.51 & 0.79 & -0.49 & -1.43 \end{matrix} \right\} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 2.5619 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = \{\phi\}_2^T [M] \{\phi\}_2 = \begin{Bmatrix} 1 & 1.51 & 0.79 & -0.49 & -1.43 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.51 \\ 0.79 \\ -0.49 \\ -1.43 \end{Bmatrix}$$

$$= 8.0402 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-2} = \Gamma = \frac{P_2^*}{M_2^*} = \frac{2.5619}{8.0402} = 0.3186$$

$$\{y\}_2 = \{\phi\}_2 \frac{P_2^* C g}{M_2^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.51 \\ 0.79 \\ -0.49 \\ -1.43 \end{Bmatrix} \frac{0.3186 \cdot 0.065 \cdot 9.81}{(10.361)^2} = \begin{Bmatrix} 1.97 \\ 2.97 \\ 1.56 \\ -0.97 \\ -2.81 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m}$$

- Kontribusi mode ke-3

$$P_3^* = \{\phi\}_3^T [M] \{1\} = \begin{Bmatrix} 1 & -0.18 & -0.76 & -0.22 & 0.64 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 1.251 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = \{\phi\}_3^T [M] \{\phi\}_3 = \begin{Bmatrix} 1 & -0.18 & -0.76 & -0.22 & 0.64 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0.18 \\ -0.76 \\ -0.22 \\ 0.64 \end{Bmatrix}$$

$$= 3.205 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-3} = \Gamma = \frac{P_3^*}{M_3^*} = \frac{1.251}{3.205} = 0.39$$

$$\{y\}_3 = \{\phi\}_3 \frac{P_3^* C g}{M_3^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -0.18 \\ -0.76 \\ -0.22 \\ 0.64 \end{Bmatrix} \frac{0.39 \ 0.07 \ 9.81}{(14.841)^2} = \begin{Bmatrix} 1.22 \\ -0.22 \\ -0.92 \\ -0.27 \\ 0.78 \end{Bmatrix} 10^{-3} \text{ m}$$

- Kontribusi mode ke-4

$$P_4^* = \{\phi\}_4^T [M] \{1\} = \begin{Bmatrix} 1 & -2.27 & 0.85 & 1.93 & -1.63 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 0.7604 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = \{\phi\}_4^T [M] \{\phi\}_4 = \begin{Bmatrix} 1 & -2.27 & 0.85 & 1.93 & -1.63 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -2.27 \\ 0.85 \\ 1.93 \\ -1.63 \end{Bmatrix}$$

$$= 16.564 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-4} = \Gamma = \frac{P_4^*}{M_4^*} = \frac{0.7604}{16.564} = 0.0459$$

$$\{y\}_4 = \{\phi\}_4 \frac{P_4^* C g}{M_4^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -2.27 \\ 0.85 \\ 1.93 \\ -1.63 \end{Bmatrix} \frac{0.0459 \ 0.07 \ 9.81}{(18.969)^2} = \begin{Bmatrix} 8.77 \\ -20 \\ 7.45 \\ 16.9 \\ -14.3 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m}$$

- Kontribusi mode ke-5

$$P_5^* = \{\phi\}_5^T [M] \{1\} = \begin{Bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 0.4989 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = \{\phi\}_5^T [M] \{\phi\}_5 = \begin{Bmatrix} 1 & -4.8 & 7.99 & -7.39 & 3.29 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -4.8 \\ 7.99 \\ -7.39 \\ 3.29 \end{Bmatrix}$$

$$= 185.878 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Partisipasi mode ke-5} = \Gamma = \frac{P_5^*}{M_5^*} = \frac{0.4989}{185.88} = 0.0027$$

$$\{v\}_5 = \{\phi\}_5 \frac{P_5^* C g}{M_5^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1 \\ -4.8 \\ 7.99 \\ -7.39 \\ 3.29 \end{Bmatrix} \frac{0.0027 \cdot 0.07 \cdot 9.81}{(22.984)^2} = \begin{Bmatrix} 0.49 \\ -1.70 \\ 2.79 \\ -2.60 \\ 1.15 \end{Bmatrix} 10^{-5} \text{ m}$$

### Gaya horisontal tiap mode

- Mode ke-1

$$F_1 = [M] \{\phi\}_1 \frac{P_1^*}{M_1^*} C g = \begin{Bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 2.94 \\ 4.08 \\ 4.88 \\ 5.28 \end{Bmatrix} \cdot 0.241 \cdot 0.04 \cdot 9.81$$

$$\begin{Bmatrix} 0.184 \\ 0.338 \\ 0.469 \\ 0.561 \\ 0.554 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

- Mode ke-2

$$F_2 = [M] \{\phi\}_2 \frac{P_2^*}{M_2^*} C g = \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1.51 \\ 0.79 \\ -0.49 \\ -1.43 \end{Bmatrix} \begin{matrix} 0.3186 \\ 0.065 \\ 9.81 \end{matrix}$$

$$\begin{Bmatrix} 0.396 \\ 0.373 \\ 0.195 \\ -0.121 \\ -0.323 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

- Mode ke-3

$$F_3 = [M] \{\phi\}_3 \frac{P_3^*}{M_3^*} C g = \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -0.18 \\ -0.76 \\ -0.22 \\ 0.64 \end{Bmatrix} \begin{matrix} 0.39 \\ 0.07 \\ 9.81 \end{matrix}$$

$$\begin{Bmatrix} 0.522 \\ -0.059 \\ -0.247 \\ -0.072 \\ 0.190 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

- Mode ke-4

$$F_4 = [M] \{\phi\}_4 \frac{P_4^*}{M_4^*} C g = \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -2.27 \\ 0.85 \\ 1.93 \\ 1.63 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.0459 \\ 0.07 \\ 9.81 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} 0.062 \\ -0.087 \\ 0.033 \\ 0.074 \\ -0.057 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

- Mode ke-5

$$F_5 = [M] \{\phi\}_5 \frac{P_5^*}{M_5^*} C g = \begin{bmatrix} 1.950 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.215 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.215 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.215 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.110 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ -4.8 \\ 7.99 \\ -7.39 \\ 3.29 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.0027 \\ 0.07 \\ 9.81 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} 0.0036 \\ -0.018 \\ 0.0179 \\ -0.0166 \\ 0.0068 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horisontal, menurut konsep *Upper Bound/ Absolute Response*

- Tingkat ke-5,  $y_5 = 0.04 + 2.71 \cdot 10^{-4} + 7.78 \cdot 10^{-4} + 1.43 \cdot 10^{-4} + 1.16 \cdot 10^{-5}$   
 $= 0.041 \text{ m}$
- Tingkat ke-4,  $y_4 = 0.037 + 9.27 \cdot 10^{-4} + 2.68 \cdot 10^{-4} + 1.69 \cdot 10^{-4} + 2.59 \cdot 10^{-5}$



$$= 0.038 \text{ m}$$

- Tingkat ke-3,  $y_3 = 0.03 + 1.49 \cdot 10^{-3} + 9.24 \cdot 10^{-4} + 7.45 \cdot 10^{-5} + 2.8 \cdot 10^{-5}$

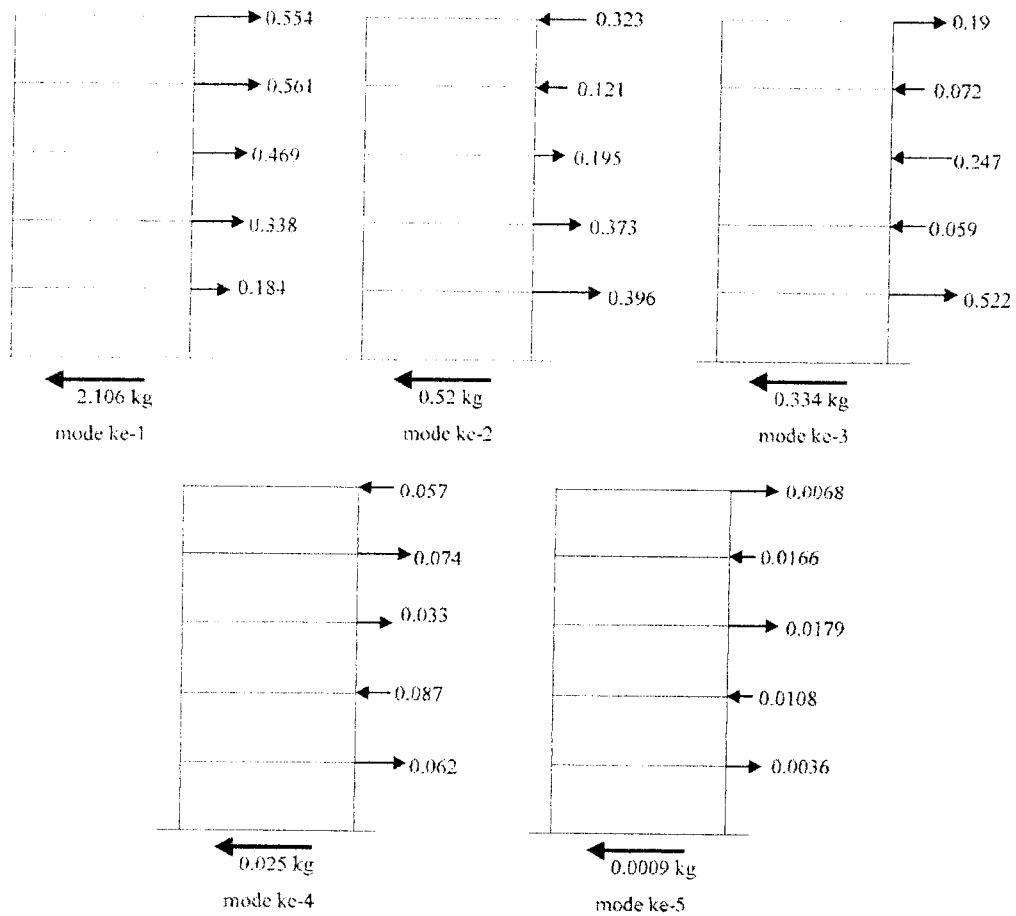
$$= 0.033 \text{ m}$$

- Tingkat ke-2,  $y_2 = 0.02 + 2.86 \cdot 10^{-3} + 2.19 \cdot 10^{-4} + 1.99 \cdot 10^{-4} + 1.68 \cdot 10^{-5}$

$$= 0.023 \text{ m}$$

- Tingkat ke-1,  $y_1 = 7.63 \cdot 10^{-3} + 1.89 \cdot 10^{-3} + 1.22 \cdot 10^{-3} + 8.76 \cdot 10^{-5} + 3.51 \cdot 10^{-6}$

$$= 0.011 \text{ m}$$



Gambar. 5.3. Gaya geser tingkat untuk masing-masing mode

Berdasarkan gambar diatas, maka gaya horisontal tingkat :

$$F = \begin{Bmatrix} 1.1676 \\ 0.5542 \\ 0.4679 \\ 0.4254 \\ 0.3708 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ ) adalah :

$$\begin{aligned} V_b &= 1.167 + 0.5542 + 0.4679 + 0.4254 + 0.3708 \\ &= 2.9859 \text{ kg} \\ &= 298590 \text{ kg} \end{aligned}$$

### **Momen Guling**

$$M_b = \sum_{i=1}^N F_i \cdot h_i$$

$$\begin{aligned} M_b &= 1.1676 * 3.35 + 0.5542 * 7.55 + 0.4679 * 11.30 + 0.4254 * 15.05 + \\ &\quad 0.3708 * 18.80 \\ &= 26.728 \text{ 1E5 kgm} \end{aligned}$$



### 5.3. Pembahasan

Beban gempa yang terjadi pada sebuah struktur akan menyebabkan struktur bergoyang. Goyangan yang dihasilkan oleh beban gempa dapat dianggap sama dengan goyangan yang diakibatkan oleh gaya lateral, sehingga beban gempa dapat dinyatakan sebagai gaya lateral.

Sebuah portal akan menerima gaya geser sesuai dengan kemampuannya yang berbanding lurus dengan nilai kekakuannya, semakin besar nilai kekakuannya maka akan semakin besar pula gaya geser yang dapat dilayaninya dan begitu pula sebaliknya. Sifat ini juga berlaku pada kapasitas momen gulingnya karena momen guling merupakan hasil kali antara gaya geser tingkat dengan elevasi tingkat dari muka tanah.

Jumlah lantai suatu struktur akan menentukan banyaknya pola ragam goyangan/*mode shape* yang akan terjadi saat struktur dilanda beban gempa/gaya lateral. Ragam goyangan ini diurutkan dari yang paling besar kontribusinya sampai yang terkecil terhadap simpangan struktur secara keseluruhan dengan nomor urut ke-1 sampai ke- $j$ , dimana nilai  $j$  adalah jumlah pola ragam goyangan yang terjadi.

Pada penelitian ini, kami mencoba memvariasikan pengurangan kekakuan tingkat dari kekakuan ideal (terjepit sempurna / 100%) sampai kekakuan 10 % dengan interval pengurangan 10%. Pengurangan kekakuan tingkat yang kami teliti dianggap hanya terjadi pada lantai 1, 2 dan 3 secara tidak bersamaan.

**Tabel 5.3.1. Gaya geser dasar untuk berbagai macam perubahan kekakuan tingkat ( 1 ES kg )**

	Persentase Kekakuan ( % )									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
K <sub>1</sub>	3.010	2.956	2.889	2.805	2.698	2.555	2.495	2.434	2.373	2.323
K <sub>2</sub>	3.010	2.964	2.908	2.838	2.778	2.793	2.812	2.838	2.871	2.910
K <sub>3</sub>	3.010	2.994	2.973	2.947	2.912	2.865	2.857	2.900	2.963	3.056

**Tabel 5.3.2. Momen guling untuk berbagai macam perubahan kekakuan tingkat ( 1 ES kgm )**

	Persentase Kekakuan ( % )									
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
K <sub>1</sub>	26.73	26.23	25.62	24.85	23.86	22.53	22.35	22.28	22.37	22.74
K <sub>2</sub>	26.73	26.12	25.38	24.46	23.65	23.82	24.03	24.14	24.69	25.18
K <sub>3</sub>	26.73	26.47	26.14	25.72	25.18	24.45	24.17	24.58	25.22	26.21

Dari hasil penelitian yang kami lakukan ternyata pengaruh pengurangan kekakuan tingkat tidak menunjukkan kecenderungan yang sama seperti pada teori yang menyatakan bahwa penurunan nilai kekakuan akan menyebabkan menurunnya kapasitas geser suatu struktur. Hal ini dapat dilihat pada :

1. Tabel 5.3.1 yang dimanifestasikan dengan grafik pada gambar 5.4.a dan 5.4.b, yang memperlihatkan gaya geser dasar untuk berbagai pengurangan kekakuan tingkat 1 (K<sub>1</sub>). Untuk persentase kekakuan tingkat 1 (K<sub>1</sub>) mulai dari 100% sampai 50% terjadi pengurangan kapasitas gaya geser dasar dengan laju pengurangan yang lebih besar, dibandingkan dengan persentase K<sub>1</sub> dari 50% sampai 10%.
2. Tabel 5.3.1 yang dimanifestasikan pada gambar 5.6.a dan 5.6.b, yang memperlihatkan gaya geser dasar untuk berbagai pengurangan kekakuan tingkat 2 (K<sub>2</sub>). Untuk persentase kekakuan tingkat 2 (K<sub>2</sub>) mulai dari 100%

terjadi pengurangan kapasitas gaya geser dasar Sedangkan untuk persentase  $K_2$  dari 60% sampai 10% ternyata menunjukkan suatu kenaikan.

3. Tabel 5.3.1 yang dimanifestasikan pada gambar 5.8.a dan 5.8.a, yang memperlihatkan gaya geser dasar untuk berbagai pengurangan kekakuan tingkat 3 ( $K_3$ ). Untuk persentase kekakuan tingkat 3 ( $K_3$ ) mulai dari 100% sampai 40% terjadi pengurangan kapasitas gaya geser dasar Sedangkan untuk persentase  $K_2$  dari 40% sampai 10% ternyata nilai kapasitas gaya geser dasar menunjukkan suatu kenaikan.

Dengan berkurangnya nilai kekakuan tingkat maka nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) akan berkurang atau periode getar ( $T$ ) akan bertambah, namun pola penurunan ini tidak berlaku lagi sepenuhnya ketika kita menentukan nilai koefisien gempa dasar ( $C$ ) karena grafik nilai  $C$  yang kita peroleh dari buku "Pedoman perencanaan struktur beton bertulang biasa dan struktur tembok bertulang untuk gedung 1983" bukanlah **grafik spektrum respon** yang sebenarnya, akan tetapi merupakan **grafik desain spektrum** menurut daerah gempa, jenis tanah dasar dan periode getar struktur ( $T$ ), yang merupakan penyederhanaan dari **grafik spektrum respon** yang sesungguhnya. Pada **grafik desain spektrum** untuk wilayah gempa 2 dengan tanah keras memiliki tiga daerah periode ( $T$ ), untuk  $T$  dari 0 dt sampai 0.5 dt mempunyai nilai  $C$  sebesar 0.07, untuk  $T$  dari 0.5 – 2 dt memiliki nilai antara 0.07 sampai 0.035 dengan fungsi linier yang menurun, dan untuk  $T$  dari 2 - 3 dt memiliki nilai  $C$  sebesar 0.035. Grafik nilai  $C$  ini bersifat konstan untuk periode 0 – 0.5 dt dan 2 – 3 dt serta bersifat linier

**Tabel 5.3.3a. Simpangan horisontal untuk berbagai macam perubahan kekakuan tingkat  $K_1$  ( m )**

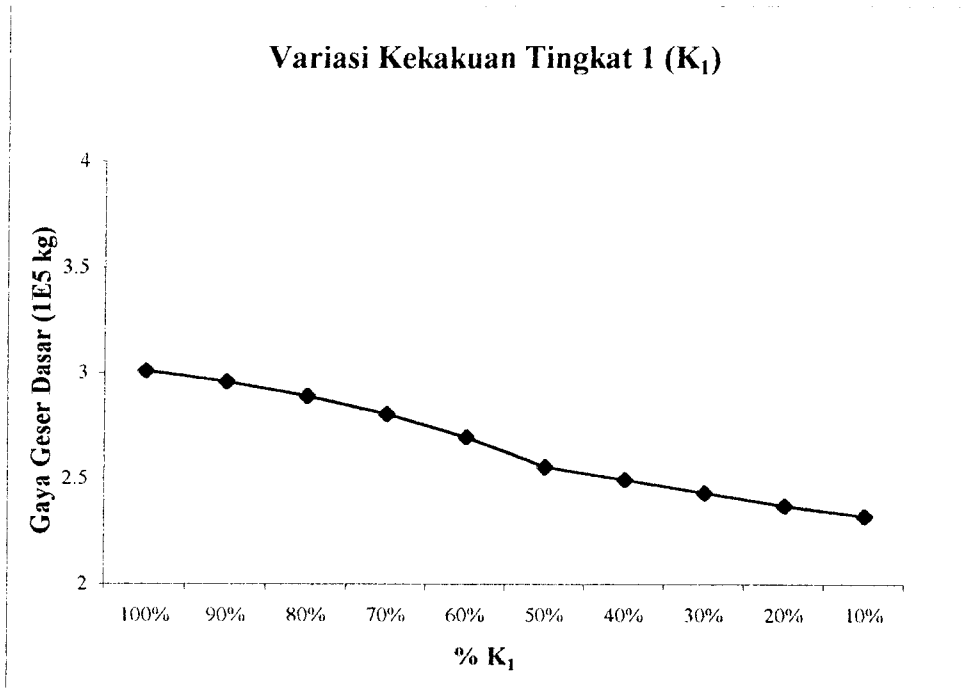
	Persentase Kekakuan ( % )				
	100	90	80	70	60
Tingkat 1	0.01091	0.01190	0.01308	0.01452	0.01629
Tingkat 2	0.02582	0.02664	0.02756	0.02861	0.02983
Tingkat 3	0.03369	0.03423	0.03483	0.03552	0.03633
Tingkat 4	0.03866	0.03925	0.03994	0.04076	0.04172
Tingkat 5	0.04402	0.04458	0.04520	0.04588	0.04664

**Tabel 5.3.3b. Simpangan horisontal untuk berbagai macam perubahan kekakuan tingkat  $K_2$  ( m )**

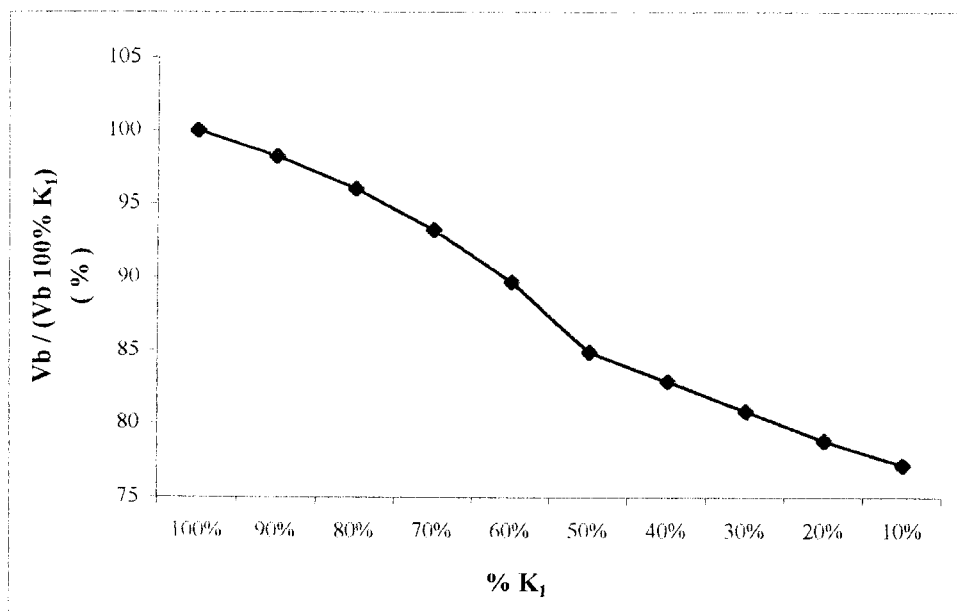
	Persentase Kekakuan ( % )				
	100	90	80	70	60
Tingkat 1	0.01091	0.01074	0.01054	0.01028	0.01006
Tingkat 2	0.02582	0.02690	0.02814	0.02955	0.03159
Tingkat 3	0.03369	0.03452	0.03544	0.03645	0.03810
Tingkat 4	0.03866	0.03927	0.03993	0.04065	0.04204
Tingkat 5	0.04402	0.04455	0.04511	0.04569	0.04693

**Tabel 5.3.3c. Simpangan horisontal untuk berbagai macam perubahan kekakuan tingkat  $K_3$  ( m )**

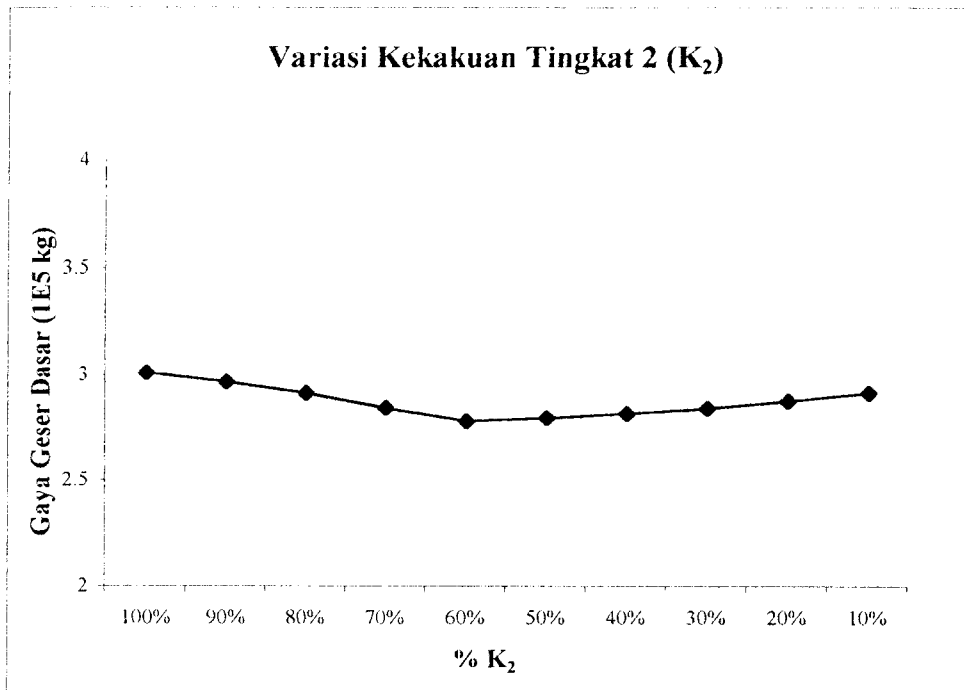
	Persentase Kekakuan ( % )				
	100	90	80	70	60
Tingkat 1	0.01091	0.01085	0.01077	0.01068	0.01055
Tingkat 2	0.02582	0.02563	0.02540	0.02511	0.02479
Tingkat 3	0.03369	0.03422	0.03485	0.03558	0.03643
Tingkat 4	0.03866	0.03912	0.03965	0.04026	0.04098
Tingkat 5	0.04402	0.04447	0.04499	0.04558	0.04624



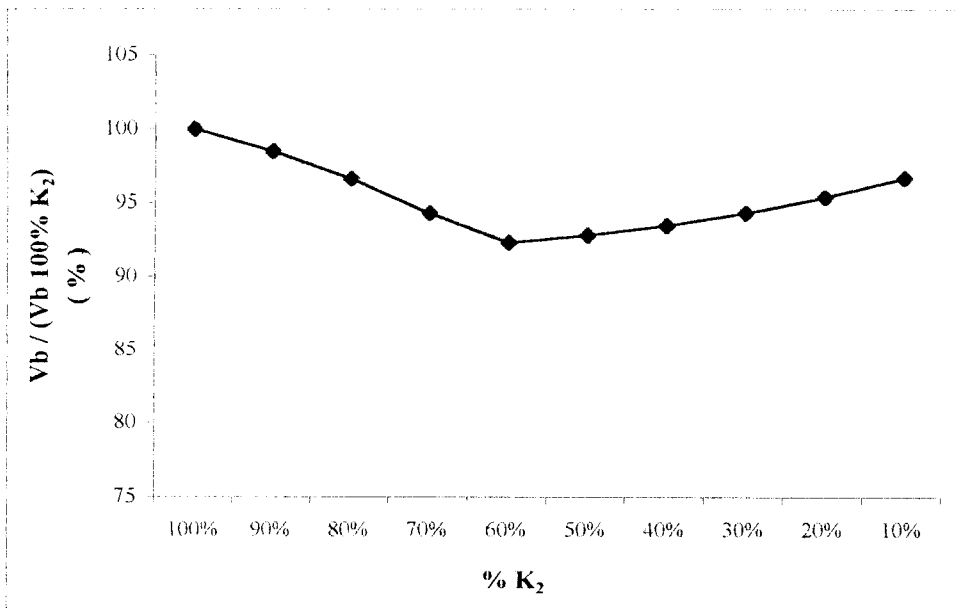
Gambar 5.4. a. Grafik Hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 1 ( $K_1$ ), dari 100% - 10 %



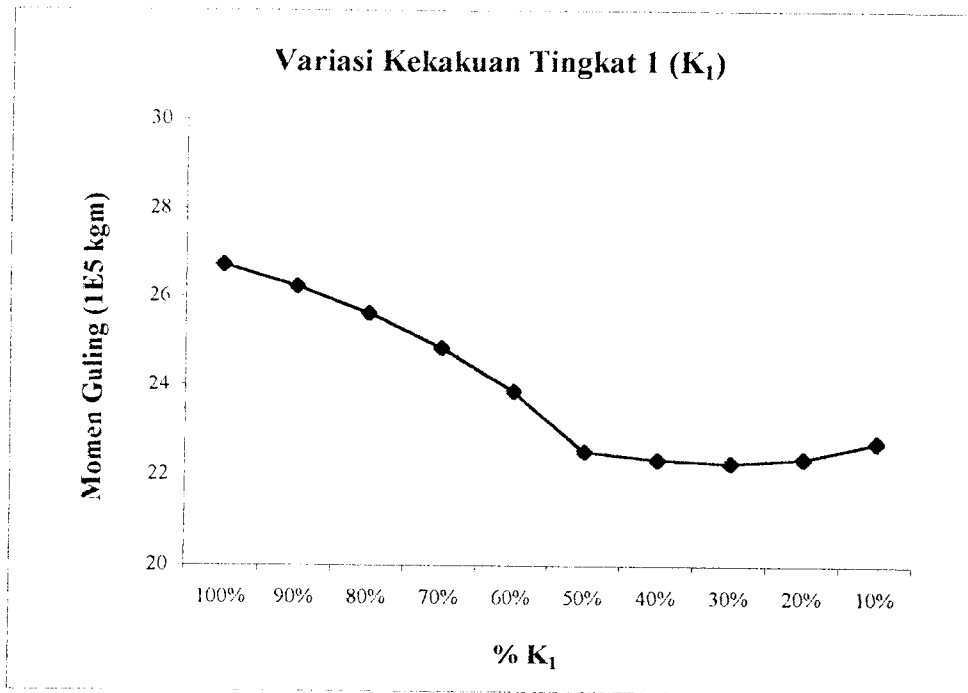
Gambar 5.4. b. Grafik Normalisasi Hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 1 ( $K_1$ ), dari 100% - 10 %



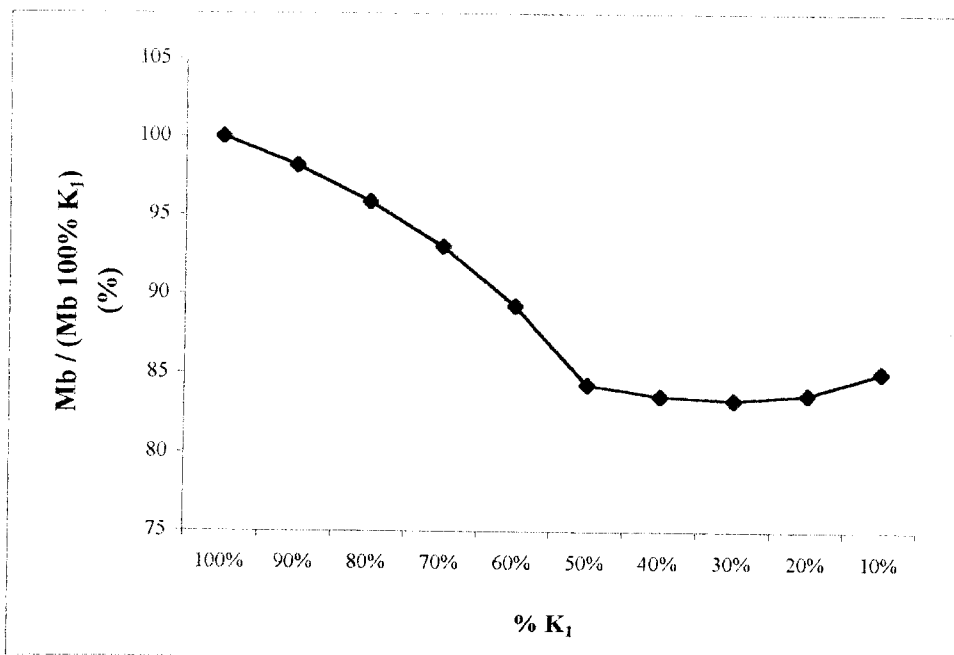
Gambar 5.6.a. Grafik Hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 2 ( $K_2$ ), dari 100% - 10 %



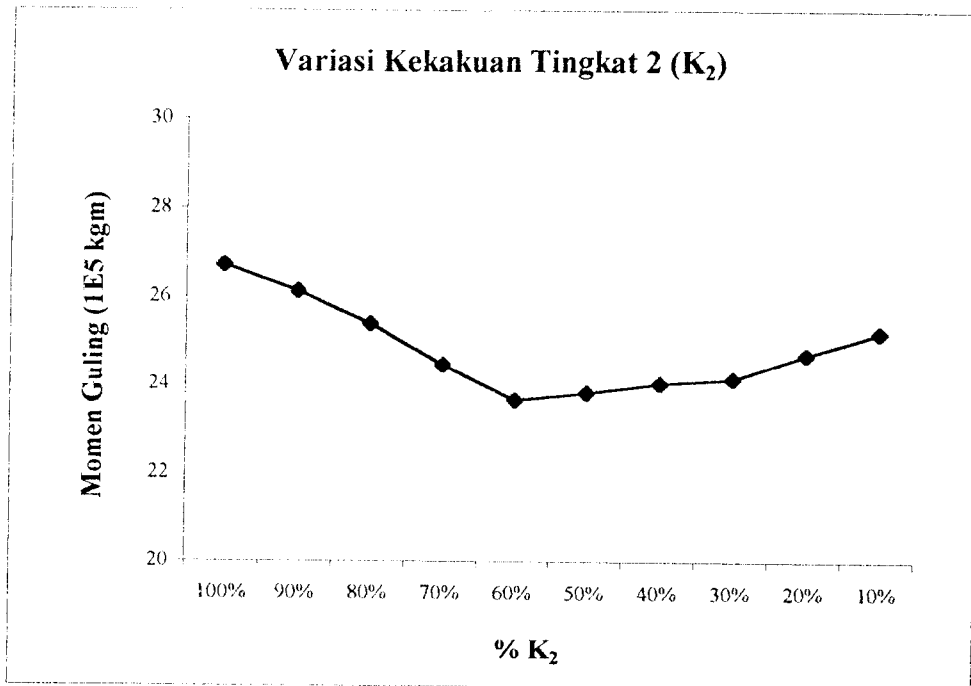
Gambar 5.6.b. Grafik Normalisasi Hubungan antara Gaya Geser Dasar dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 2 ( $K_2$ ), dari 100% - 10 %



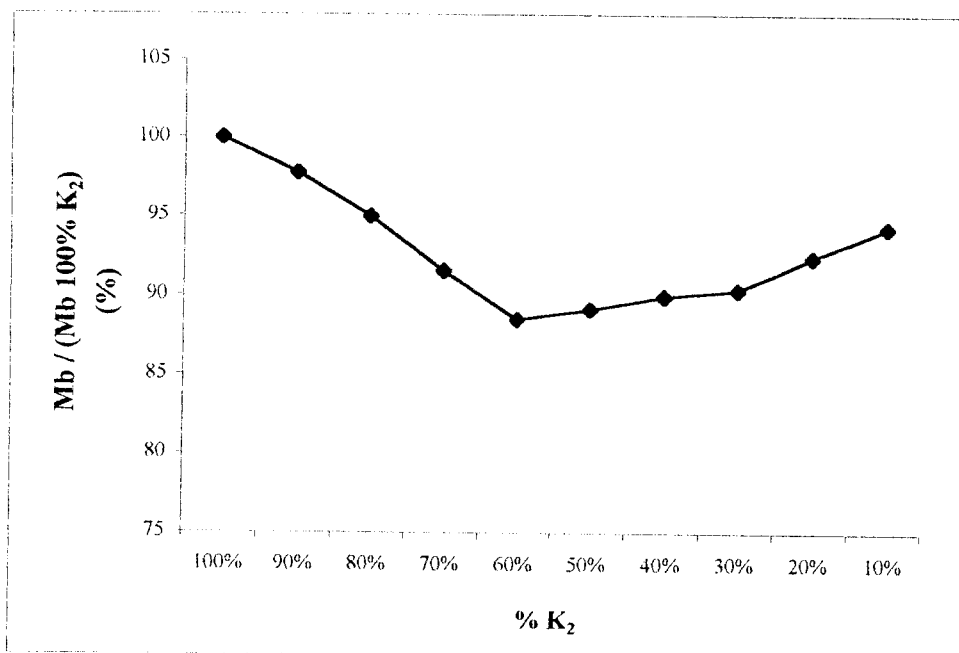
Gambar 5.5.a. Grafik Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 1 ( $K_1$ ), dari 100% - 10 %



Gambar 5.5.b. Grafik Normalisasi Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 1 ( $K_1$ ), dari 100% - 10 %

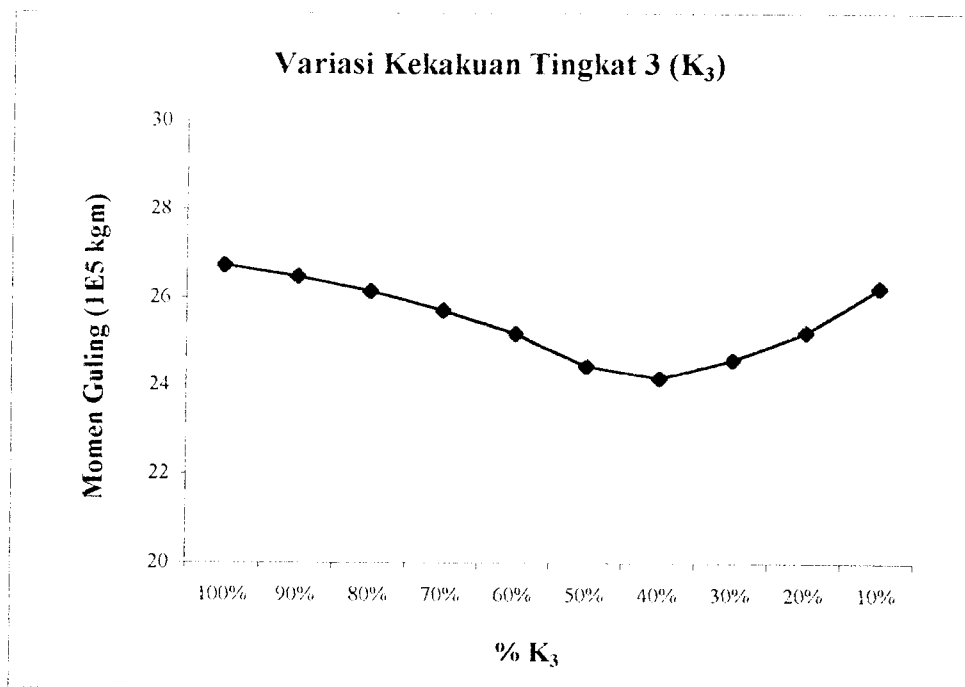


Gambar 5.7.a. Grafik Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 2 ( $K_2$ ), dari 100% - 10 %

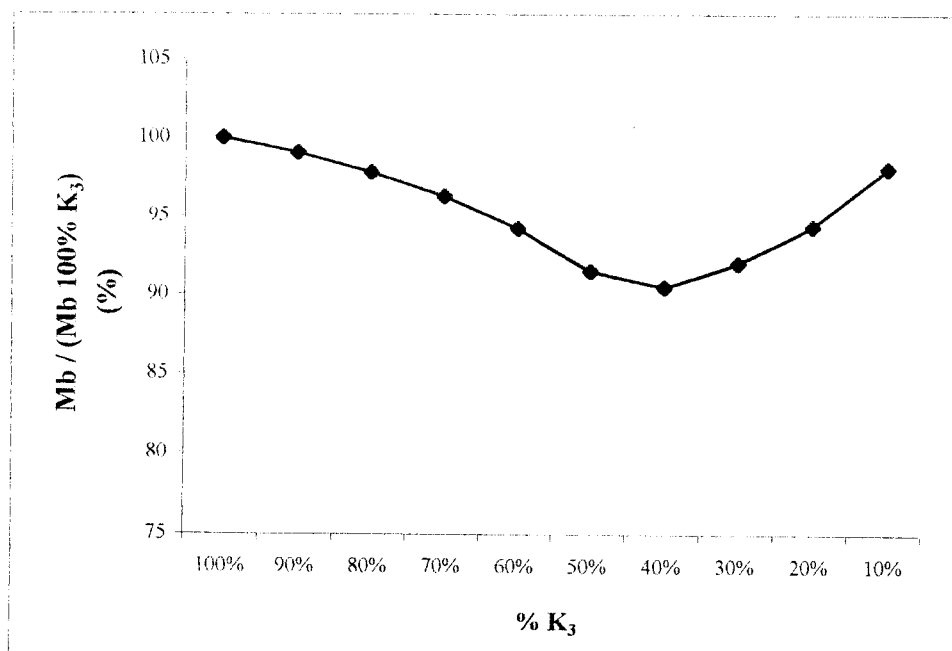


Gambar 5.7.b. Grafik Normalisasi Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 2 ( $K_2$ ), dari 100% - 10 %

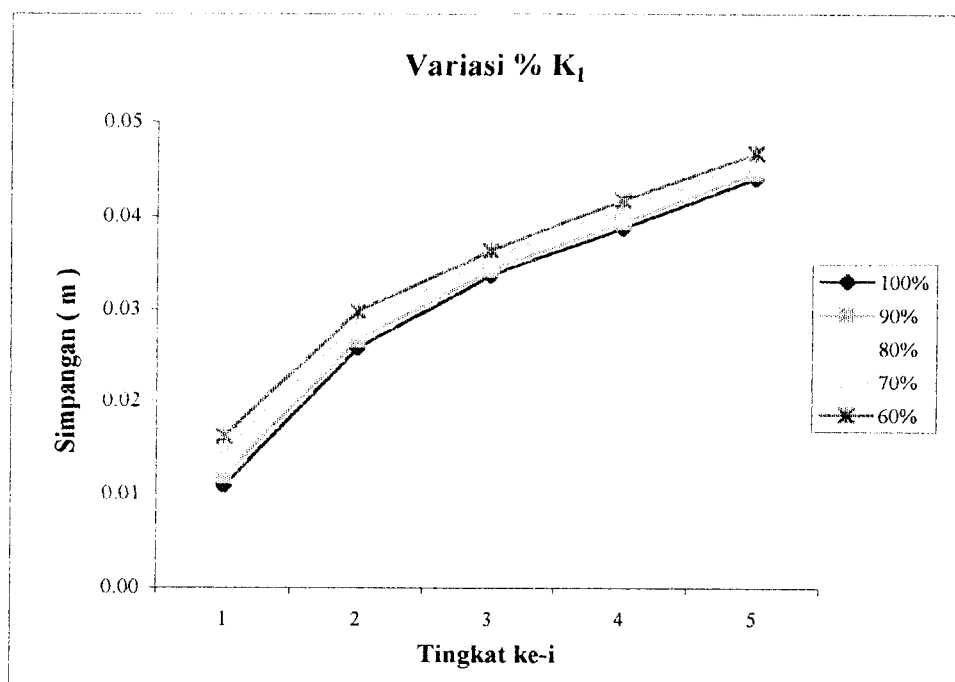




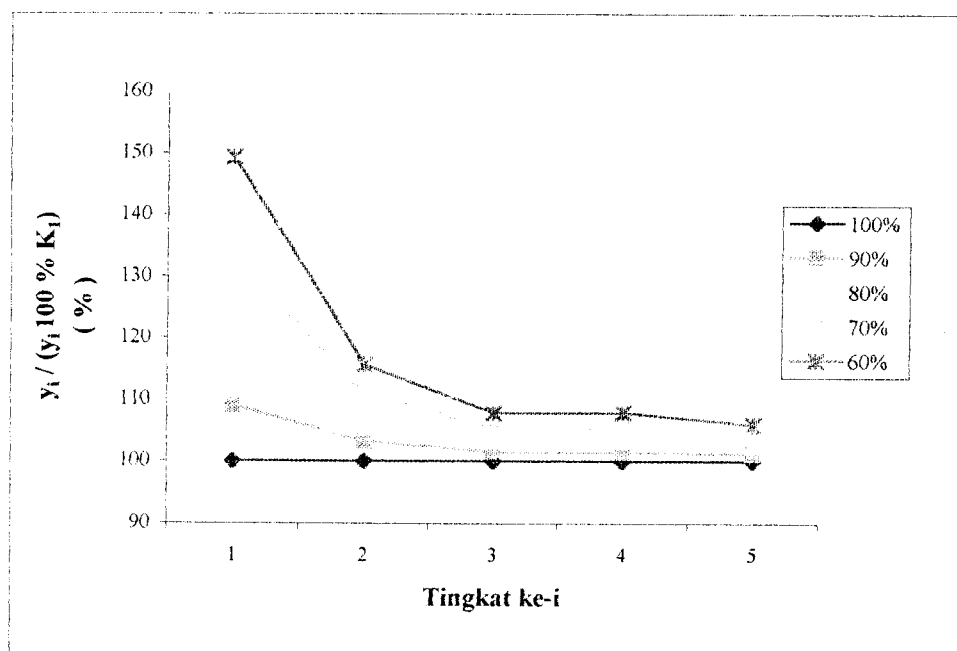
Gambar 5. 9 .a. Grafik Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 3 ( $K_3$ ), dari 100% - 10 %



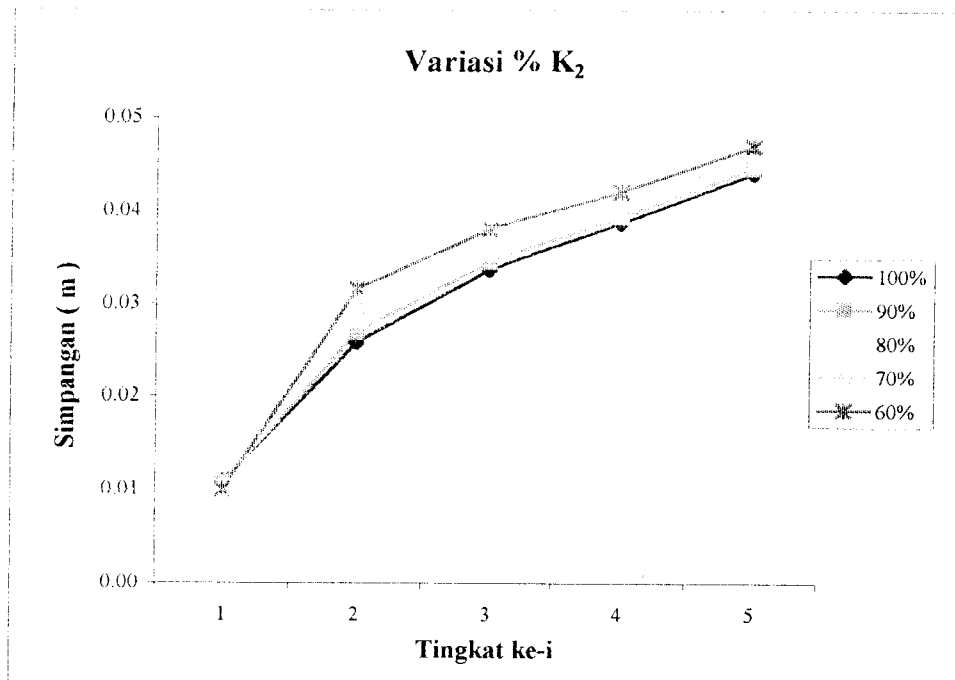
Gambar 5. 9 .b. Grafik Normalisasi Hubungan antara Momen Guling dengan berbagai Nilai Kekakuan Tingkat 3 ( $K_3$ ), dari 100% - 10 %



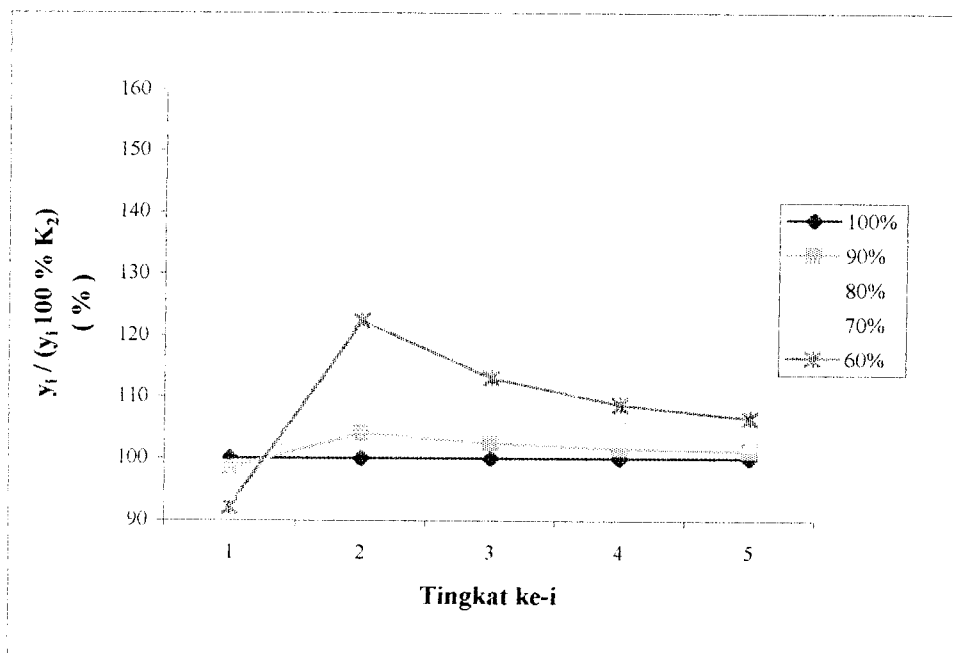
Gambar 5.10.a. Grafik hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 1 ( $K_1$ )



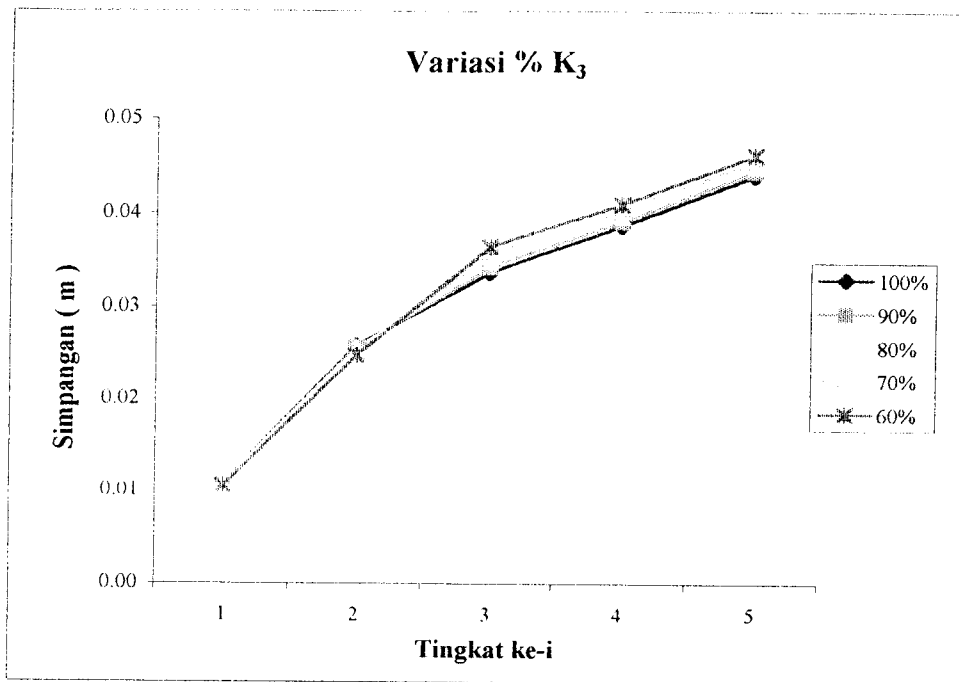
Gambar 5.10.b. Grafik normalisasi hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 1 ( $K_1$ )



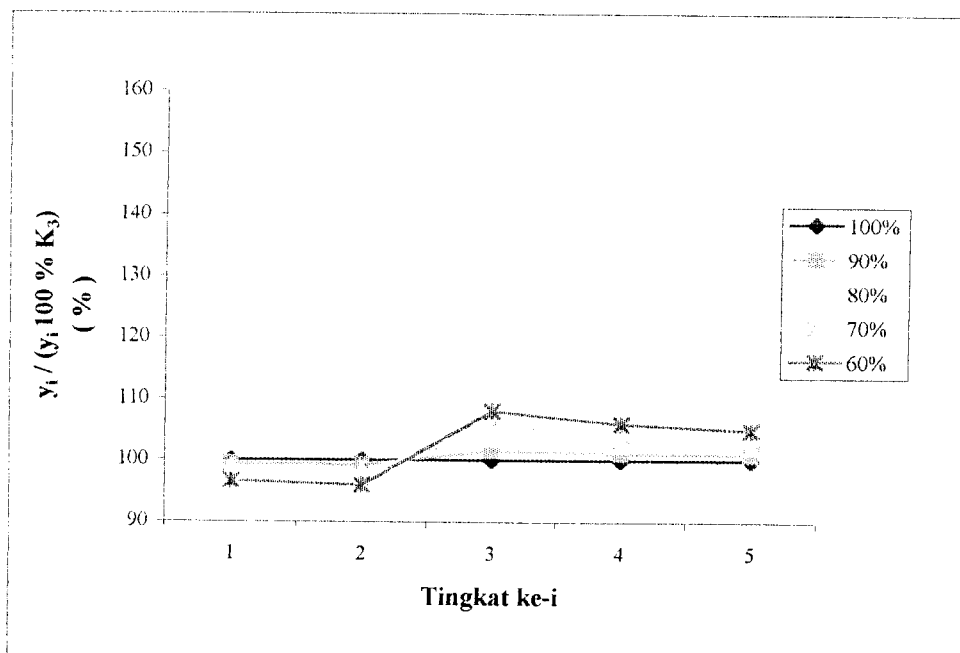
Gambar 5.11.a. Grafik hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 2 ( $K_2$ )



Gambar 5.11.b. Grafik normalisasi hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 2 ( $K_2$ )



Gambar 5.12.a. Grafik hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 3 ( $K_3$ )



Gambar 5.12.b. Grafik normalisasi hubungan antara simpangan lantai ke-i pada berbagai nilai persentase kekakuan tingkat 3 ( $K_3$ )

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pengaruh pengurangan kekakuan tingkat terhadap gaya geser dasar dan momen guling dalam tugas akhir ini adalah :

1. Kapasitas gaya geser dasar dan momen guling akan menurun seiring dengan menurunnya kekakuan tingkat.
2. Dari hasil penelitian yang kami lakukan terhadap tingkat/lantai 1, 2 dan 3, kontribusi terbesar yang mempengaruhi penurunan kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta penambahan simpangan terletak pada lantai dasar/tingkat 1, sedangkan untuk tingkat atau lantai di atasnya (lantai 2 dan 3) pengaruhnya akan semakin berkurang.
3. Pengurangan kekakuan tingkat pada tingkat dua dan tiga terjadi hal yang ganjil, dimana nilai gaya geser dasar dan momen guling pada persentase 60% sampai 10% tidak menunjukkan kecendrungan turun tetapi malah sebaliknya grafik bergerak naik.

4. **Grafik desain spektrum** yang dipergunakan hanya cocok untuk nilai pengurangan kekakuan tingkat sampai 60% dari kekakuan tingkat asal, sedangkan untuk persentase kekakuan tingkat dari 60% sampai 10% perlu adanya suatu koreksi terhadap nilai gaya geser dasar dan momen gulingnya yang sesuai dengan **spektrum respon**.
5. Pengurangan kekakuan tingkat akan menyebabkan struktur bersifat lebih fleksibel yang diperlihatkan dengan besarnya nilai simpangan tingkat terutama pada tingkat yang ditinjau/dikurangi nilai kekakuannya.

## 6.2. Saran

Saran yang dapat kami sampaikan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Perlu diadakannya penelitian yang sama tetapi menggunakan **grafik spektrum respon** yang sesungguhnya, sehingga dapat diperoleh faktor koreksi terhadap gaya geser dasar dan momen guling yang menggunakan **grafik desain spektrum**.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan kekakuan tingkat terhadap kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan bila perubahan kekakuan tingkat dilakukan dengan cara menambah/memperbesar nilai kekakuan tingkat asalnya.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh perubahan kekakuan tingkat terhadap kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan bila perubahan kekakuan tingkat dilakukan secara bersama-sama untuk semua tingkat.

4. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi perubahan masa tingkat dengan nilai kekakuan tingkat yang tetap atau tidak berubah, terhadap kapasitas gaya geser dasar dan momen guling serta perubahan simpangan tingkat.
5. Perlu dilakukan penelitian yang serupa untuk wilayah gempa dan kondisi tanah dasar yang berbeda.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Ade Ilham, 1996, **DIKTAT KULIAH METODE NUMERIK**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Chapra Steven C dan Canale Raymond P, 1991, **METODE NUMERIK**, Jilid satu, Erlangga, Jakarta.
3. Chopra Anil K, 1995, **DYNAMICS OF STRUCTURES**, Prentice Hall.
4. Clough Ray W dan Penzien J, **DYNAMICS OF STRUCTURES**, Second Edition, 1992.
5. Kusuma Gideon dan Andriono Takim, 1996, **DISAIN STRUKTUR RANGKA BETON BERTULANG DI DAERAH RAWAN GEMPA**, Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
6. Paz Mario, 1987, **DINAMIKA STRUKTUR TEORI DAN PERHITUNGAN**, (Terjemahan), Edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
7. R.B. Tular, 1981, **PERENCANAAN BANGUNAN TAHAN GEMPA**, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
8. Widodo, 1996, **DERAJAT PENGARUH “NORMAL MODE “ TERHADAP RESPON STRUKTUR “ MULTI DEGREE OF FREEDOM “ AKIBAT BEBAN GEMPA BUMI**, Jurnal Teknisia No 1 th 1- 1996, Yogyakarta.
9. Widodo, 1997, **PENGANTAR TEKNIK GEMPA**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.



10. Widodo, 1997, **ANALISA DINAMIKA STRUKTUR**, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
11. Yayasan Dana Normalisasi Indonesia, **PERATURAN PERENCANAAN TAHAN GEMPA INDONESIA UNTUK GEDUNG**, Departemen PU, 1981.

# LAMPIRAN

## Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 1 ( $k_1$ )	100 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1E+07 \text{ kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.12397 \\ \lambda_2 &= 1.07356 \\ \lambda_3 &= 2.20249 \\ \lambda_4 &= 3.59805 \\ \lambda_5 &= 5.28253\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$$\begin{aligned}\omega_i &= (\lambda \text{ k/m})^{0.5} & T_i &= (2\pi/\omega_i) \\ \omega_1 &= 3.520937 \text{ rad/dt} & T_1 &= 1.784 \\ \omega_2 &= 10.36127 \text{ rad/dt} & T_2 &= 0.606 \\ \omega_3 &= 14.84079 \text{ rad/dt} & T_3 &= 0.423 \\ \omega_4 &= 18.96853 \text{ rad/dt} & T_4 &= 0.331 \\ \omega_5 &= 22.98376 \text{ rad/dt} & T_5 &= 0.273\end{aligned}$$

Koefisien gempa dasar (C) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dari tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefisien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.784$	$C_1 = 0.0401$
$T_2 = 0.606$	$C_2 = 0.0675$
$T_3 = 0.423$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.331$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.273$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.937 \\ 4.078 \\ 4.881 \\ 5.280 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.513 \\ 0.795 \\ -0.493 \\ -1.427 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.181 \\ -0.758 \\ -0.221 \\ 0.641 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.274 \\ 0.850 \\ 1.932 \\ -1.626 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -4.801 \\ 7.986 \\ -7.390 \\ 3.295 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$P_i^* = \phi_i^T M I$$

$$P_1^* = 22.26399 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_2^* = 2.570847 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_3^* = 1.2524 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_4^* = 0.7620 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_5^* = 0.498581 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_1^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$$M_1^* = 92.5231 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = 8.0537 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = 3.2043 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = 16.5833 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = 185.8346 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = 0.2406$$

$$\Gamma_2 = 0.3192$$

$$\Gamma_3 = 0.3909$$

$$\Gamma_4 = 0.0459$$

$$\Gamma_5 = 0.0027$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00763 \\ 0.02240 \\ 0.03110 \\ 0.03723 \\ 0.04027 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_2) = \begin{bmatrix} 0.00197 \\ 0.00298 \\ 0.001566 \\ -0.000971 \\ -0.002811 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_3) = \begin{bmatrix} 0.001219 \\ -0.00022 \\ -0.00092 \\ -0.00027 \\ 0.000782 \end{bmatrix}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 8.77E-05 \\ -0.0002 \\ 7.45E-05 \\ 0.000169 \\ -0.00014 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_5) = \begin{bmatrix} 3.49E-06 \\ -1.7E-05 \\ 2.79E-05 \\ -2.6E-05 \\ 1.15E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.1844 \\ 0.3374 \\ 0.4684 \\ 0.5607 \\ 0.5541 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} 0.4123 \\ 0.3886 \\ 0.2042 \\ -0.1266 \\ -0.3350 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 0.5234 \\ -0.0589 \\ -0.2473 \\ -0.0721 \\ 0.1911 \end{bmatrix}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.0615 \\ -0.0872 \\ 0.0326 \\ 0.0741 \\ -0.0570 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_5 = \begin{bmatrix} 0.00359 \\ -0.01075 \\ 0.01788 \\ -0.01654 \\ 0.00674 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01091$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02582$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03369$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03866$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04402$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.18522$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.56923$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.47579$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.41958$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.36001$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 3.00983$$

$$300983 \text{ kg}$$

**Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_i * h_i$$

$$M_b = 26.728 \text{ 1E5 kgm}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat		Kekakuan Tingkat I ( $k_1$ )	90	%
$m_1 = 195000$ kg dt <sup>2</sup> /m		$k_1 = 24840000$ kg/m		
$m_2 = 121500$ kg dt <sup>2</sup> /m		$k_2 = 13000000$ kg/m		
$m_3 = 121500$ kg dt <sup>2</sup> /m		$k_3 = 18200000$ kg/m		
$m_4 = 121500$ kg dt <sup>2</sup> /m		$k_4 = 18200000$ kg/m		
$m_5 = 111000$ kg dt <sup>2</sup> /m		$k_5 = 18200000$ kg/m		

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	100000 kg dt <sup>2</sup> /m	= m
unit kekakuan	1E+07 kg/m	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.12072 \\ \lambda_2 &= 1.0364 \\ \lambda_3 &= 2.1186 \\ \lambda_4 &= 3.58072 \\ \lambda_5 &= 5.28339\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda k/m)^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.474478$ rad/dt	$T_1 = 1.807$
$\omega_2 = 10.18037$ rad/dt	$T_2 = 0.617$
$\omega_3 = 14.55541$ rad/dt	$T_3 = 0.431$
$\omega_4 = 18.92279$ rad/dt	$T_4 = 0.332$
$\omega_5 = 22.98563$ rad/dt	$T_5 = 0.273$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.807$	$C_1 = 0.0395$
$T_2 = 0.617$	$C_2 = 0.0673$
$T_3 = 0.431$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.332$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.273$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.730 \\ 3.745 \\ 4.459 \\ 4.813 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.356 \\ 0.672 \\ -0.477 \\ -1.296 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.267 \\ -0.794 \\ -0.198 \\ 0.678 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.460 \\ 0.949 \\ 2.090 \\ -1.765 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -5.014 \\ 8.376 \\ -7.776 \\ 3.499 \end{bmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$\begin{array}{lll}
 P_i^* = \phi_i^T M I & M_i^* = \phi_i^T M \phi_i & \Gamma_i = 0.2641 \\
 P_1^* = 20.57717 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 77.9168 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.3487 \\
 P_2^* = 2.396794 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 6.8741 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.3488 \\
 P_3^* = 1.1725 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 3.3620 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0362 \\
 P_4^* = 0.6938 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 19.1634 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0023 \\
 P_5^* = 0.470271 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 204.7985 \text{ kg dt}^2/\text{m} &
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$\begin{array}{lll}
 (y_1) = \begin{bmatrix} 0.00848 \\ 0.02314 \\ 0.03175 \\ 0.03780 \\ 0.04080 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_2) = \begin{bmatrix} 0.00222 \\ 0.003011 \\ 0.001493 \\ -0.001059 \\ -0.002877 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_3) = \begin{bmatrix} 0.00113 \\ -0.0003 \\ -0.0009 \\ -0.00022 \\ 0.000767 \end{bmatrix} \\
 & (y_4) = \begin{bmatrix} 6.94E-05 \\ -0.00017 \\ 6.59E-05 \\ 0.000145 \\ -0.00012 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_5) = \begin{bmatrix} 2.98E-06 \\ -1.5E-05 \\ 2.5E-05 \\ -2.3E-05 \\ 1.04E-05 \end{bmatrix} \text{ m}
 \end{array}$$

Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$\begin{array}{lll}
 F_1 = \begin{bmatrix} 0.1995 \\ 0.3394 \\ 0.4656 \\ 0.5544 \\ 0.5467 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_2 = \begin{bmatrix} 0.4487 \\ 0.3792 \\ 0.1880 \\ -0.1333 \\ -0.3310 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_3 = \begin{bmatrix} 0.4670 \\ -0.0777 \\ -0.2312 \\ -0.0576 \\ 0.1803 \end{bmatrix} \\
 & F_4 = \begin{bmatrix} 0.0485 \\ -0.0743 \\ 0.0287 \\ 0.0631 \\ -0.0487 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_5 = \begin{bmatrix} 0.00307 \\ -0.00961 \\ 0.01605 \\ -0.01490 \\ 0.00612 \end{bmatrix} \text{ kg}
 \end{array}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01190$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02664$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03423$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03925$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04458$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.16681$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.55689$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.46715$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.41164$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.35345$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.95595$$

$$295594.9 \text{ kg}$$

**Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_i * h_i$$

$$M_b = 26.232 \text{ 1E5 kgm}$$



### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat		Kekakuan Tingkat I ( $k_1$ )	80	%
$m_1 = 195000$	kg dt <sup>2</sup> /m	$k_1 = 22080000$	kg/m	
$m_2 = 121500$	kg dt <sup>2</sup> /m	$k_2 = 13000000$	kg/m	
$m_3 = 121500$	kg dt <sup>2</sup> /m	$k_3 = 18200000$	kg/m	
$m_4 = 121500$	kg dt <sup>2</sup> /m	$k_4 = 18200000$	kg/m	
$m_5 = 111000$	kg dt <sup>2</sup> /m	$k_5 = 18200000$	kg/m	

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	100000 kg dt <sup>2</sup> /m	= m
unit kekakuan	1E+07 kg/m	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.11683$
$\lambda_2 = 0.99302$
$\lambda_3 = 2.03904$
$\lambda_4 = 3.56732$
$\lambda_5 = 5.28208$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda k/m)^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.41804$ rad/dt	$T_1 = 1.837$
$\omega_2 = 9.965039$ rad/dt	$T_2 = 0.630$
$\omega_3 = 14.2795$ rad/dt	$T_3 = 0.440$
$\omega_4 = 18.88735$ rad/dt	$T_4 = 0.332$
$\omega_5 = 22.98278$ rad/dt	$T_5 = 0.273$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.837$	$C_1 = 0.0388$
$T_2 = 0.630$	$C_2 = 0.0670$
$T_3 = 0.440$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.332$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.273$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.523 \\ 3.414 \\ 4.039 \\ 4.349 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.209 \\ 0.557 \\ -0.465 \\ -1.178 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.360 \\ -0.841 \\ -0.177 \\ 0.728 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.653 \\ 1.055 \\ 2.250 \\ -1.914 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -5.225 \\ 8.752 \\ -8.134 \\ 3.661 \end{bmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$\begin{array}{lll}
 P_i^* = \phi_i^T M I & M_i^* = \phi_i^T M \phi_i & \Gamma_i = 0.2922 \\
 P_1^* = 18.89968 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 64.6711 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.3766 \\
 P_2^* = 2.223479 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 5.9045 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.3013 \\
 P_3^* = 1.0828 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 3.5945 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0280 \\
 P_4^* = 0.6189 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 22.0676 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0019 \\
 P_5^* = 0.417911 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 223.4489 \text{ kg dt}^2/\text{m} &
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00952 \\ 0.02402 \\ 0.03251 \\ 0.03846 \\ 0.04141 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_2) = \begin{bmatrix} 0.002491 \\ 0.003012 \\ 0.001387 \\ -0.001157 \\ -0.002934 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_3) = \begin{bmatrix} 0.001015 \\ -0.00037 \\ -0.00085 \\ -0.00018 \\ 0.000739 \end{bmatrix}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 5.4E-05 \\ -0.00014 \\ 5.7E-05 \\ 0.000121 \\ -0.0001 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_5) = \begin{bmatrix} 2.43E-06 \\ -1.3E-05 \\ 2.13E-05 \\ -2E-05 \\ 8.9E-06 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.2169 \\ 0.3410 \\ 0.4615 \\ 0.5459 \\ 0.5370 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_2 = \begin{bmatrix} 0.4824 \\ 0.3634 \\ 0.1673 \\ -0.1396 \\ -0.3234 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_3 = \begin{bmatrix} 0.4034 \\ -0.0905 \\ -0.2115 \\ -0.0446 \\ 0.1672 \end{bmatrix}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.0376 \\ -0.0621 \\ 0.0247 \\ 0.0526 \\ -0.0409 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_5 = \begin{bmatrix} 0.00250 \\ -0.00815 \\ 0.01366 \\ -0.01269 \\ 0.00522 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01308$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02756$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03483$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03994$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04520$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.14276$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.54366$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.45569$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.40170$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34511$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.88891$$

$$288891.3 \text{ kg}$$

**Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_i * h_i$$

$$M_b = 25.616 \text{ 1E5 kgm}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 1 ( $k_1$ )	70	%
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 19320000 \text{ kg/m}$		
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$		
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$		

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	100000 $\text{kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	1E+07 $\text{kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.1121$
$\lambda_2 = 0.94275$
$\lambda_3 = 1.96537$
$\lambda_4 = 3.55562$
$\lambda_5 = 5.28091$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 = 3.348134 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.876$
$\omega_2 = 9.709531 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.647$
$\omega_3 = 14.01917 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.448$
$\omega_4 = 18.85635 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.333$
$\omega_5 = 22.98023 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.273$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.876$	$C_1 = 0.0379$
$T_2 = 0.647$	$C_2 = 0.0666$
$T_3 = 0.448$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.333$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.273$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{vmatrix} 1 \\ 2.318 \\ 3.086 \\ 3.623 \\ 3.889 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{vmatrix} 1 \\ 1.072 \\ 0.449 \\ -0.457 \\ -1.075 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{vmatrix} 1 \\ -0.462 \\ -0.900 \\ -0.157 \\ 0.792 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{vmatrix} 1 \\ -2.847 \\ 1.163 \\ 2.413 \\ -2.065 \end{vmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{vmatrix} 1 \\ -5.435 \\ 9.130 \\ -8.492 \\ 3.824 \end{vmatrix}$$

#### Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$P_i^* = \phi_i^T M I$$

$$P_1^* = 17.2344 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_2^* = 2.049342 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_3^* = 0.9830 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_4^* = 0.5433 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_5^* = 0.365911 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$$M_1^* = 52.7841 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = 5.1275 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = 3.9196 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = 25.2480 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = 242.9577 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = 0.3265$$

$$\Gamma_2 = 0.3997$$

$$\Gamma_3 = 0.2508$$

$$\Gamma_4 = 0.0215$$

$$\Gamma_5 = 0.0015$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{vmatrix} 0.01083 \\ 0.02511 \\ 0.03342 \\ 0.03924 \\ 0.04212 \end{vmatrix} \text{ m}$$

$$(y_2) = \begin{vmatrix} 0.002769 \\ 0.002968 \\ 0.001243 \\ -0.001265 \\ -0.002977 \end{vmatrix} \text{ m}$$

$$(y_3) = \begin{vmatrix} 0.000876 \\ -0.0004 \\ -0.00079 \\ -0.00014 \\ 0.000694 \end{vmatrix}$$

$$(y_4) = \begin{vmatrix} 4.16E-05 \\ -0.00012 \\ 4.83E-05 \\ 0.0001 \\ -8.6E-05 \end{vmatrix} \text{ m}$$

$$(y_5) = \begin{vmatrix} 1.96E-06 \\ -1.1E-05 \\ 1.79E-05 \\ -1.7E-05 \\ 7.49E-06 \end{vmatrix} \text{ m}$$

#### Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{vmatrix} 0.2368 \\ 0.3420 \\ 0.4552 \\ 0.5345 \\ 0.5241 \end{vmatrix} \text{ kg}$$

$$F_2 = \begin{vmatrix} 0.5090 \\ 0.3400 \\ 0.1423 \\ -0.1449 \\ -0.3115 \end{vmatrix} \text{ kg}$$

$$F_3 = \begin{vmatrix} 0.3358 \\ -0.0967 \\ -0.1883 \\ -0.0329 \\ 0.1514 \end{vmatrix}$$

$$F_4 = \begin{vmatrix} 0.0288 \\ -0.0511 \\ 0.0209 \\ 0.0433 \\ -0.0339 \end{vmatrix} \text{ kg}$$

$$F_5 = \begin{vmatrix} 0.00202 \\ -0.00683 \\ 0.01147 \\ -0.01067 \\ 0.00439 \end{vmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01452$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02861$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03552$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04076$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04588$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.11244$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.52735$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.44160$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.38929$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.33452$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar (  $V_b$  )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.80519$$

$$280518.6 \text{ kg}$$

**Momen Guling Dasar (  $M_b$  )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 24.846 \text{ 1E5 kgm}$$

## Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat I ( $k_1$ )	60	%
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 16560000 \text{ kg/m}$		
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$		
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$		

### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	=	m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	=	k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.10626 \\ \lambda_2 &= 0.88532 \\ \lambda_3 &= 1.89845 \\ \lambda_4 &= 3.54537 \\ \lambda_5 &= 5.27981\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.259755 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.927$
$\omega_2 = 9.409144 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.667$
$\omega_3 = 13.77843 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.456$
$\omega_4 = 18.82915 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.334$
$\omega_5 = 22.97784 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.273$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.927$	$C_1 = 0.0367$
$T_2 = 0.667$	$C_2 = 0.0661$
$T_3 = 0.456$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.334$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.273$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.114 \\ 2.761 \\ 3.211 \\ 3.433 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.946 \\ 0.348 \\ -0.455 \\ -0.990 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.574 \\ -0.971 \\ -0.137 \\ 0.870 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -3.044 \\ 1.272 \\ 2.578 \\ -2.218 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -5.646 \\ 9.507 \\ -8.850 \\ 3.986 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$P_i^* = \phi_i^T M I$$

$$P_1^* = 15.58495 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_2^* = 1.870513 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_3^* = 0.8723 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_4^* = 0.4671 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_5^* = 0.313606 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_1^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$$M_1^* = 42.2494 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = 4.5234 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = 4.3583 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = 28.7073 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = 263.2902 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = 0.3689$$

$$\Gamma_2 = 0.4135$$

$$\Gamma_3 = 0.2001$$

$$\Gamma_4 = 0.0163$$

$$\Gamma_5 = 0.0012$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.01251 \\ 0.02644 \\ 0.03452 \\ 0.04015 \\ 0.04293 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_2) = \begin{bmatrix} 0.003029 \\ 0.002865 \\ 0.001054 \\ -0.001379 \\ -0.002997 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_3) = \begin{bmatrix} 0.000724 \\ -0.00042 \\ -0.0007 \\ -9.9E-05 \\ 0.00063 \end{bmatrix}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 3.15E-05 \\ -9.6E-05 \\ 4.01E-05 \\ 8.12E-05 \\ -7E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_5) = \begin{bmatrix} 1.55E-06 \\ -8.7E-06 \\ 1.47E-05 \\ -1.4E-05 \\ 6.18E-06 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.2591 \\ 0.3414 \\ 0.4457 \\ 0.5184 \\ 0.5064 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} 0.5228 \\ 0.3081 \\ 0.1134 \\ -0.1483 \\ -0.2945 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 0.2680 \\ -0.0958 \\ -0.1621 \\ -0.0229 \\ 0.1327 \end{bmatrix}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.0218 \\ -0.0413 \\ 0.0173 \\ 0.0350 \\ -0.0275 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_5 = \begin{bmatrix} 0.00159 \\ -0.00561 \\ 0.00945 \\ -0.00879 \\ 0.00362 \end{bmatrix} \text{ kg}$$



Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

$$\text{Tingkat ke-1} \quad y_1 = 0.01629 \text{ m}$$

$$\text{Tingkat ke-2} \quad y_2 = 0.02983 \text{ m}$$

$$\text{Tingkat ke-3} \quad y_3 = 0.03633 \text{ m}$$

$$\text{Tingkat ke-4} \quad y_4 = 0.04172 \text{ m}$$

$$\text{Tingkat ke-5} \quad y_5 = 0.04664 \text{ m}$$

**Gaya horisontal tingkat**

$$\text{Tingkat ke-1} \quad F_1 = 1.07334 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-2} \quad F_2 = 0.50675 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-3} \quad F_3 = 0.42372 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-4} \quad F_4 = 0.37330 \text{ kg}$$

$$\text{Tingkat ke-5} \quad F_5 = 0.32069 \text{ kg}$$

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.69780$$

$$269780.5 \text{ kg}$$

**Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_i * h_j$$

$$M_b = 23.857 \text{ 1E5 kgm}$$

## Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 2 ( $k_2$ )	90	%
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$		
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 11700000 \text{ kg/m}$		
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$		

### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	=	m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	=	k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.11836$
$\lambda_2 = 1.06892$
$\lambda_3 = 2.14269$
$\lambda_4 = 3.51481$
$\lambda_5 = 5.26293$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.44028 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.825$
$\omega_2 = 10.3389 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.607$
$\omega_3 = 14.6379 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.429$
$\omega_4 = 18.7478 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.335$
$\omega_5 = 22.9411 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.274$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.825$	$C_1 = 0.0391$
$T_2 = 0.607$	$C_2 = 0.0675$
$T_3 = 0.429$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.335$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.274$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 3.162 \\ 4.302 \\ 5.102 \\ 5.498 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.577 \\ 0.823 \\ -0.519 \\ -1.490 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.212 \\ -0.688 \\ -0.180 \\ 0.586 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.499 \\ 1.115 \\ 2.113 \\ -1.847 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -5.413 \\ 9.482 \\ -8.938 \\ 4.045 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$\begin{array}{lll}
 P_i^* = \phi_i^T M I & M_i^* = \phi_i^T M \phi_i & \Gamma_i = \\
 P_1^* = 23.3196 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 101.7579 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_1 = 0.2292 \\
 P_2^* = 2.58207 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 8.5885 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.3006 \\
 P_3^* = 1.2881 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 2.9996 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.4294 \\
 P_4^* = 0.7853 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 20.2601 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0388 \\
 P_5^* = 0.52455 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 261.9922 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0020
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$\begin{array}{lll}
 (y_1) = \begin{bmatrix} 0.00742 \\ 0.02347 \\ 0.03193 \\ 0.03787 \\ 0.04081 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_2) = \begin{bmatrix} 0.001862 \\ 0.002938 \\ 0.001533 \\ -0.000966 \\ -0.002775 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_3) = \begin{bmatrix} 0.001376 \\ -0.00029 \\ -0.00095 \\ -0.00025 \\ 0.000806 \end{bmatrix} \text{ m} \\
 (y_4) = \begin{bmatrix} 7.57E-05 \\ -0.00019 \\ 8.45E-05 \\ 0.00016 \\ -0.00014 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_5) = \begin{bmatrix} 2.61E-06 \\ -1.4E-05 \\ 2.48E-05 \\ -2.3E-05 \\ 1.06E-05 \end{bmatrix} \text{ m} &
 \end{array}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$\begin{array}{lll}
 F_1 = \begin{bmatrix} 0.1713 \\ 0.3375 \\ 0.4592 \\ 0.5446 \\ 0.5362 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_2 = \begin{bmatrix} 0.3882 \\ 0.3815 \\ 0.1991 \\ -0.1255 \\ -0.3293 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_3 = \begin{bmatrix} 0.5750 \\ -0.0760 \\ -0.2465 \\ -0.0644 \\ 0.1917 \end{bmatrix} \text{ kg} \\
 F_4 = \begin{bmatrix} 0.0519 \\ -0.0808 \\ 0.0361 \\ 0.0683 \\ -0.0546 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_5 = \begin{bmatrix} 0.00268 \\ -0.00904 \\ 0.01584 \\ -0.01493 \\ 0.00617 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 \end{array}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01074$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02690$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03452$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03927$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04455$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.18911$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.55314$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.46364$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.40811$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.35019$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.96419$$

$$296419 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 26.124 \text{ 1E5 kg m}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

#### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 2 ( $k_2$ )	80 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 10400000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

#### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.11198 \\ \lambda_2 &= 1.06338 \\ \lambda_3 &= 2.07545 \\ \lambda_4 &= 3.43940 \\ \lambda_5 &= 5.24383\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 = 3.34633 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.877$
$\omega_2 = 10.312 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.609$
$\omega_3 = 14.4064 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.436$
$\omega_4 = 18.5456 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.339$
$\omega_5 = 22.8994 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.274$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.877$	$C_1 = 0.0379$
$T_2 = 0.609$	$C_2 = 0.0675$
$T_3 = 0.436$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.339$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.274$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 3.444 \\ 4.583 \\ 5.379 \\ 5.774 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.660 \\ 0.859 \\ -0.552 \\ -1.571 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.238 \\ -0.616 \\ -0.141 \\ 0.529 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.795 \\ 1.454 \\ 2.365 \\ -2.154 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -6.178 \\ 11.348 \\ -10.852 \\ 4.937 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$\begin{array}{lll}
 P_1^* = \phi_1^T M I & M_1^* = \phi_1^T M \phi_1 & \Gamma_1 = 0.2161 \\
 P_1^* = 24.6474 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 114.0419 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.2790 \\
 P_2^* = 2.5955 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 9.3042 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.4726 \\
 P_3^* = 1.3298 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 2.8139 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0309 \\
 P_4^* = 0.8025 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 25.9539 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0014 \\
 P_5^* = 0.52643 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 374.9288 \text{ kg dt}^2/\text{m} &
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$\begin{array}{lll}
 (y_1) = \begin{bmatrix} 0.00717 \\ 0.02470 \\ 0.03287 \\ 0.03858 \\ 0.04141 \end{bmatrix} \text{ m} &
 (y_2) = \begin{bmatrix} 0.001736 \\ 0.002882 \\ 0.001491 \\ -0.000959 \\ -0.002727 \end{bmatrix} \text{ m} &
 (y_3) = \begin{bmatrix} 0.001564 \\ -0.00037 \\ -0.00096 \\ -0.00022 \\ 0.000827 \end{bmatrix} \text{ m} \\
 \\
 (y_4) = \begin{bmatrix} 6.17E-05 \\ -0.00017 \\ 8.98E-05 \\ 0.000146 \\ -0.00013 \end{bmatrix} \text{ m} &
 (y_5) = \begin{bmatrix} 1.84E-06 \\ -1.1E-05 \\ 2.09E-05 \\ -2E-05 \\ 9.08E-06 \end{bmatrix} \text{ m} &
 \end{array}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$\begin{array}{lll}
 F_1 = \begin{bmatrix} 0.1566 \\ 0.3361 \\ 0.4472 \\ 0.5250 \\ 0.5148 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_2 = \begin{bmatrix} 0.3600 \\ 0.3723 \\ 0.1926 \\ -0.1238 \\ -0.3219 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_3 = \begin{bmatrix} 0.6328 \\ -0.0937 \\ -0.2427 \\ -0.0555 \\ 0.1906 \end{bmatrix} \text{ kg} \\
 \\
 F_4 = \begin{bmatrix} 0.0414 \\ -0.0721 \\ 0.0375 \\ 0.0610 \\ -0.0508 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_5 = \begin{bmatrix} 0.00188 \\ -0.00724 \\ 0.01329 \\ -0.01271 \\ 0.00528 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 \end{array}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01054$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02814$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03544$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03993$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04511$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.19272$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.53537$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.44792$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.39395$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.33796$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.90793$$

$$290793 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 25.382 \text{ 1E5 kg m}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

#### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 2 ( $k_2$ )	70 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 9100000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

#### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	= k

#### Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.10468$
$\lambda_2 = 1.05664$
$\lambda_3 = 2.0013$
$\lambda_4 = 3.37071$
$\lambda_5 = 5.22704$

#### Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 = 3.23541 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.941$
$\omega_2 = 10.2793 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.611$
$\omega_3 = 14.1467 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.444$
$\omega_4 = 18.3595 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.342$
$\omega_5 = 22.8627 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.275$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.941$	$C_1 = 0.0364$
$T_2 = 0.611$	$C_2 = 0.0674$
$T_3 = 0.444$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.342$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.275$	$C_5 = 0.0700$



Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 3.809 \\ 4.947 \\ 5.739 \\ 6.131 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.769 \\ 0.905 \\ -0.597 \\ -1.678 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.256 \\ -0.542 \\ -0.104 \\ 0.473 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -3.190 \\ 1.893 \\ 2.716 \\ -2.573 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -7.168 \\ 13.760 \\ -13.328 \\ 6.091 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$\begin{array}{lll}
 P_1^* = \phi_1^T M I & M_1^* = \phi_1^T M \phi_1 & \Gamma_1 = 0.2012 \\
 P_1^* = 26.3663 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 131.0486 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \\
 P_2^* = 2.61205 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 10.3039 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.2535 \\
 P_3^* = 1.3791 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 2.6473 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.5209 \\
 P_4^* = 0.8187 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 34.9812 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0234 \\
 P_5^* = 0.52775 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 551.4303 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0010
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00686 \\ 0.02613 \\ 0.03393 \\ 0.03937 \\ 0.04206 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_2) = \begin{bmatrix} 0.001587 \\ 0.002806 \\ 0.001437 \\ -0.000946 \\ -0.002662 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_3) = \begin{bmatrix} 0.001787 \\ -0.00046 \\ -0.00097 \\ -0.00019 \\ 0.000845 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 4.77E-05 \\ -0.00015 \\ 9.03E-05 \\ 0.00013 \\ -0.00012 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_5) = \begin{bmatrix} 1.26E-06 \\ -9E-06 \\ 1.73E-05 \\ -1.7E-05 \\ 7.66E-06 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.1400 \\ 0.3323 \\ 0.4316 \\ 0.5007 \\ 0.4887 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_2 = \begin{bmatrix} 0.3269 \\ 0.3603 \\ 0.1844 \\ -0.1215 \\ -0.3122 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_3 = \begin{bmatrix} 0.6976 \\ -0.1111 \\ -0.2355 \\ -0.0453 \\ 0.1877 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.0313 \\ -0.0623 \\ 0.0370 \\ 0.0530 \\ -0.0459 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_5 = \begin{bmatrix} 0.00128 \\ -0.00572 \\ 0.01099 \\ -0.01064 \\ 0.00444 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horizontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01028$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02955$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03645$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04065$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04569$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.19713$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.51348$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.42845$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.37631$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.32268$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.83805$$

$$283805 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 24.459 \text{ 1E5 kg m}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

#### Data Masukan :

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 2 ( $k_2$ )	60 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 7800000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

#### Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.09625 \\ \lambda_2 &= 1.04831 \\ \lambda_3 &= 1.92094 \\ \lambda_4 &= 3.30895 \\ \lambda_5 &= 5.21226\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.10245 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 2.024$
$\omega_2 = 10.2387 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.613$
$\omega_3 = 13.8598 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.453$
$\omega_4 = 18.1905 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.345$
$\omega_5 = 22.8304 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.275$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 2.024$	$C_1 = 0.0350$
$T_2 = 0.613$	$C_2 = 0.0674$
$T_3 = 0.453$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.345$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.275$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 4.298 \\ 5.435 \\ 6.223 \\ 6.611 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.918 \\ 0.969 \\ -0.658 \\ -1.824 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.264 \\ -0.467 \\ -0.071 \\ 0.416 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -3.734 \\ 2.485 \\ 3.214 \\ -3.157 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -8.492 \\ 16.989 \\ -16.645 \\ 7.639 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horizontal, kontribusi masing masing mode**

$$\begin{array}{lll}
 P_1^* = \phi_1^T M I & M_1^* = \phi_1^T M \phi_1 & \Gamma_1 = 0.1840 \\
 P_1^* = 28.6747 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 155.8489 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.2235 \\
 P_2^* = 2.63281 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 11.7790 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.5752 \\
 P_3^* = 1.4368 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 2.4980 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.0167 \\
 P_4^* = 0.8341 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 50.0145 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0006 \\
 P_5^* = 0.52953 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 841.6749 \text{ kg dt}^2/\text{m} &
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00656 \\ 0.02821 \\ 0.03567 \\ 0.04084 \\ 0.04339 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_2) = \begin{bmatrix} 0.001409 \\ 0.002702 \\ 0.001365 \\ -0.000927 \\ -0.00257 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_3) = \begin{bmatrix} 0.002056 \\ -0.00054 \\ -0.00096 \\ -0.00015 \\ 0.000855 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 3.46E-05 \\ -0.00013 \\ 8.6E-05 \\ 0.000111 \\ -0.00011 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_5) = \begin{bmatrix} 8.29E-07 \\ -7E-06 \\ 1.41E-05 \\ -1.4E-05 \\ 6.33E-06 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horizontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$\begin{array}{lll}
 F_1 = \begin{bmatrix} 0.1232 \\ 0.3299 \\ 0.4172 \\ 0.4776 \\ 0.4636 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_2 = \begin{bmatrix} 0.2880 \\ 0.3441 \\ 0.1739 \\ -0.1181 \\ -0.2991 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_3 = \begin{bmatrix} 0.7702 \\ -0.1266 \\ -0.2242 \\ -0.0342 \\ 0.1824 \end{bmatrix} \text{ kg} \\
 F_4 = \begin{bmatrix} 0.0223 \\ -0.0520 \\ 0.0346 \\ 0.0447 \\ -0.0401 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 F_5 = \begin{bmatrix} 0.00084 \\ -0.00446 \\ 0.00892 \\ -0.00874 \\ 0.00366 \end{bmatrix} \text{ kg} &
 \end{array}$$

Simpangan horizontal menurut konsep *Upper Bound Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01006$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.03159$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03810$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04204$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04693$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.20458$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.49095$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.41035$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.36134$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.31040$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.77761$$

$$277761 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 23.652 \text{ 1E5 kg m}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 3 ( $k_3$ )	90 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 16380000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m} = \text{m}$
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m} = \text{k}$

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.12118 \\ \lambda_2 &= 1.0607 \\ \lambda_3 &= 2.1814 \\ \lambda_4 &= 3.48158 \\ \lambda_5 &= 5.13692\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$$\begin{aligned}\omega_1 &= (\lambda \text{ k/m})^{0.5} & T_1 &= (2\pi/\omega_1) \\ \omega_1 &= 3.48103 \text{ rad/dt} & T_1 &= 1.804 \\ \omega_2 &= 10.299 \text{ rad/dt} & T_2 &= 0.610 \\ \omega_3 &= 14.7696 \text{ rad/dt} & T_3 &= 0.425 \\ \omega_4 &= 18.659 \text{ rad/dt} & T_4 &= 0.337 \\ \omega_5 &= 22.6648 \text{ rad/dt} & T_5 &= 0.277\end{aligned}$$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.804$	$C_1 = 0.0396$
$T_2 = 0.610$	$C_2 = 0.0674$
$T_3 = 0.425$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.337$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.277$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.941 \\ 4.218 \\ 5.025 \\ 5.426 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.532 \\ 0.749 \\ -0.486 \\ -1.377 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.149 \\ -0.820 \\ -0.230 \\ 0.695 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2.099 \\ 0.862 \\ 1.524 \\ -1.356 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -4.582 \\ 8.447 \\ -8.795 \\ 4.123 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$P_i^* = \phi_i^T M I$$

$$P_1^* = 22.7768 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_2^* = 2.60203 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_3^* = 1.2652 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_4^* = 0.7927 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_5^* = 0.53713 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_1^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$$M_1^* = 97.4389 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = 7.8752 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = 3.3937 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = 13.0701 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = 227.0126 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = 0.2338$$

$$\Gamma_2 = 0.3304$$

$$\Gamma_3 = 0.3728$$

$$\Gamma_4 = 0.0606$$

$$\Gamma_5 = 0.0024$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00749 \\ 0.02203 \\ 0.03159 \\ 0.03764 \\ 0.04064 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_2) = \begin{bmatrix} 0.002061 \\ 0.003157 \\ 0.001543 \\ -0.001002 \\ -0.002838 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_3) = \begin{bmatrix} 0.001174 \\ -0.00017 \\ -0.00096 \\ -0.00027 \\ 0.000816 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 0.00012 \\ -0.00025 \\ 0.000103 \\ 0.000182 \\ -0.00016 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_5) = \begin{bmatrix} 3.16E-06 \\ -1.4E-05 \\ 2.67E-05 \\ -2.8E-05 \\ 1.3E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.1770 \\ 0.3243 \\ 0.4651 \\ 0.5541 \\ 0.5466 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} 0.4263 \\ 0.4069 \\ 0.1989 \\ -0.1291 \\ -0.3341 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 0.4992 \\ -0.0464 \\ -0.2550 \\ -0.0714 \\ 0.1975 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.0812 \\ -0.1062 \\ 0.0436 \\ 0.0771 \\ -0.0627 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_5 = \begin{bmatrix} 0.00317 \\ -0.00905 \\ 0.01668 \\ -0.01736 \\ 0.00744 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horizontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01085$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02563$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03422$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03912$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04447$ m

**Gaya horizontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.18683$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.56960$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.46928$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.41328$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.35472$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.99371$$

$$299371 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 26.4679 \text{ 1E5 kgm}$$



### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat ( $m_i$ )	Kekakuan Tingkat 3 ( $k_3$ )	80	%
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$		
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$		
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 14560000 \text{ kg/m}$		
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$		
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$		

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	100000 $\text{kg dt}^2/\text{m}$	=	m
unit kekakuan	1E+07 $\text{kg/m}$	=	k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.11783 \\ \lambda_2 &= 1.04493 \\ \lambda_3 &= 2.1539 \\ \lambda_4 &= 3.35318 \\ \lambda_5 &= 5.01235\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_i = (\lambda_i \text{ k/m})^{0.5}$	$T_i = (2\pi/\omega_i)$
$\omega_1 = 3.43265 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.829$
$\omega_2 = 10.2222 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.614$
$\omega_3 = 14.6762 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.428$
$\omega_4 = 18.3117 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.343$
$\omega_5 = 22.3883 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.281$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.829$	$C_1 = 0.0390$
$T_2 = 0.614$	$C_2 = 0.0673$
$T_3 = 0.428$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.343$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.281$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.946 \\ 4.394 \\ 5.207 \\ 5.610 \end{bmatrix} \quad (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.556 \\ 0.695 \\ -0.478 \\ -1.318 \end{bmatrix} \quad (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.108 \\ -0.903 \\ -0.241 \\ 0.768 \end{bmatrix} \quad (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.907 \\ 0.833 \\ 1.160 \\ -1.110 \end{bmatrix} \quad (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -4.395 \\ 9.172 \\ -10.665 \\ 5.185 \end{bmatrix}$$

#### Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$\begin{aligned} P_i^* &= \phi_i^T M \mathbf{1} & M_i^* &= \phi_i^T M \phi_i & \Gamma_i &= \\ P_1^* &= 23.4233 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* &= 103.8440 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_1 &= 0.2256 \\ P_2^* &= 2.64134 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* &= 7.6834 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 &= 0.3438 \\ P_3^* &= 1.2814 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* &= 3.6800 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 &= 0.3482 \\ P_4^* &= 0.8231 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* &= 10.2129 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 &= 0.0806 \\ P_5^* &= 0.55058 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* &= 295.6690 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 &= 0.0019 \end{aligned}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$\begin{aligned} (y_1) &= \begin{bmatrix} 0.00732 \\ 0.02157 \\ 0.03217 \\ 0.03812 \\ 0.04107 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_2) &= \begin{bmatrix} 0.002173 \\ 0.003381 \\ 0.001511 \\ -0.001039 \\ -0.002864 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_3) &= \begin{bmatrix} 0.00111 \\ -0.00012 \\ -0.001 \\ -0.00027 \\ 0.000852 \end{bmatrix} \text{ m} \\ (y_4) &= \begin{bmatrix} 0.000165 \\ -0.00031 \\ 0.000138 \\ 0.000191 \\ -0.00018 \end{bmatrix} \text{ m} & (y_5) &= \begin{bmatrix} 2.55\text{E-}06 \\ -1.1\text{E-}05 \\ 2.34\text{E-}05 \\ -2.7\text{E-}05 \\ 1.32\text{E-}05 \end{bmatrix} \text{ m} \end{aligned}$$

#### Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$\begin{aligned} F_1 &= \begin{bmatrix} 0.1682 \\ 0.3088 \\ 0.4606 \\ 0.5458 \\ 0.5372 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_2 &= \begin{bmatrix} 0.4428 \\ 0.4292 \\ 0.1918 \\ -0.1319 \\ -0.3322 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_3 &= \begin{bmatrix} 0.4663 \\ -0.0313 \\ -0.2624 \\ -0.0700 \\ 0.2038 \end{bmatrix} \text{ kg} \\ F_4 &= \begin{bmatrix} 0.1079 \\ -0.1282 \\ 0.0560 \\ 0.0780 \\ -0.0682 \end{bmatrix} \text{ kg} & F_5 &= \begin{bmatrix} 0.00249 \\ -0.00683 \\ 0.01425 \\ -0.01657 \\ 0.00736 \end{bmatrix} \text{ kg} \end{aligned}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01077$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02540$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03485$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.03965$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04499$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.18770$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.57166$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.46030$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.40535$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.34799$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.97300$$
$$297300 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 26.139 \text{ 1E5 kgm}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 3 ( $k_3$ )	70 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 12740000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$\lambda_1 = 0.11375$
$\lambda_2 = 1.02524$
$\lambda_3 = 2.11798$
$\lambda_4 = 3.21602$
$\lambda_5 = 4.90961$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 = 3.37274 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.862$
$\omega_2 = 10.1254 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.620$
$\omega_3 = 14.5533 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.432$
$\omega_4 = 17.9333 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.350$
$\omega_5 = 22.1576 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.283$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.862$	$C_1 = 0.0382$
$T_2 = 0.620$	$C_2 = 0.0672$
$T_3 = 0.432$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.350$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.283$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.952 \\ 4.624 \\ 5.444 \\ 5.849 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.585 \\ 0.632 \\ -0.467 \\ -1.247 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ -0.054 \\ -1.020 \\ -0.254 \\ 0.871 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.701 \\ 0.760 \\ 0.851 \\ -0.885 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -4.241 \\ 10.269 \\ -13.232 \\ 6.635 \end{bmatrix}$$

**Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode**

$$\begin{array}{lll}
 P_1^* = \phi_1^T M I & M_1^* = \phi_1^T M \phi_1 & \Gamma_1 = 0.2157 \\
 P_1^* = 24.2629 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_1^* = 112.5091 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_2 = 0.3598 \\
 P_2^* = 2.69207 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_2^* = 7.4815 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_3 = 0.3148 \\
 P_3^* = 1.3032 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_3^* = 4.1402 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_4 = 0.1084 \\
 P_4^* = 0.8583 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_4^* = 7.9163 \text{ kg dt}^2/\text{m} & \Gamma_5 = 0.0014 \\
 P_5^* = 0.56239 \text{ kg dt}^2/\text{m} & M_5^* = 413.5195 \text{ kg dt}^2/\text{m} &
 \end{array}$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_1^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00711 \\ 0.02099 \\ 0.03288 \\ 0.03870 \\ 0.04158 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_2) = \begin{bmatrix} 0.002314 \\ 0.003668 \\ 0.001463 \\ -0.001081 \\ -0.002886 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_3) = \begin{bmatrix} 0.001021 \\ -5.5E-05 \\ -0.00104 \\ -0.00026 \\ 0.000889 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 0.000232 \\ -0.00039 \\ 0.000176 \\ 0.000197 \\ -0.0002 \end{bmatrix} \text{ m} \quad
 (y_5) = \begin{bmatrix} 1.9E-06 \\ -8.1E-06 \\ 1.95E-05 \\ -2.5E-05 \\ 1.26E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$$

**Gaya horisontal tiap mode**

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.1577 \\ 0.2901 \\ 0.4544 \\ 0.5349 \\ 0.5251 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_2 = \begin{bmatrix} 0.4625 \\ 0.4569 \\ 0.1823 \\ -0.1347 \\ -0.3284 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_3 = \begin{bmatrix} 0.4215 \\ -0.0142 \\ -0.2680 \\ -0.0668 \\ 0.2091 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.1452 \\ -0.1539 \\ 0.0687 \\ 0.0770 \\ -0.0731 \end{bmatrix} \text{ kg} \quad
 F_5 = \begin{bmatrix} 0.00182 \\ -0.00481 \\ 0.01165 \\ -0.01501 \\ 0.00688 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

Simpangan horisontal menurut konsep *Upper Bound/Absolute Response*

Tingkat ke-1	$y_1 = 0.01068$ m
Tingkat ke-2	$y_2 = 0.02511$ m
Tingkat ke-3	$y_3 = 0.03558$ m
Tingkat ke-4	$y_4 = 0.04026$ m
Tingkat ke-5	$y_5 = 0.04558$ m

**Gaya horisontal tingkat**

Tingkat ke-1	$F_1 = 1.18872$ kg
Tingkat ke-2	$F_2 = 0.57412$ kg
Tingkat ke-3	$F_3 = 0.44905$ kg
Tingkat ke-4	$F_4 = 0.39538$ kg
Tingkat ke-5	$F_5 = 0.33949$ kg

**Maka Gaya Geser Dasar ( $V_b$ )**

$$V_b = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$V_b = 2.94677$$

$$294677 \text{ kg}$$

**Menghitung Momen Guling Dasar ( $M_b$ )**

$$M_b = \sum F_j * h_j$$

$$M_b = 25.7241 \text{ 1E5 kgm}$$

### Menghitung Gaya Geser Dasar dan Momen Guling

**Data Masukan :**

Masa Tingkat	Kekakuan Tingkat 3 ( $k_3$ )	60 %
$m_1 = 195000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_1 = 27600000 \text{ kg/m}$	
$m_2 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_2 = 13000000 \text{ kg/m}$	
$m_3 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_3 = 10920000 \text{ kg/m}$	
$m_4 = 121500 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_4 = 18200000 \text{ kg/m}$	
$m_5 = 111000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	$k_5 = 18200000 \text{ kg/m}$	

**Untuk mempermudah hitungan, maka dibuat unit satuan :**

unit masa	$100000 \text{ kg dt}^2/\text{m}$	= m
unit kekakuan	$1\text{E}+07 \text{ kg/m}$	= k

Nilai-nilai akar dari persamaan eigen problem

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= 0.10868 \\ \lambda_2 &= 1.00019 \\ \lambda_3 &= 2.07071 \\ \lambda_4 &= 3.07745 \\ \lambda_5 &= 4.82597\end{aligned}$$

Menghitung nilai frekuensi sudut ( $\omega$ ) dan periode (T) :

$\omega_1 = (\lambda \text{ k/m})^{0.5}$	$T_1 = (2\pi/\omega_1)$
$\omega_1 = 3.29668 \text{ rad/dt}$	$T_1 = 1.905$
$\omega_2 = 10.001 \text{ rad/dt}$	$T_2 = 0.628$
$\omega_3 = 14.39 \text{ rad/dt}$	$T_3 = 0.436$
$\omega_4 = 17.5427 \text{ rad/dt}$	$T_4 = 0.358$
$\omega_5 = 21.9681 \text{ rad/dt}$	$T_5 = 0.286$

Koefesien gempa dasar ( C ) diperoleh dari grafik antara periode vs C dari buku " Pedoman Perencanaan Struktur Beton Bertulang Biasa dan Struktur Tembok Bertulang untuk Gedung 1983 " pada wilayah gempa 2 dan tanah keras

Nilai periode ( T )	Nilai koefesien gempa dasar ( C )
$T_1 = 1.905$	$C_1 = 0.0372$
$T_2 = 0.628$	$C_2 = 0.0670$
$T_3 = 0.436$	$C_3 = 0.0700$
$T_4 = 0.358$	$C_4 = 0.0700$
$T_5 = 0.286$	$C_5 = 0.0700$

Mode shape ( $\phi$ ) didapat dengan mensubstitusikan akar-akar ( $\lambda$ ) ke dalam persamaan eigen problem

$$(\phi)_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.960 \\ 4.936 \\ 5.763 \\ 6.172 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1.623 \\ 0.558 \\ -0.453 \\ -1.162 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_3 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0.017 \\ -1.192 \\ -0.270 \\ 1.026 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1.493 \\ 0.651 \\ 0.600 \\ -0.684 \end{bmatrix} \quad
 (\phi)_5 = \begin{bmatrix} 1 \\ -4.116 \\ 11.894 \\ -16.820 \\ 8.655 \end{bmatrix}$$

Simpangan horisontal, kontribusi masing masing mode

$$P_i^* = \phi_i^T M I$$

$$P_1^* = 25.3955 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_2^* = 2.75946 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_3^* = 1.3329 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_4^* = 0.8968 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$P_5^* = 0.57182 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_i^* = \phi_i^T M \phi_i$$

$$M_1^* = 124.8220 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_2^* = 7.2768 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_3^* = 4.9343 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_4^* = 6.1308 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$M_5^* = 621.3047 \text{ kg dt}^2/\text{m}$$

$$\Gamma_1 = 0.2035$$

$$\Gamma_2 = 0.3792$$

$$\Gamma_3 = 0.2701$$

$$\Gamma_4 = 0.1463$$

$$\Gamma_5 = 0.0009$$

$$(y_i) = (\phi)_i P_i^* C g / (M_i^* \omega^2)$$

$$(y_1) = \begin{bmatrix} 0.00684 \\ 0.02023 \\ 0.03374 \\ 0.03939 \\ 0.04219 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_2) = \begin{bmatrix} 0.002493 \\ 0.004045 \\ 0.001392 \\ -0.00113 \\ -0.002897 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_3) = \begin{bmatrix} 0.000896 \\ 1.52E-05 \\ -0.00107 \\ -0.00024 \\ 0.000919 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_4) = \begin{bmatrix} 0.000326 \\ -0.00049 \\ 0.000213 \\ 0.000196 \\ -0.00022 \end{bmatrix} \text{ m}$$

$$(y_5) = \begin{bmatrix} 1.31E-06 \\ -5.4E-06 \\ 1.56E-05 \\ -2.2E-05 \\ 1.13E-05 \end{bmatrix} \text{ m}$$

Gaya horisontal tiap mode

$$F_i = M \phi_i \Gamma_i C g$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} 0.1449 \\ 0.2672 \\ 0.4455 \\ 0.5202 \\ 0.5090 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} 0.4861 \\ 0.4916 \\ 0.1691 \\ -0.1373 \\ -0.3216 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_3 = \begin{bmatrix} 0.3617 \\ 0.0038 \\ -0.2687 \\ -0.0608 \\ 0.2112 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_4 = \begin{bmatrix} 0.1959 \\ -0.1822 \\ 0.0795 \\ 0.0732 \\ -0.0763 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

$$F_5 = \begin{bmatrix} 0.00123 \\ -0.00316 \\ 0.00913 \\ -0.01292 \\ 0.00607 \end{bmatrix} \text{ kg}$$