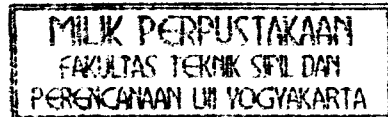


TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENEMPATAN EFEKTIF REDAMAN GANDA
UNTUK MENGURANGI RESIKO BENTURAN STRUKTUR
PADA STRUKTUR BERTINGKAT ENAM DAN DELAPAN**

*(The Effective Placement Analysis of Double Dampers to Reduce Structural
Pounding Risks on The Six-Storey and Eight-Storey Models of Structures)*



Disusun Oleh :

Nama : Putut Sukmawan

No. Mhs : 95 310 216

Nama : Joko Kurniawan

No. Mhs : 95 310 222

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2001/2002**

HALAMAN PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENEMPATAN EFEKTIF REDAMAN GANDA
UNTUK MENGURANGI RESIKO BENTURAN STRUKTUR
PADA STRUKTUR BERTINGKAT ENAM DAN DELAPAN**
*(The Effective Placement Analysis of Double Dampers to Reduce Structural
Pounding Risks on The Six-Storey and Eight-Storey Models of Structures)*

Diajukan sebagai syarat memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik
Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh :

Putut Sukmawan

No. Mhs. : 95 310 216

NIRM : 950051013114120213

Joko Kurniawan

No. Mhs. : 95 310 222

NIRM : 950051013114120219

Diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Moch. Teguh, MSCE

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Sarwidi, MSCE, Ph.D

Dosen Pembimbing II



Tanggal: 13/06/2002



Tanggal: 13/06/2002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini kami persembahkan untuk :

- 1. Kedua orang tua kami yang telah membimbing, mendidik dan membesarkan kami,**
- 2. Kakak, adik dan saudara kami yang kami sayangi,**
- 3. Teman-teman seiman dan seperjuangan,**
- 4. Orang-orang yang telah ikut membantu kami,**
- 5. Almamaterku Universitas Islam Indonesia,**
- 6. Bangsaku tercinta, dan**
- 7. Pembaca yang budiman**

Alhamdulillah hi robbil 'allamin, saya ucapkan puji syukur dan terima kasih pada-Mu ya Allah yang telah memberikan segala rahmat, petunjuk, dan kekuatan padaku sehingga saya dapat menyelesaikan salah satu perintahmu yaitu menuntut ilmu demi kemajuan dan kemaslahatan manusia di Dunia dan di Akhirat kelak. Dan berikanlah pada hamba-Mu ini kekuatan untuk dapat membaca dan mensyukuri atas segala Kebesaran-Mu dan Nikmat-Mu. Saya memohon pada-Mu ya Allah kuatkanlah iman dan ilmu ku agar aku dapat mengangkat derajat diriku, keluargaku, bangsaku dan agamaku seperti yang telah Kau janjikan.

Selain itu saya ucapkan terima kasih kepada orang-orang yang telah turut membantu terselesainya Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Bapak dan Mamah tersayang yang telah melahirkan, membesarkan, membimbing dan mendidik Nanang. Nanang mohon maaf kepada bapak karena tidak dapat menyaksikan Nanang berhasil menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini pertama-tama Nanang dedikasikan pada Bapak yang telah memberikan pelajaran tentang besarnya makna akan kebangsaan dan pengabdian pada bangsa dan agama. Ya Allah ampuni segala dosa-dosa kedua orang tuaku dan kasihanilah mereka berdua karena mereka telah mengasahani aku mulai sejak kecil. Dan terimalah segala amal ibadah mereka, ya Allah.

mBak Agus kakak perempuanku dan suami kakakku mas Dalwadi tak lupa juga Irul dan Akbar yang semuanya mirip dengan ibunya serba tidak mau mengalah dan bikin jengkel orang lain. Itulah warna hidup keluarga kita, Keluarga Kasijo.

Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE dan Bapak Ir. H. Sarwidi, MSCE, PhD yang keduanya sebagai dosen pembimbing I dan II. Dari bapak berdua kami jadi dilatih dan diuji kesabaran dan kecermatan kami saat berkonsultasi. Serta Bapak Ir. H. Susastrawan, MS sebagai dosen tamu terima kasih atas masukan, saran dan pertanyaan yang membimbing kami untuk lebih meningkatkan pemahaman. Juga terima kasih atas suasana yang terbentuk saat pengujian berlangsung sehingga tidak membuat kami yang sudah *nervous* menjadi tambah *nervous*.

Pak Naryo, Mas Heri, Pak Basuki dan semua karyawan U11 terutama bagian Perpustakaan, Pengajaran, CEEDERS, Sekretariat S2 saya ucapkan terima kasih atas bantuannya demi kelancaran Tugas Akhir ini.

Musik-musik Enya, Mozart and Yanni yang membantu membangkitkan inspirasi, kekuatan akan cinta-hidup dan juga mengiringiku dan menemaniku untuk nglembur sampai *'midnite-dawn'*. Häkkinen yang menginspirasi dan membangkitkan semangat daya juangku untuk lebih belajar melatih konsentrasiku.

Putut *"my team mate n my manager"* terima kasih atas kerjasamanya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Aku mesti belajar soal 'percaya diri' padamu. Tapi aku menilai itu percaya diri jangan terlalu tinggi, bisa² menghancurkan diri sendiri! Oya klo di luar senyum², giliran pas di-Uji kok malah *'no smile action'*. Hampir bikin aku mumet n *nervous* tuch liat wajahmu, untung aku nggak terbawa-bawa dan selalu *keep on smile*. Suatu kebetulan bila tanggal pendadaran kita bertepatan dengan tanggal dimana terjadi gempa El Centro 6.2 tahun yang lalu tepatnya 18 Mei 1940. Kebetulan juga gempa tersebut dipakai sebagai data *time history* dalam analisis TA ini. Tanggal tersebut tak akan pernah terlupakan, terutama *'moment'* yang terjadi pada saat pengujian (*UNFORGETTABLE MOMENT*). Nah sekarang giliranmu untuk PROKLAMASI-nya kapan? Kan udah diporsir tuch hati selama nyusun TA hingga lupa lautan

eh... daratan, hampir saja TA-nya Kalau udah saatnya mau apalagi?! Insya Allah, nanti aku menyusul secepatnya!

Tak lupa untuk rekan-rekan seperjuangan yaitu Rere dan Beby yang jadi rekan berdiskusi. Saya ucapkan selamat atas wisuda kalian, hampir saja Djoko dan Gtg, Dhony dan Hasan, Firdaus dan Eko, Aan dan Jawad, Limpat dan Iwan sebagian dari rekan seperjuangan. Benar² perjuangan yang melelahkan untuk dapat mempertahankan posisi agar tidak di-*overlap* kalian. Tapi hukum *FIFO-First In First Out* masih menyertai kami. Dan juga seluruh rekan-rekan dari kelas C, D, E, F angkatan 95 saya ucapkan terima kasih. Maaf tidak dapat kami sebutkan satu persatu karena keterbatasan tempat.

The Credits

Writer	:	Putut Sukmawan Joko Kurniawan
Editor	:	Putut Sukmawan Joko Kurniawan
Source Code	:	Joko Kurniawan
Code Tester	:	Joko Kurniawan
Cover	:	Joko Kurniawan
Management	:	Putut Sukmawan
Finance	:	Putut Sukmawan Joko Kurniawan
Tester I	:	Ir. H. Moch. Teguh, MSCE
Tester II	:	Ir. H. Sarwidi, MSCE, PhD
Tester III	:	Ir. Susastrawan, MS

Thanks to:

Rere & Beby(jurnal n discuss), Djoko & rekan, Dhony & Hasan, Firdaus & Eko, Limpat & Iwan, rekan-rekan seperjuangan. Rekan-rekan angkatan 95 kelas C,D,E,F.
Aan(diktat), Ardip(BJC-265SP), Anton(BJC-255SP), Edy(trick n info), Fanny(trick n info), Putut girl friends & friends.
Grand Fa & Grand Ma, paman (PakDe/PakLik), sepupu, nephew, all my friends.
Enya, Mozart, Paganini, Yanni, Dion, Mae, Queen n more.

Supported by:

Processor AMD K6-2 500MHz, 64MB, Quantum150b, GTC'14, Canon BJC210s
Matlab 5.3
Microsoft Word97 & Excel 97
Acrobat Reader
Google Search Engine
MSWindows98

e-mail & website:

brambanano@yahoo.com
<http://www.danu>

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allahu Akbar...!! Maha Besar Allah yang telah memberi rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Segala bentuk ungkapan rasa syukur dengan lisan, hati dan perbuatan saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas nikmat ilmu pengetahuan yang saya peroleh hingga saat ini dan masa yang akan datang, juga berbagai nikmat lain yang begitu banyak hingga tak cukup untuk dituliskan.

Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan bagi *khatimul anbiya* Baginda Rasulullah Muhammad SAW penyampai ajaran islam yang menjadi cahaya penerang dalam kegelapan umat manusia. Semoga saya selalu menjadi pengikut setia beliau dan mampu turut serta memperjuangkan dan menegakkan *Dienul Islam* sampai akhir jaman, Amiin.....

Akhir dari selesainya penulisan tugas akhir ini bukanlah akhir dari segalanya, masih banyak lagi tantangan yang harus saya hadapi dan selesaikan diwaktu mendatang. Namun ingin saya sampaikan *jazaakumullahu khoiron katsiroo* kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung serta mendoakan saya sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini

Keluargaku di rumah, Keluarga besar Kasno Atmojo, (almh) Eyang Putri Tercinta di 'Donan' dan Eyang Kakung di 'Karang Talun', Ayahku tercinta 'Kasupriyadi' dan Ibu 'Mien Saeni' yang telah membesarkan dan membimbing, "Doaku untukmu, terima kasih, kasihmu tulus". Adik-adikku tersayang 'Wanto, Anik, Hesty', "Belajar yang rajin, doakan Bapak 'n' Ibu". Kasihku tercinta 'Dewi Rosmayanti', "Semoga tambah sayang and setia", Bude Jar 'yang selalu mendoakanku, 'Om Mias 'n' Mba Puji 'n' Ficky gendut, "makasih atas perhatiannya". Keluarga besar Bogor 'yang ikut berdoa untukku'. Keluarga Kadim di 'Pengok'. Saudara-saudaraku di Jogja, 'Dewi, Ita, Ida, Fuad, Husen, Andri, Opie, Wati', "Belajar yang rajin". Kel. Pak Zaky, Kel. Pak Hashim, Kel Pak Budi, 'Prima 88 ku' yang melancarkan kegiatanku, '3310' pengirim setia berita, dan semua yang tidak dapat aku sebutkan satu-persatu namanya disini " Doaku Menyertaimu ".

Para Dosen 'n' Karyawan UII, Pak Teguh "DP1" dan Pak Sarwidi "DP2" yang telah memberikan pelajaran berharga tentang arti kesabaran, Pak Sus 'dosen tamu yang baik, 'Mas Heri 'n' Basuki yang susah senyum 'n' bete, petugas parkir 'n' minuman yang asik diajak ngobrol sekaligus bercanda, dan semua karyawan FTSP UII yang turut membantu tanpa terkecuali.

Pasangan TA ku, "si Mr Tegang, Joko Kurniawan, "Terima kasih atas kerjasamamu sing apik", kapan mau cari pacar??? udah tua loh!! Masa sama cewek takut".
Temen-temen seperjuangan JTS FTSP UII, khususnya '95 yang sama-sama merasakan susahny kuliah di jurusan Teknik Sipil, "cepat selesaikan kuliahnya",
Teman-teman KKN '18, semoga kabar kalian baik 'n' sukses. Teman kost, semua yang pernah satu kost "kangen sama canda 'n' lucu kalian". Teman kumpul di Pengok "moga kita bisa selalu kumpul-kumpul lagi 'n' pada jadi orang sukses", dan masih banyak sekali yang belum kusebut, "ga cukup nanti", buat temen-temen yang tidak tertulis disini, bukannya aku ga ingin menulis nama kalian semua tapi saking banyaknya sampai tidak cukup untuk kutuliskan..... yang jelas kebersamaan kita sangat indah!!!

MOTTO

" Tidak ada kata mustahil dalam hidup bila hidup diisi dengan semangat kerja keras untuk berpikir dan berusaha "

" Kegagalan adalah seribu langkah ke depan menuju kemajuan "

" Janganlah kau berpikir apa yang telah diperbuat bangsaku padaku, tapi berpikirlah apa yang telah ku perbuat bagi bangsaku "

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai persyaratan untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S1) di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Penempatan Efektif Redaman Ganda untuk Mengurangi Resiko Benturan Struktur pada Struktur Bertingkat Enam dan Delapan”, telah dilakukan usaha semaksimal mungkin untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya sesuai dengan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki, berdasarkan pada buku-buku referensi dan pedoman yang ada. Mengingat keterbatasan yang ada, disadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna sehingga diperlukan kritik dan saran yang bermanfaat untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini telah banyak diperoleh bantuan bimbingan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik moral maupun material. Untuk itu diucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Bapak Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
3. Bapak Ir. H. Moch. Teguh, MSCE, selaku Dosen Pembimbing I,
4. Bapak Ir. H. Sarwidi, MSc, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II,

5. Bapak, Ibu, Kakak, Adik, dan semua keluarga yang selalu mendo'akan kesuksesan bagi penulis,
6. Semua pihak di lingkungan Jurusan Teknik Sipil FTSP yang telah membantu proses penyusunan TA,
7. Semua teman-teman JTS Angkatan '95, terima kasih atas bantuan dan dukungannya,
8. Semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya besar harapan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan orang lain yang membacanya.

Wassalamu`alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 18 Mei 2002

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xvii
ABSTRAK	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 Magnetorheological Damper	6
2.3 Penelitian Sejenis Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI	12
3.1 Struktur dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)	12
3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Jamak (MDOF)	13
3.3 <i>Mode Shape</i> dan <i>Frequency</i>	15
3.4 Persamaan Gerak akibat Beban Gempa	17

3.5 Persamaan Differensial Independen (<i>Uncoupling Differential</i>)	18
3.6 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa	20
3.7 Simpangan Struktur dan Efek Terhadap Struktur	23
3.7.1 Simpangan Relatif	23
3.7.2 Simpangan Antar Lantai (<i>Inter Storey Drift</i>)	24
3.7.3 Simpangan Absolut	24
BAB IV METODE PENELITIAN	25
4.1 Kebutuhan Data	25
4.2 Pengolahan Data	25
4.3 Pengujian Data	26
4.4 Analisis Data	26
4.5 Model Struktur	28
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	49
5.1 Analisis	49
5.2 Ragam Bentuk (<i>mode shape</i>) dan Frekuensi Natural	50
5.3 Efek Redaman	53
5.4 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi	54
5.5 Analisis Bangunan Bertingkat 6 dengan 2 Bentangan	55
5.5.1 Ragam Bentuk (<i>mode shape</i>) dan Frekuensi Natural	56
5.5.2 Efek Redaman	58
5.5.3 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi	59
5.6 Pembahasan	60
5.6.1 Simpangan Relatif	60
5.6.2 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai	60
5.6.3 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 8 Lantai	65
5.6.4 Jarak Antara Dua Bangunan	72
BAB VI KESIMPULAN	73
6.1 Kesimpulan	73
6.2 Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Variasi letak MRD	27
Tabel 5.1 Nilai modal struktur bertingkat 6	48
Tabel 5.2 Nilai modal struktur bertingkat 8	49
Tabel 5.3 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 6	51
Tabel 5.4 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 8	51
Tabel 5.5 Nilai rasio redaman struktur tingkat 6	52
Tabel 5.6 Nilai rasio redaman struktur tingkat 8	52
Tabel 5.7 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 6	53
Tabel 5.8 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 8	53
Tabel 5.9 Nilai modal struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan	55
Tabel 5.10 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan ..	56
Tabel 5.11 Nilai rasio redaman struktur tingkat 6 dengan 2 bentangan	57
Tabel 5.12 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan	57
Tabel 5.13 Prosentase reduksi simpangan terkecil tiap lantai pada bangunan bertingkat 6	70
Tabel 5.14 Prosentase reduksi simpangan terkecil tiap lantai pada bangunan bertingkat 8	70
Tabel 5.15 Komparasi antara bangunan bertingkat untuk satu bentangan dan dua bentangan	71
Tabel 5.16 Komparasai dua bangunan	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema MR Damper	11
Gambar 2.2 Diagram implementasi MR Damper	11
Gambar 3.1 Sistem SDOF dengan beban dinamik	12
Gambar 3.2 Sistem MDOF dengan beban dinamik	14
Gambar 3.3 Sistem SDOF dengan beban gempa	17
Gambar 3.4 Model simpangan struktur	23
Gambar 4.1 Flow Chart Analisis	28
Gambar 4.2 El Centro 1940 Ground Motion	28
Gambar 4.3 Variasi tanpa peredam	30
Gambar 4.4 Letak peredam variasi 6D11	30
Gambar 4.5 Letak peredam variasi 6D12	30
Gambar 4.6 Letak peredam variasi 6D13	30
Gambar 4.7 Letak peredam variasi 6D14	31
Gambar 4.8 Letak peredam variasi 6D15	31
Gambar 4.9 Letak peredam variasi 6D16	31
Gambar 4.10 Letak peredam variasi 6D22	31
Gambar 4.11 Letak peredam variasi 6D23	32
Gambar 4.12 Letak peredam variasi 6D24	32
Gambar 4.13 Letak peredam variasi 6D25	32
Gambar 4.14 Letak peredam variasi 6D26	32
Gambar 4.15 Letak peredam variasi 6D33	33
Gambar 4.16 Letak peredam variasi 6D34	33
Gambar 4.17 Letak peredam variasi 6D35	33
Gambar 4.18 Letak peredam variasi 6D36	33
Gambar 4.19 Letak peredam variasi 6D44	34
Gambar 4.20 Letak peredam variasi 6D45	34
Gambar 4.21 Letak peredam variasi 6D46	34

Gambar 4.22 Letak peredam variasi 6D55	.....	34
Gambar 4.23 Letak peredam variasi 6D56	.....	35
Gambar 4.24 Letak peredam variasi 6D66	.....	35
Gambar 4.25 Variasi tanpa peredam	.....	36
Gambar 4.26 Letak peredam variasi 8D11	.....	36
Gambar 4.27 Letak peredam variasi 8D12	.....	36
Gambar 4.28 Letak peredam variasi 8D13	.....	36
Gambar 4.29 Letak peredam variasi 8D14	.....	37
Gambar 4.30 Letak peredam variasi 8D15	.....	37
Gambar 4.31 Letak peredam variasi 8D16	.....	38
Gambar 4.32 Letak peredam variasi 8D17	.....	38
Gambar 4.33 Letak peredam variasi 8D18	.....	38
Gambar 4.34 Letak peredam variasi 8D22	.....	38
Gambar 4.35 Letak peredam variasi 8D23	.....	39
Gambar 4.36 Letak peredam variasi 8D24	.....	39
Gambar 4.37 Letak peredam variasi 8D25	.....	40
Gambar 4.38 Letak peredam variasi 8D26	.....	40
Gambar 4.39 Letak peredam variasi 8D27	.....	40
Gambar 4.40 Letak peredam variasi 8D28	.....	40
Gambar 4.41 Letak peredam variasi 8D33	.....	41
Gambar 4.42 Letak peredam variasi 8D34	.....	41
Gambar 4.43 Letak peredam variasi 8D35	.....	42
Gambar 4.44 Letak peredam variasi 8D36	.....	42
Gambar 4.45 Letak peredam variasi 8D37	.....	42
Gambar 4.46 Letak peredam variasi 8D38	.....	42
Gambar 4.47 Letak peredam variasi 8D44	.....	43
Gambar 4.48 Letak peredam variasi 8D45	.....	43
Gambar 4.49 Letak peredam variasi 8D46	.....	44
Gambar 4.50 Letak peredam variasi 8D47	.....	44
Gambar 4.51 Letak peredam variasi 8D48	.....	44
Gambar 4.52 Letak peredam variasi 8D55	.....	44

Gambar 4.53 Letak peredam variasi 8D56	45
Gambar 4.54 Letak peredam variasi 8D57	45
Gambar 4.55 Letak peredam variasi 8D58	46
Gambar 4.56 Letak peredam variasi 8D66	46
Gambar 4.57 Letak peredam variasi 8D67	46
Gambar 4.58 Letak peredam variasi 8D68	46
Gambar 4.59 Letak peredam variasi 8D77	47
Gambar 4.60 Letak peredam variasi 8D78	47
Gambar 4.61 Letak peredam variasi 8D88	48
Gambar 5.1 Struktur bertingkat 6 dan 8	49
Gambar 5.2 Struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan	56
Gambar 5.3 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan bertingkat 6	61
Gambar 5.4 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan bertingkat 6	61
Gambar 5.5 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan bertingkat 6	62
Gambar 5.6 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan bertingkat 6	62
Gambar 5.7 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan bertingkat 6	63
Gambar 5.8 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan bertingkat 6	63
Gambar 5.9 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan bertingkat 8	65
Gambar 5.10 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan bertingkat 8	65
Gambar 5.11 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan bertingkat 8	66
Gambar 5.12 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan bertingkat 8	66

Gambar 5.13 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan bertingkat 8	67
Gambar 5.14 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan bertingkat 8	67
Gambar 5.15 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 7 pada bangunan bertingkat 8	68
Gambar 5.16 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 8 pada bangunan bertingkat 8	68

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel L.1 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 1 pada bangunan bertingkat 6	L1.1
Tabel L.2 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 2 pada bangunan bertingkat 6	L1.1
Tabel L.3 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 3 pada bangunan bertingkat 6	L1.2
Tabel L.4 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 4 pada bangunan bertingkat 6	L1.3
Tabel L.5 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 5 pada bangunan bertingkat 6	L1.3
Tabel L.6 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 6 pada bangunan bertingkat 6	L1.4
Tabel L.7 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 1 pada bangunan bertingkat 8	L1.5
Tabel L.8 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 2 pada bangunan bertingkat 8	L1.6
Tabel L.9 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 3 pada bangunan bertingkat 8	L1.7
Tabel L.10 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 4 pada bangunan bertingkat 8	L1.8
Tabel L.11 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 5 pada bangunan bertingkat 8	L1.9
Tabel L.12 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 6 pada bangunan bertingkat 8	L1.10
Tabel L.13 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 7 pada bangunan bertingkat 8	L1.11

Tabel L.14 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 8 pada bangunan bertingkat 8	L1.12
Contoh Program Perhitungan dengan Matlab	L2.1
Contoh Hasil Hitungan untuk Bangunan Bertingkat 6 Variasi 6D00	L3.1
Contoh Hasil Hitungan untuk Bangunan Bertingkat 8 Variasi 8D00	L4.1

DAFTAR SIMBOL

c	= redaman
$[C]$	= matriks redaman
$[C_n^*]$	= matriks redaman efektif
F_D	= gaya redam
F_M	= gaya inersia
F_S	= gaya tarik atau desak
$\{Ft\}$	= vektor beban
g	= gravitasi
k	= kekakuan
$[K]$	= matriks kekakuan
$[K_n^*]$	= matriks kekakuan efektif
m	= massa
$[M]$	= matriks massa
$[M_n^*]$	= matriks massa efektif
P_n^*	= vektor beban efektif
q_n	= modal koordinat ke $-n$
\dot{q}_n	= turunan pertama modal koordinat ke $-n$
\ddot{q}_n	= turunan kedua modal koordinat ke $-n$
t	= waktu
Δt	= selisih waktu
y	= simpangan struktur
\dot{y}	= kecepatan struktur
\ddot{y}	= percepatan struktur

y_g	= simpangan tanah
\dot{y}_g	= kecepatan tanah
\ddot{y}_g	= percepatan tanah
y_{tot}	= simpangan total
$\{y\}$	= vektor simpangan
$\{\dot{y}\}$	= vektor kecepatan
$\{\ddot{y}\}$	= vektor percepatan
\ddot{z}	= generalisasi vektor perpindahan pada mode ke $-n$
$\ddot{\xi}$	= generalisasi vektor percepatan pada mode ke $-n$
Z_n	= modal amplitudo mode ke $-n$
\dot{Z}_n	= turunan pertama modal amplitudo mode ke $-n$
\ddot{Z}_n	= turunan kedua modal amplitudo mode ke $-n$
ϕ_n	= <i>mode shape</i> ke $-n$
$\{\phi_n\}$	= vektor <i>mode shape</i> ke $-n$
ξ	= rasio redaman
ω^2	= frekuensi sudut
ω	= frekuensi natural
Γ_n	= faktor partisipasi

ABSTRAK

Gempa bumi yang kuat berpotensi menimbulkan bencana, karena dapat menimbulkan kerusakan, baik kerusakan struktur tanah maupun struktur bangunan di atasnya. Kerusakan struktur akibat gempa dapat dikurangi dengan mendesain struktur sesuai dengan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa. Salah satu kerusakan struktur akibat gempa yaitu struktural pounding dapat dikurangi dengan menggunakan alat peredam tambahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan posisi atau letak MRD yang paling efektif mengurangi simpangan horisontal, sehingga diharapkan mampu mencegah structural pounding. Dan juga memberi alternatif penempatan MRD pada bangunan bertingkat tinggi.

Analisis dilakukan dengan memvariasikan penempatan MRD ganda pada tiap-tiap tingkat dari struktur bertingkat 6 dan 8, lalu dibandingkan dengan tanpa menggunakan peredam tambahan. Pada struktur bertingkat 6 dilakukan analisis dengan model satu bentangan dan dua bentangan, untuk dapat mengetahui perbedaan perilaku simpangan yang terjadi antara bangunan dengan satu bentangan dan dua bentangan. Metode perhitungan yang digunakan adalah dengan simulasi komputer, yaitu program Matlab.

Dari hasil penelitian, penempatan MRD ganda yang paling efektif untuk bangunan bertingkat 6 ada pada tingkat 3 dengan simpangan maksimum 3.8033 in prosentase penurunan 53.8829%. Sedangkan untuk bangunan bertingkat 8 ada pada tingkat 4 dengan simpangan maksimum 4.8594 in dan prosentase penurunan 29,8189%. Hasil penelitian penempatan MRD ganda pada setengah dari tinggi bangunan membuktikan pendistribusian redaman secara merata pada semua tingkat. Untuk bangunan bertingkat 6 dengan satu bentangan dan dua bentangan tidak ada perbedaan dalam proses analisis dengan memakai prinsip bangunan geser. Analisis bangunan untuk satu bentangan dan dua bentangan dengan nilai kekakuan, massa dan redaman yang lebih besar dari bangunan satu bentangan yaitu 1,5 kali kekakuan dan 2 kali massa dari bangunan satu bentangan terjadi selisih simpangan relatif yang menimbulkan dua macam perubahan berupa pengurangan dan penambahan simpangan.

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta pendekatan masalah, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Gempa bumi adalah suatu fenomena alam yang disebabkan adanya pelepasan energi yang terjadi di dalam tanah sehingga merambat ke permukaan dalam bentuk getaran. Gempa bumi dilihat dari sumber penyebabnya dapat dikelompokkan menjadi 5, yaitu : gempa meteor (*meteor earthquake*), gempa ledakan (*explosion earthquake*), gempa tanah runtuh (*collapse earthquake*), gempa gunung api (*vulcanic earthquake*) dan gempa tektonik (*tectonic earthquake*). Gempa yang paling sering menyebabkan kerusakan parah adalah gempa tektonik (Sarwidi, 1999).

Gempa bumi sering menimbulkan bencana yang menyebabkan kerugian besar, baik material maupun korban jiwa. Gempa bumi dapat mengakibatkan kerusakan struktur tanah dan kerusakan struktur bangunan. Kerusakan struktur tanah dapat berupa permukaaan tanah pecah-pecah, tanah longsor (*land slide*), batu longsor (*rock slide*), batuan yang berjatuhan (*rock fall*), penurunan muka tanah (*settlement*) dan hilangnya daya dukung tanah (*liquefaction*)(Widodo, 1996). Struktur tanah yang rusak dapat berakibat pada stabilitas bangunan yang berada pada tanah atau berada di atas tanah yang bersangkutan. Kadang-kadang kerusakan struktur tanah justru mengakibatkan kerugian material yang paling besar. Selain kerusakan struktur tanah, getaran tanah akibat gempa juga dapat merusakkan struktur bangunan yang berada di dalam atau di atas permukaan tanah.

Kerusakan-kerusakan struktur bangunan akibat gempa dapat dikurangi dengan mendesain struktur sesuai dengan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa. Prinsip bangunan tahan gempa antara lain dengan memperhatikan beberapa hal seperti mekanisme goyangan (*sway mechanism*), kemampuan struktur meliputi kekakuan (*stiffness*), kekuatan (*strength*), kestabilan (*stability*), daktilitas (*ductility*) dan penyerapan energi (*energy dissipation*), pemilihan mutu bahan dan pelaksanaan yang baik sehingga diperoleh bahan yang tepat serta perilaku elemen struktur yang daktil. Dan juga perlu menghindari kerusakan struktur salahsatunya adalah benturan antar struktur (*structural pounding*).

Simpangan horisontal yang besar akibat gempa tidak mampu ditahan oleh redaman pada struktur yang relatif kecil. Untuk mengurangi resiko *structural pounding* akibat simpangan horisontal yang besar diperlukan peredam tambahan (Chopra, 1995). Penggunaan peredam pada semua tingkat tidak praktis, oleh karena itu digunakan peredam pada tingkat tertentu, yang memiliki efek hampir sama jika peredam tersebut dipasang pada semua tingkat.

1.2 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

1. analisis yang digunakan untuk perhitungan kekakuan tingkat adalah prinsip bangunan geser (*shear building*),
2. analisis dinamika menggunakan *time history* dari gempa EL Centro 1940 dari buku *Dynamics of Structures* (Chopra, 1995),
3. massa struktur dianggap menggumpal pada lantai (*lumped mass*),
4. struktur bangunan yang ditinjau yaitu model bangunan geser bertingkat 6 dan 8 dengan struktur, massa dan kekakuan diambil dari buku *Elements of Structural Dynamics* (Berg, 1998),
5. analisis dinamika struktur dibatasi pada kondisi linier elastis,
6. dukungan pondasi dianggap jepit penuh ke tanah,
7. rasio redaman struktur pada mode pertama sebesar 2%,

8. digunakan dua model perilaku yaitu model tanpa redaman dan model dengan *Magnetorheological Damper (MRD)*,
9. kapasitas total MRD sebesar 15 kip.sec/in, dan
10. simpangan yang ditinjau pada struktur adalah simpangan relatif, karena simpangan relatif yang lebih kecil akan mengurangi resiko *structural pounding*.

1.3 Rumusan Masalah

Semakin tinggi sebuah bangunan, maka simpangan horisontal yang terjadi pada tingkat teratas akan semakin besar akibat adanya gaya horisontal. Apabila simpangan horisontal yang terjadi akibat pembebanan dinamik lebih besar dari jarak antara dengan bangunan didekatnya dan pola goyangan struktur yang tidak sama dapat mengakibatkan benturan struktur. Cara yang dapat dipakai untuk mengurangi simpangan horisontal diantaranya dengan penempatan peredam tambahan.

Penelitian ini menggunakan obyek bangunan bertingkat 6 dan 8 dan menggunakan alat peredam tambahan (MRD) yang divariasikan penempatannya pada masing-masing lantai. Dalam menganalisis variasi penempatan redaman yang paling efektif digunakan beban gempa El Centro dengan nilai prosentase pengurangan simpangan yang terbesar merupakan nilai yang diharapkan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dalam tugas akhir ini adalah menganalisis penempatan MRD untuk mendapatkan posisi yang paling efektif mengurangi simpangan horisontal pada bangunan bertingkat tinggi. Pengurangan simpangan horisontal diharapkan dapat mencegah kerusakan bangunan akibat benturan struktur (*structural pounding*) dengan struktur bangunan di dekatnya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. memperluas pengetahuan tentang dinamika struktur terutama untuk mempelajari respon struktur akibat gaya gempa pada struktur bangunan bertingkat,
2. ikut menyebarkan penggunaan MRD sebagai salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengurangi respon struktur terhadap beban gempa,
3. menambah wawasan tentang bangunan tahan gempa, dan
4. memberikan alternatif solusi pada perancangan bangunan tahan gempa, terutama untuk wilayah di Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka merupakan sekumpulan teori yang berasal dari jurnal, literatur, penelitian sebelumnya, website yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dibahas dan digunakan dalam menyusun konsep dasar dan tahapan penelitian untuk penyempurnaan penelitian dan mencegah duplikasi dari penelitian sebelumnya. Dalam tinjauan pustaka ini akan diuraikan tinjauan umum dari penelitian, alat peredam (MRD) dan beberapa penelitian sebelumnya.

2.1 Tinjauan Umum

Banyak bangunan gedung yang rusak akibat gempa disebabkan oleh ketidak-jelasan prinsip desain bangunan tahan gempa yang dipakai (Sarwidi, 1999). Hal ini dikategorikan sebagai kesalahan yang sangat mendasar. Prinsip desain adalah sesuatu hal yang sangat vital di dalam desain dan pelaksanaan bangunan tahan gempa. Prinsip ini dimulai dari bagaimana menentukan/mendesain beban gempa, bagaimana menentukan konfigurasi bangunan yang tepat bagaimana menentukan mekanisme goyangan (*sway mechanism*) yang dipakai, bagaimana mengoptimalkan prinsip pelepasan energi (*energy dissipation*) pada elemen-elemen struktur dan bagaimana memilih bahan dan melakukan pembangunan agar diperoleh bahan tepat serta perilaku elemen struktur yang daktail.

Pada umumnya, struktur mempunyai kemampuan untuk menyerap/melepasakan energi. Pelepasan energi sebanyak mungkin sangat penting agar input energi dapat dilepaskan, sehingga respon struktur dapat menjadi sekecil mungkin.

Salah satu kerusakan yang mungkin terjadi pada sebuah struktur adalah akibat adanya simpangan yang besar. Salah satu cara memperkecil simpangan adalah dengan memasang peredam. Chopra (1995) menyatakan bahwa peredaman adalah proses pelepasan energi oleh beberapa mekanisme yang bekerja

secara bersamaan. Karena redaman berfungsi melepaskan energi, maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur.

Nilai redaman struktur yang melekat pada struktur relatif kecil, sehingga untuk mengurangi respon gempa dipasang peredam tambahan Chopra (1995). Penggunaan peredam pada semua tingkat tidak praktis. Oleh karena itu digunakan beberapa peredam pada tingkat tertentu, yang memiliki efek hampir sama jika peredam tersebut dipasang pada semua tingkat.

2.2 Magnetorheological Damper

Peredam (*damper*) adalah alat yang dapat meningkatkan penyerapan energi pada suatu benda yang bergerak. Dalam bidang struktur bangunan, peredam dapat digunakan untuk meredam atau mengurangi respon struktur terhadap beban gempa atau beban dinamis. Ada beberapa peredam yang dapat digunakan dalam mengurangi respon struktur terhadap beban dinamis terutama beban gempa antara lain seperti berikut ini.

1. *Tuned Mass Damper (TMD)* merupakan suatu rangkaian sistem yang terdiri dari massa, pegas dan peredam. TMD termasuk alat penyerap getaran yang dipakai untuk mengurangi getaran yang tidak diinginkan. Prinsip kerja TMD dibedakan menjadi dua yaitu aktif (*Active Tuned Mass Damper/ATMD*) dan pasif (*Passive Tuned Mass Damper/PTMD*).
2. *Electrorheological Damper (ERD)* merupakan alat kontrol struktur semi aktif (kombinasi antara kontrol struktur aktif dan kontrol struktur pasif) ERD terdiri dari silinder utama yang mengontrol aliran yang meluncur pada permukaan yang dilumasi. ERD cocok digunakan untuk melindungi struktur bangunan pada tahap pembangunan dan tahap uji coba pada daerah rawan gempa.
3. *Magnetorheological Damper (MRD)* adalah sebuah alat kontrol struktur yang dapat mengurangi respon struktur akibat beban gempa. MRD dapat dipasang di luar struktur (misal jembatan dan menara) atau di dalam struktur (misal bangunan). Tentang MRD akan dijelaskan lebih lanjut pada sub bab ini.

MRD adalah sebuah alat kontrol struktur yang dapat mengurangi respon struktur akibat beban gempa, dikembangkan oleh *Lord Corporation*. MRD

menggunakan MR Fluids yang terdiri dari silicone oil. Jika sebuah gaya magnet bekerja, maka partikel yang berada pada cairan tersebut akan membentuk suatu rantai partikel dan cairan tersebut akan menjadi semi solid, memperlihatkan perilaku plastis. Alat ini mempunyai beberapa karakter yang atraktif, tegangan leleh tinggi, elastisitas yang rendah dan dapat bekerja dengan baik pada temperatur -40° - 150° , sehingga MRD dapat dipasang di luar struktur (misal jembatan dan menara) atau di dalam struktur (misal bangunan). MRD memiliki panjang 21,5 cm dan diameter silinder 3,8 cm. Silinder utama adalah berbentuk sebuah penghisap, terdiri dari magnet, accumulator dan MR Fluids.

Skema dari MRD ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. Alat ini digerakkan melalui sebuah elektromagnetik pada kepala penghisap yang kemudian dihubungkan dengan sumber energi. Energi yang diperlukan untuk menggerakkan alat ini kurang dari 10 watt, sehingga dapat dioperasikan dengan sebuah baterai yang kecil. Pemasangan MRD pada bangunan bertingkat dapat dilihat pada Gambar 2.2.

2.3 Penelitian Sejenis Sebelumnya.

Pada penelitian ini juga digunakan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, yaitu Widodo (1997), Suprpti dan Novitasari (1999), Elfira dan Juhartono (2000), Khoir dan Ariffin (2000), Saputra dan Wibowo (2000), Sulistyaningsih dan Wardhani (2000), Budhiawan dan Hariyanto (2001) serta Ahmed dan Busroni (2001).

1. Widodo (1997)

Penelitian ini mengambil pokok bahasan tentang Validasi Parameter Percepatan Tanah dan Efek Frekuensi Gempa Terhadap Respon Struktur Bangunan Bertingkat. Pada penelitian ini peneliti membandingkan simpangan horisontal struktur yang menggunakan dua gempa yang memiliki karakteristik yang berbeda yaitu gempa Koyna yang mempunyai frekuensi tinggi dan gempa Bucharest yang mempunyai frekuensi rendah. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa simpangan horisontal tingkat tidak berhubungan secara linier dengan percepatan tanah maksimum akibat gempa.

2. Suprapti dan Novitasari (1999)

Topik yang diambil oleh kedua penelitian ini adalah *Penempatan Posisi Efektif Redaman Tunggal untuk Mengurangi Resiko Structural Pounding pada Bangunan Bertingkat Lima*. Dalam penelitian tersebut peneliti mencoba mengurangi simpangan maksimum struktur untuk mengurangi resiko *structural pounding*. Beban gempa El Centro berupa riwayat waktu dipakai sebagai input getaran dengan menggunakan peredam tunggal. Penelitian ini menggunakan sebuah alat yang dinamakan MRD dengan nilai 15 kip/in/sec untuk mengurangi simpangan. Hasil yang diperoleh dari penggunaan alat ini adalah penempatan posisi MRD pada tingkat ketiga merupakan letak yang paling efektif dengan simpangan relatif lantai 5 adalah 4,9768 cm dan jarak antar bangunan 19,9072 cm atau terjadi pengurangan jarak sebesar 51,502 % dibandingkan dengan variasi-variasi yang lain.

3. Mansyur dan Juhartono (2000)

Kedua peneliti ini meneliti tentang *Penempatan Efektif Redaman Ganda untuk Mengurangi Simpangan pada Bangunan Tingkat Tinggi*. Dalam penelitian tersebut, peneliti mencoba menemukan penempatan efektif redaman ganda menggunakan *Magneto Rheological Damper* bernilai sama 7,15 kip/in/sec pada bangunan berlantai lima dengan *time history* beban gempa El Centro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan efektif redaman ganda didapatkan pada lantai 3 dan 5.

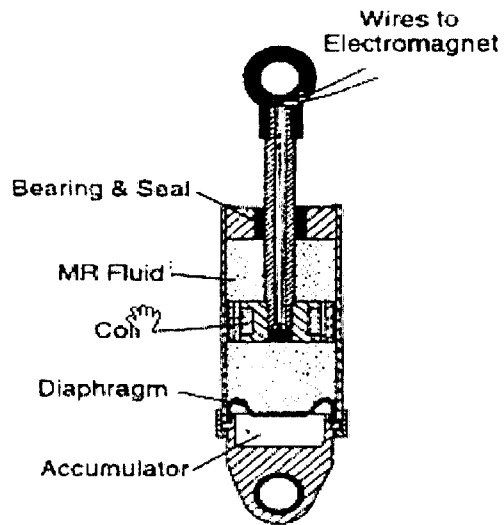
4. Khoir dan Ariffin (2000)

Penelitian ini mengambil topik *Analisis Pengaruh Perubahan Kekakuan Tingkat Secara Serentak Terhadap Gaya Geser Dasar dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Banyak Dengan Beban Gempa Berupa Time History*. Penelitian ini awalnya menggunakan *Central Difference Method*, namun dihasilkan simpangan yang terlalu besar dan imajiner, sehingga metode yang digunakan diganti dengan *Newmark's Acceleration Method* yang bersifat *unconditionally stable*.

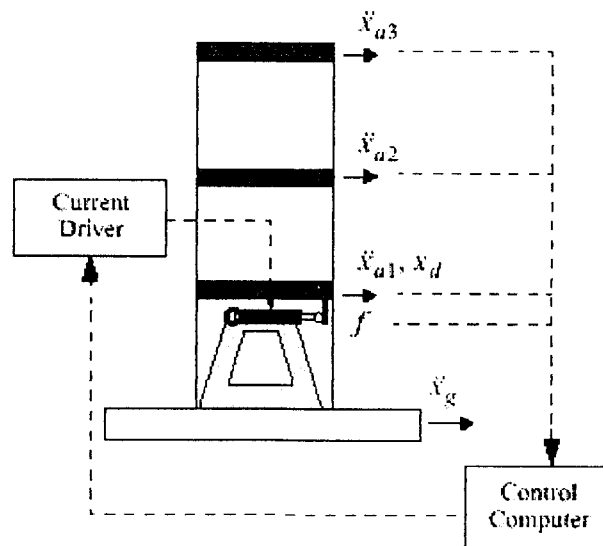
5. Saputra dan Wibowo (2000)
Penelitian mengambil topik *Penempatan Efektif Redaman Tunggal (Single) untuk Mengurangi Simpangan pada Bangunan Bertingkat 6 dan 8*. Penelitian menghasilkan penempatan redaman tunggal yang efektif pada bangunan bertingkat 6 pada lantai 4 dan bangunan bertingkat 8 pada lantai 1. Dari penelitian juga menunjukkan bahwa penempatan redaman yang tepat dapat juga mengurangi simpangan antar tingkat (*inter storey drift*).
6. Sulistyaningsih dan Wardhani. (2001)
Penelitian mengambil topik *Penempatan Efektif Redaman Ganda dengan Nilai Kapasitas Berbeda untuk Mengurangi Simpangan pada Bangunan Tingkat Banyak*. Dengan meneliti pemakaian *MRI* ganda pada bangunan 5 lantai dengan beban gempa El Centro dan kapasitas redaman yang berbeda yaitu 75% dan 25% (kapasitas total 30 kip(in/sec)). Dimana pengaruh besarnya simpangan dan perletakkan efektifnya berbeda dibanding dengan pemakaian redaman ganda dengan kapasitas redaman 50%:50%. Dari penelitian ini menghasilkan solusi peredaman efektif untuk bangunan 5 lantai akibat gempa El Centro yaitu redaman dengan kapasitas 22,5 kip/(in/sec) pada lantai 1 dan kapasitas 7,5 kip/(in/sec) pada lantai 5.
7. Budhiawan dan Hariyanto (2001)
Penelitian mengambil topik *Penempatan Efektif Redaman Ganda (Twin) untuk Mengurangi Resiko Benturan Struktur*. Dari analisi yang dilakukan peneliti menghasilkan solusi penempatan redaman ganda pada bangunan bertingkat 5 dan 6 akibat beban gempa Koyna dan El Centro, untuk bangunan bertingkat 5 akibat beban gempa Koyna dan El Centro redaman efektif pada tingkat 3 dan 5, sedang untuk bangunan bertingkat 6 akibat beban gempa Koyna redaman efektif pada tingkat 3 dan 6, akibat beban gempa El Centro pada tingkat 3 dan 5.
8. Ahmed dan Busroni (2001)
Penelitian mengambil topik *Analisis Perletakkan Redaman Tunggal pada Struktur Bertingkat 3, 5 dan 7 dengan Beban Gempa Koyna dan Bucharest*. Dengan mencoba meletakkan redaman pada bangunan bertingkat 3, 5 dan 7

dengan beban gempa Koyna dan Bucharest. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk bangunan bertingkat 3 dengan beban gempa Koyna dan Bucharest perletakkan redaman efektif pada lantai 3, bangunan bertingkat 5 dengan beban gempa Koyna dan Bucharest perletakkan redaman efektif pada lantai 1, sedang perletakkan redaman efektif pada bangunan bertingkat 7 dengan beban gempa Koyna pada lantai 4 dan beban gempa Bucharest pada lantai 3. Kemampuan MRD dalam mengurangi simpangan akibat beban gempa frekuensi tinggi lebih besar dari beban gempa berfrekuensi rendah.

Pada penelitian ini, peneliti menganalisis penempatan redaman ganda yang paling efektif pada bangunan bertingkat 6 dan 8 dengan memakai beban gempa berupa *time history* dari gempa El Centro. Kesamaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah pada pemakaian beban gempa El Centro sebagai beban gempa berupa *time history*. Pemakaian model struktur dipakai model struktur dari buku Berg. Metode dan jumlah redaman yang digunakan oleh penelitian sebelumnya juga berbeda, penelitian ini menggunakan metode *Newmark's Average Acceleration* dan memakai variasi penempatan peredam ganda.



Gambar 2.1 Skema MR Damper
(Spencer dan kawan-kawan, 1996)



Gambar 2.2 Diagram implementasi MR Damper
(Spencer dan kawan-kawan, 1996)

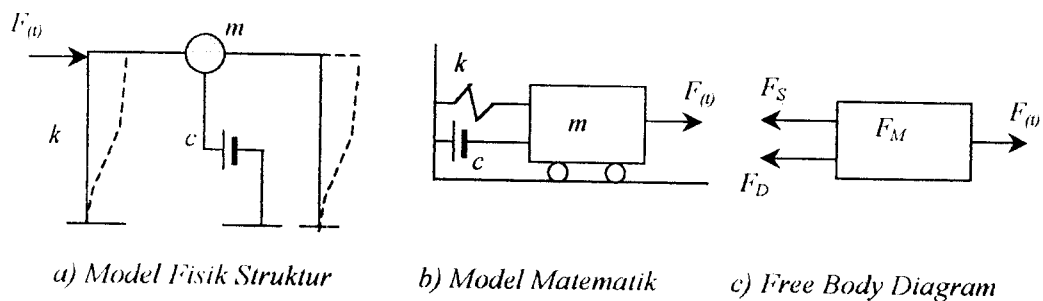
BAB III LANDASAN TEORI

Landasan teori merupakan teori-teori untuk acuan pemecahan masalah yang akan dihadapi. Pada bab ini memuat teori-teori dinamika struktur, model matematika dan penjabarannya.

3.1 Struktur dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Struktur berderajat kebebasan tunggal adalah struktur yang memiliki hanya satu koordinat yang dapat digunakan untuk mendefinisikan posisi massa. Model sistem struktur berderajat tunggal akibat beban harmonik seperti terlihat pada Gambar 3.1.

Dengan memperhatikan sifat-sifat fisik yang vital dalam sistem struktur elastik secara linier antara lain massa, sifat elastik (kekakuan), peredaman, mekanisme kehilangan energi, dan sumber eksitasi atau pembebanan dalam pemodelan matematis struktur SDOF yang merupakan struktur tersederhana dalam dinamika struktur.



Gambar 3.1 Sistem SDOF dengan beban dinamik

$F(t)$ seperti terlihat pada Gambar 3.1.b adalah beban dinamik yang bekerja pada massa yang mendapat perlawanan dari pegas, dan *damper*. Berdasarkan

prinsip keseimbangan dinamik seperti pada Gambar 3.1.c didapat hubungan sebagai berikut.

$$F_M + F_D + F_S = F_{(t)} \quad (3.1)$$

$$F_M = m\ddot{y}, \quad F_D = c\dot{y} \quad \text{dan} \quad F_S = ky \quad (3.2)$$

dengan :

F_M, F_D, F_S adalah gaya inersia, gaya redam, gaya tarik/desak.

m, k, c adalah massa, kekakuan dan redaman struktur.

\ddot{y}, \dot{y}, y adalah percepatan, kecepatan dan simpangan.

Persamaan (3.2) disubstitusikan ke persamaan (3.1) menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_{(t)} \quad (3.3)$$

Persamaan (3.3) disebut persamaan differensial gerakan (*differential of motion*). Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan persamaan ragam gerakan :

$$\ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = \frac{F_{(t)}}{m} \quad (3.4)$$

dimana :

$$\frac{k}{m} = \omega^2, \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega, \quad \xi = \frac{c}{2.m.\omega} = \frac{c}{c_r}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/sec) = angular frequency} \quad (3.5a)$$

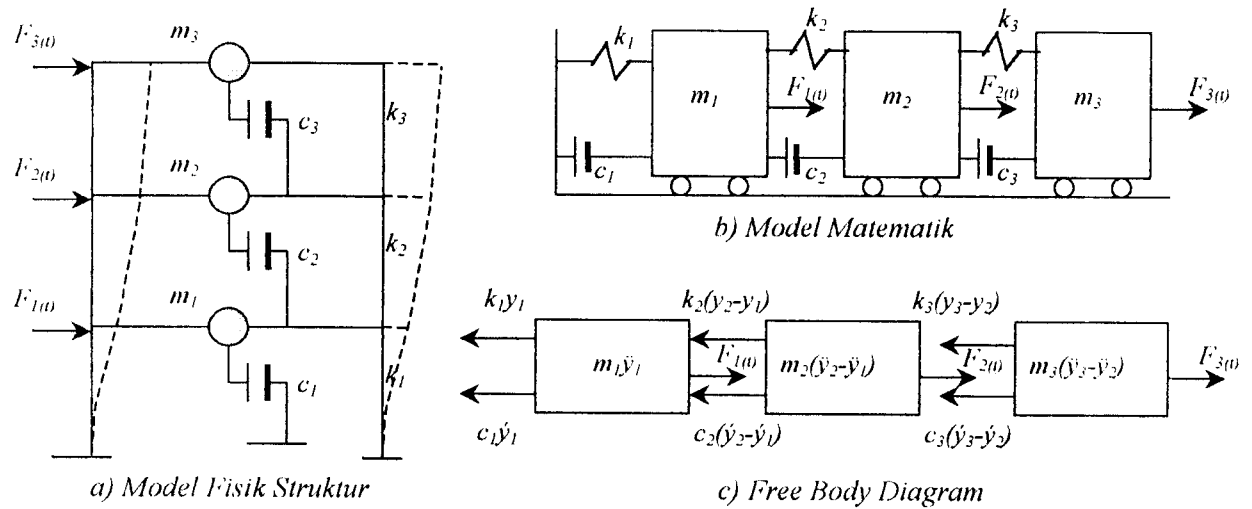
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (sec) = periode} \quad (3.5b)$$

3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Jamak (MDOF)

Struktur dengan derajat kebebasan jamak merupakan pengembangan dari struktur dengan derajat kebebasan tunggal. Massa struktur pada MDOF tidak hanya satu namun bisa lebih dari satu, dan dapat digunakan untuk melakukan pemodelan struktur yang memiliki tingkat lebih dari satu tingkat.

Pada struktur bertingkat jamak dalam hal ini n -tingkat, struktur akan mempunyai n -derajat kebebasan dan n -mode. Untuk struktur bangunan yang

memiliki 3 tingkat seperti Gambar 3.2, maka struktur akan memiliki 3 derajat kebebasan dan 3 mode.



Gambar 3.2 Sistem MDOF dengan beban dinamik

Sesuai prinsip keseimbangan dinamik pada diagram free body, maka akan diperoleh persamaan :

$$m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) - F_{1(t)} = 0 \quad (3.6a)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (y_2 - y_1) - c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3 (y_3 - y_2) - F_{2(t)} = 0 \quad (3.6b)$$

$$m_3 \ddot{y}_3 + c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3 (y_3 - y_2) - F_{3(t)} = 0 \quad (3.6c)$$

Persamaan (3.6) dapat ditulis dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_{1(t)} \\ F_{2(t)} \\ F_{3(t)} \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

Persamaan (3.7) dapat ditulis menjadi matriks :

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F_{(t)}\} \quad (3.8)$$

dengan matriks massa, redaman dan kekakuan masing-masing adalah :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}, \text{ dan } [K] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Vektor percepatan, kecepatan dan simpangan adalah :

$$\{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \text{ dan } \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \quad (3.10)$$

3.3 Mode Shape dan Frequency

Suatu struktur pada umumnya akan bergerak akibat adanya pembebanan dari luar maupun adanya suatu nilai awal (*initial conditional*). Misalnya suatu massa ditarik sedemikian rupa sehingga memiliki simpangan awal sebesar y_n , bila gaya tarik tersebut dilepas, maka massa akan kembali bergerak. Peristiwa gerakan massa tersebut dikenal dengan getaran bebas (*free vibration system*). Gerakan massa disebabkan pembebanan dari luar misal beban angin, beban gempa, beban ledakan. Gerakan massa tersebut disebut dengan gerakan dipaksa (*forced vibration system*). Untuk menyederhanakan permasalahan anggapan bahwa massa bergetar bebas (*free vibration system*) akan sangat membantu untuk menyelesaikan analisis dinamika struktur.

Persamaan gerak pada getaran bebas ($F(t) = 0$) pada struktur adalah sebagai berikut.

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.11)$$

Frekuensi pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman apabila nilai *damping ratio* cukup kecil. Bila hal ini diterapkan untuk struktur dengan derajat kebebasan jamak, maka nilai $[C]=0$. Persamaan (3.11) menjadi:

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.12)$$

Persamaan (3.11) adalah persamaan differensial gerakan tanpa redaman, maka respon struktur akan bersifat harmonik, sehingga :

$$\{y\} = \{\phi\}z(t) \quad (3.13a)$$

$$\{\ddot{y}\} = \{\phi\}\ddot{z}(t) \quad (3.13b)$$

Dalam hal ini $\{\phi\}$ adalah vektor *mode shape* yang tidak sama dengan nol. Sedang z dan \ddot{z} adalah vektor perpindahan dan percepatan. Persamaan (3.13) disubstitusikan ke persamaan (3.12), akan didapat :

$$[M]\{\phi\}\ddot{z}(t) + [K]\{\phi\}z(t) = 0 \quad (3.14)$$

$[M]$ dan $[K]$ adalah matriks konstan dan dari sebuah hipotesis disebutkan, bahwa $\{\phi\}$ juga merupakan matriks konstan, maka akan didapatkan :

$$\ddot{z}(t) + (\text{constant})z(t) = 0 \quad (3.15)$$

Jika konstanta di atas adalah ω_n (*undamped natural frequency*), maka persamaan (3.15) menjadi :

$$\ddot{z}(t) + \omega_n^2 z(t) = 0 \quad (3.16)$$

Persamaan di atas diselesaikan dengan :

$$z(t) = A \sin \omega_n t \quad (3.17)$$

Dari persamaan (3.13) akan didapat :

$$\{y\} = \phi A \sin \omega_n t \quad (3.18a)$$

$$\{\dot{y}\} = -\omega^2 \phi A \sin \omega_n t \quad (3.18b)$$

Persamaan (3.18) dimasukkan ke dalam persamaan (3.14) akan menjadi :

$$(-\omega[M]\{\phi\} + [K]\{\phi\})A \sin(\omega t) = 0 \quad (3.19)$$

Persamaan (3.19) akan ada penyelesaiannya (*nontrivial solution*) jika A dan ω keduanya adalah tidak bernilai nol, sehingga :

$$\{[K] - \omega^2 [M]\} \{\phi\} = 0 \quad (3.20)$$

Persamaan (3.20) akan ada penyelesaiannya atau sistem akan ada amplitudo yang terbatas bila nilai determinan $\{[K] - \omega^2 [M]\}$ adalah nol maka :

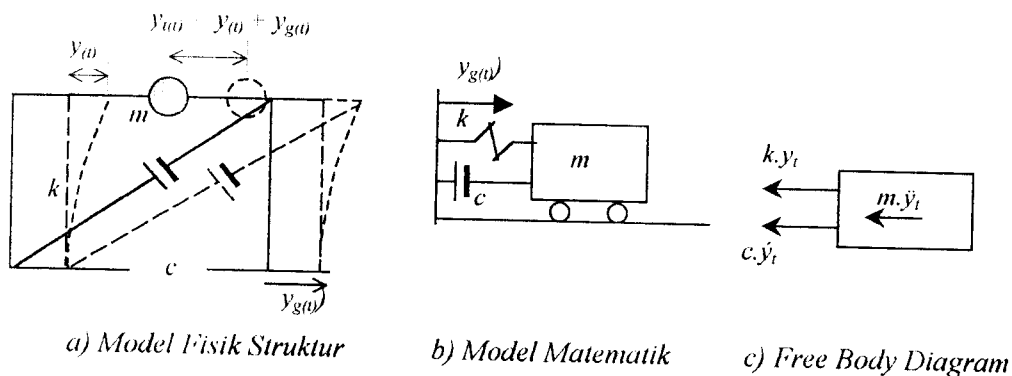
$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \quad (3.21)$$

Determinan persamaan (3.21) akan menghasilkan persamaan polinomial dengan derajat- n yang menghasilkan nilai ω_n , maka dengan mensubstitusikan ke dalam persamaan (3.20) akan menghasilkan nilai vektor *mode shape* $\{\phi\}_i$, index i menunjukkan pola/ragam goyangan.

3.4 Persamaan Gerak akibat Beban Gempa

Untuk pembebanan dinamik yang diperhitungkan dalam struktur analisis umumnya selain beban angin adalah beban gempa. Gempa menyebabkan getaran pada permukaan tanah dan terekam dalam bentuk *asselerogram*. Selain itu muncul juga percepatan tanah dan simpangan horisontal. Pada kasus ini anggapan bahwa pondasi dan tanah pendukungnya bergerak secara bersama-sama atau pondasi dianggap menyatu dengan tanah. Anggapan ini tidak sepenuhnya benar, karena tanah bukanlah bahan yang kaku dan menyatu dengan pondasi. Secara real antara pondasi dengan tanah tidak bergerak secara bersamaan saat terjadi gaya horisontal. Pondasi masih bergerak secara relatif secara horisontal terhadap tanah yang mendukungnya.

Simpangan tanah secara horisontal dinamik akan mengakibatkan struktur bangunan menjadi bergetar dan bergoyang. Persamaan differensial gerakan massa dengan derajat kebebasan tunggal akibat gerakan tanah dapat diturunkan dengan mengambil model struktur seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sistem SDOF dengan beban gempa

Berdasar free body diagram seperti Gambar 3.3, maka persamaan differensial gerakan adalah :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = 0 \quad (3.22)$$

Bila gempa mempunyai percepatan sebesar \ddot{y}_g terhadap posisi sebelum ada gerakan tanah, maka [(Gambar 3.3a)] :

$$\ddot{y}_t = \ddot{y}_g + \ddot{y} \quad (3.23)$$

Persamaan (3.23) disubstitusikan ke persamaan (3.22) dan menjadi persamaan :

$$m(\ddot{y}_g + \ddot{y}) + c(\dot{y}) + k(y) = 0 \quad (3.24)$$

Persamaan (3.24) dapat ditulis menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_g \quad (3.25)$$

Persamaan (3.25) adalah persamaan differensial gerakan suatu massa dengan derajat kebebasan tunggal akibat gerakan tanah (*base motion*). Ruas kanan pada persamaan (3.25) biasa disebut sebagai beban gempa. Beberapa sumber menyatakan bahwa tanda negatif dalam suku tersebut tidak harus dipakai karena peristiwa yang sesungguhnya tidak diketahui secara pasti. Namun beberapa *loading codes* jelas memakai tanda negatif.

3.5 Persamaan Differensial Independen (*Uncoupling Differential Equation*)

Pada kondisi standar struktur yang mempunyai n -derajat kebebasan akan mempunyai n -modes. Pada prinsip ini masing-masing mode akan memberikan kontribusi pada simpangan horisontal tiap massa. Simpangan massa ke- m atau y_m dapat diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap modes. Kontribusi mode ke- n terhadap simpangan horisontal massa ke- m tersebut dinyatakan dalam produk antara ϕ_{mn} dengan suatu modal amplitudo Z_n yang dinyatakan dalam bentuk :

$$\{Y\} = [\phi]\{Z\} \quad (3.26a)$$

$$\{\dot{Y}\} = [\phi]\{\dot{Z}\} \quad (3.26b)$$

$$\{\ddot{Y}\} = [\phi]\{\ddot{Z}\} \quad (3.26c)$$

Persamaan (3.26) disubstitusikan ke persamaan (3.25) akan didapat persamaan :

$$[M][\phi]\{\ddot{Z}\} + [C][\phi]\{\dot{Z}\} + [K][\phi]\{Z\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_g \quad (3.27)$$

Bila persamaan (3.27) dikalikan dengan transpose suatu mode $\{\phi\}^T$, maka menjadi :

$$[\phi]^T [M][\phi]\{\ddot{Z}\} + [\phi]^T [C][\phi]\{\dot{Z}\} + [\phi]^T [K][\phi]\{Z\} = -[\phi]^T [M]\{1\}\ddot{y}_g \quad (3.28)$$

Misal diambil struktur yang mempunyai 3 derajat kebebasan, maka suku pertama persamaan (3.28) berbentuk :

$$\begin{Bmatrix} \phi_{11} & \phi_{21} & \phi_{31} \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{Z}_1 \\ \ddot{Z}_2 \\ \ddot{Z}_3 \end{Bmatrix} \quad (3.29)$$

Dengan catatan persamaan di atas dalam hubungan *orthogonal*, $m \neq n$. Pada kondisi *orthogonal* apabila m tidak sama dengan n , maka perkalian matriks sama dengan nol.

$$\phi_m^T [M] \phi_n = 0 \quad (3.30a)$$

$$\phi_m^T [C] \phi_n = 0 \quad (3.30b)$$

$$\phi_m^T [K] \phi_n = 0 \quad (3.30c)$$

Untuk mode ke- n , maka secara umum persamaan (3.29) dapat ditulis :

$$\{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n \{\ddot{Z}\}_n \quad (3.31)$$

Persamaan (3.28) pada suku ke-2 dan ke-3 diubah seperti pada persamaan (3.31), maka menjadi:

$$[\phi]_n^T [M] [\phi]_n \{\ddot{Z}\}_n + [\phi]_n^T [C] [\phi]_n \{\dot{Z}\}_n + [\phi]_n^T [K] [\phi]_n \{Z\}_n = -[\phi]_n^T [M] \{1\} \ddot{y}_t \quad (3.32)$$

Persamaan (3.32) adalah persamaan differensial yang bebas/*independent* antara satu dengan yang lain. Persamaan tersebut diperoleh setelah diterapkan hubungan *orthogonal*, baik *orthogonal* matriks massa, matriks kekakuan maupun matriks redaman. Dengan demikian untuk n -derajat dengan n -persamaan differensial yang sebelumnya bersifat *coupling* sekarang menjadi *independent/uncoupling*. Dengan sifat-sifat tersebut, persamaan differensial dapat diselesaikan untuk setiap pengaruh mode.

Berdasarkan persamaan (3.32), massa (*generalized mass*), redaman dan kekakuan dapat didefinisikan suatu generalisasi sebagai berikut :

$$M_n^* = (\phi)_n^T [M] \{\phi\}_n \quad (3.33a)$$

$$C_n^* = (\phi)_n^T [C] \{\phi\}_n \quad (3.33b)$$

$$K_n^* = (\phi)_n^T [K] \{\phi\}_n \quad (3.33c)$$

Dengan definisi pada persamaan (3.33), persamaan (3.32) akan menjadi:

$$M_n^* \ddot{Z}_n + C_n^* \dot{Z}_n + K_n^* Z_n = -P_n^* \ddot{y}_t \quad (3.34)$$

dengan :

$$P_n^* = \{\phi\}_n^T [M] \quad (3.35)$$

terdapat hubungan bahwa :

$$\xi = \frac{C_n^*}{C_{cr}^*} = \frac{C_n^*}{2M_n^* \omega_n}, \text{ maka } \frac{C_n^*}{M_n^*} = 2\xi \omega_n \quad (3.36a)$$

$$\omega_n^2 = \frac{K_n^*}{M_n^*} (\text{rad/sec}) \text{ dan } \Gamma_n = \frac{P_n^*}{M_n^*} \quad (3.36b)$$

Dengan hubungan-hubungan seperti pada persamaan (3.36) dan (3.35), persamaan (3.34) akan menjadi :

$$\ddot{Z}_n + 2\xi \omega_n \dot{Z}_n + \omega_n^2 Z_n = -\Gamma_n \ddot{y}_t \quad (3.37)$$

$$\Gamma_n = \frac{P_n^*}{M_n^*} = \frac{\{\phi\}_n^T [M] \{1\}}{\{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n} \quad (3.38)$$

Dan persamaan (3.38) sering disebut dengan partisipasi setiap mode atau *mode participation factor*. Persamaan (3.37) dapat ditulis menjadi :

$$\frac{\ddot{Z}_n}{\Gamma_n} + 2\xi \omega_n \frac{\dot{Z}_n}{\Gamma_n} + \omega_n^2 \frac{Z_n}{\Gamma_n} = -\ddot{y}_t \quad (3.39)$$

Bila diambil suatu notasi bahwa :

$$\ddot{q}_n = \frac{\ddot{Z}_n}{\Gamma_n} (\text{in/sec}^2), \dot{q}_n = \frac{\dot{Z}_n}{\Gamma_n} (\text{in/sec}) \text{ dan } q_n = \frac{Z_n}{\Gamma_n} (\text{in}) \quad (3.40)$$

Maka persamaan (3.40) menjadi :

$$\ddot{q}_n + 2\xi \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\ddot{y}_t \quad (3.41)$$

Persamaan (3.41) adalah persamaan differensial yang bebas karena persamaan tersebut hanya berhubungan dengan tiap-tiap mode. Nilai \ddot{q} , \dot{q} dan q dapat dihitung dengan integrasi secara numerik. Apabila nilai tersebut telah diperoleh, maka nilai Z_n dapat dihitung. Dengan demikian simpangan horisontal setiap tingkat dapat dihitung.

3.6 Respon Struktur Terhadap Beban Gempa

Persamaan gerakan yang disebabkan beban gempa dapat diselesaikan dengan persamaan (3.41) dengan persamaan gerakan mode ke- n sistem dari

SDOF. Sistem SDOF mempunyai frekuensi natural (*natural frequency*) (ω_n) dan ratio redaman (ξ_n) mode ke- n dari sistem MDOF dengan $n= 1,2,3,4, \dots, i$

Nilai yang akan dicari adalah $q_n(t)$, misalnya dipergunakan *Newmark's Acceleration Method* untuk *unconditionally stable procedures*, proses integrasi adalah sebagai berikut.

Pada *Newmarks Acceleration Method* diperoleh hubungan awal bahwa :

$$\begin{aligned}\dot{q}_{n+1} &= \dot{q}_n + [(1-\gamma)\Delta t]\ddot{q}_n + (\gamma \cdot \Delta t)\ddot{q}_{n+1} \\ q_{n+1} &= q_n + (\Delta t)\dot{q}_n + [(0.5-\beta)(\Delta t)^2]\ddot{q}_n + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{q}_{n+1}\end{aligned}\quad (3.42)$$

Dari persamaan (3.42) dapat dibuat hubungan :

$$\Delta q_n = q_{n+1} - q_n \quad \Delta \dot{q}_n = \dot{q}_{n+1} - \dot{q}_n \quad \Delta \ddot{q}_n = \ddot{q}_{n+1} - \ddot{q}_n \quad (3.43a)$$

$$\Delta y_n = y_{n+1} - y_n \quad (3.43b)$$

sehingga persamaan (3.42) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta \dot{q}_n = (\Delta t)\ddot{q}_n + (\gamma \cdot \Delta t)\Delta \ddot{q}_n \quad (3.44a)$$

$$\Delta q_n = (\Delta t)\dot{q}_n + \frac{(\Delta t)^2}{2}\ddot{q}_n + \beta(\Delta t)^2\Delta \ddot{q}_n \quad (3.44b)$$

Dari persamaan (3.44b) didapat :

$$\Delta \ddot{q}_n = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}\Delta q_n - \frac{1}{\beta \cdot \Delta t}\dot{q}_n - \frac{1}{2\beta}\ddot{q}_n \quad (3.45)$$

Substitusi persamaan (3.45) ke dalam persamaan (3.44a) akan didapat persamaan :

$$\Delta \dot{q}_n = \frac{\gamma}{\beta \cdot \Delta t}\Delta q_n - \frac{\gamma}{\beta}\dot{q}_n + \Delta t\left(1 - \frac{\gamma}{2\beta}\right)\ddot{q}_n \quad (3.46)$$

Persamaan (3.45) dan persamaan (3.46) disubstitusikan ke persamaan (3.41) akan didapat persamaan :

$$\left(\omega^2 + \frac{2\xi\omega\gamma}{\beta \cdot \Delta t} + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2}\right)\Delta q_n = \Delta y + \left(\frac{1}{\beta \cdot \Delta t} + \frac{2\xi\omega\gamma}{\beta}\right)\dot{q}_n + \left[\frac{1}{2\beta} + \Delta t\left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1\right)2\xi\omega\right]\ddot{q}_n \quad (3.47)$$

Parameter γ dan β untuk *Newmark's Average Acceleration Method* adalah $\gamma = 1/2$ dan $\beta = 1/4$, sehingga persamaan (3.47) dapat ditulis menjadi :

$$\Delta q_n = \frac{\Delta \ddot{y}_n + a \cdot \dot{q}_n + b \cdot \ddot{q}_n}{\hat{k}} \quad (3.48)$$

dengan ketentuan :

$$a = \left[\frac{4}{\Delta t} + 4\xi\omega \right] \quad (3.49a)$$

$$b = 2 \quad (3.49b)$$

$$\tilde{k} = \left[\omega^2 + \frac{4\xi\omega}{\Delta t} + \frac{4}{\Delta t^2} \right] \quad (3.49c)$$

$$\Delta \hat{y}_n = \Delta \ddot{y}_n + a \dot{q}_n + b \ddot{q}_n \quad (3.50)$$

$$\ddot{q}_{n+1} = \ddot{y}_{n+1} - 2\xi\omega \dot{q}_{n+1} - \omega^2 q_{n+1} \quad (3.51)$$

Untuk kondisi awal pada umumnya :

$$q_0 = 0 \quad (3.52a)$$

$$\dot{q}_0 = 0 \quad (3.52b)$$

$$\ddot{q}_0 = 0 \quad (3.52c)$$

maka :

$$q_{n+1} = q_n + \Delta q_n \quad (3.53a)$$

$$\dot{q}_{n+1} = \dot{q}_n + \Delta \dot{q}_n \quad (3.53b)$$

$$\ddot{q}_{n+1} = \ddot{q}_n + \Delta \ddot{q}_n \quad (3.53c)$$

sehingga :

$$\ddot{q}_0 = \ddot{y}_0 - 2\xi\omega \dot{q}_0 - \omega^2 q_0 \quad (3.54)$$

$$\Delta \dot{q}_0 = \frac{2}{\Delta t} \Delta q_n - 2\dot{q}_n \quad (3.55)$$

$$\Delta \ddot{q}_0 = \frac{4}{(\Delta t)^2} (\Delta q_n - \Delta t \dot{q}_n) - 2\ddot{q}_n \quad (3.56)$$

Setelah didapat nilai q_n untuk tiap-tiap mode , selanjutnya nilai simpangan tiap mode dapat diperoleh $y_n(t)$.

$$y_n(t) = \Gamma_n \phi_n q_n(t) \quad (3.57)$$

3.7 Simpangan Struktur dan Efek Terhadap Struktur

3.7.1 Simpangan Relatif

Simpangan relatif adalah simpangan struktur yang dihitung terhadap lantai dasar struktur atau pondasi. Simpangan relatif memiliki akibat atau pengaruh terhadap benturan antar struktur bangunan yang didekatnya (*structural ponding*) bila jarak bangunan didekatnya kurang dari nilai simpangan relatif saat gempa terjadi. Nilai simpangan relatif dapat dihitung dengan memakai rumus sebagai berikut dan dijelaskan pada Gambar 3.4.

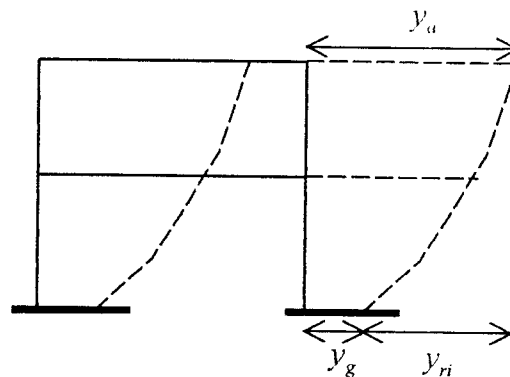
$$y_{ri} = y_a - y_g \quad (3.58)$$

dengan :

y_{ri} = simpangan relatif lantai ke- i .

y_a = simpangan absolut.

y_g = simpangan pondasi.



Gambar 3.4 Model simpangan struktur

3.7.2 Simpangan Antar Lantai (*Inter Storey Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah simpangan struktur yang terjadi antar lantai. Nilai simpangan antar lantai dihitung dengan nilai simpangan relatif lantai dengan lantai dibawahnya. Simpangan antar tingkat memiliki akibat atau pengaruh terhadap struktur bangunan yaitu berupa efek perlemahan tingkat (*soft storey effects*) bila tinggi kolom dan dimensi kolom berbeda cukup tajam sehingga mengakibatkan keruntuhan bangunan secara keseluruhan.

$$\Delta y_i = y_{i+1} + y_i \quad (3.59)$$

dengan:

y_{ri} = simpangan relatif lantai ke- i .

y_{ri+1} = simpangan relatif lantai ke- $i+1$.

Δy_i = simpangan antar tingkat ke- i dengan ke- $i+1$.

3.7.3 Simpangan Absolut

Simpangan absolut adalah simpangan struktur yang memperhitungkan besar simpangan pada tanah dalam hal ini pondasi dan simpangan relatif struktur. Simpangan absolut dihitung dengan menjumlahkan simpangan relatif struktur dan simpangan akibat gerakan tanah. Nilai simpangan absolut dapat dihitung dengan memakai rumus sebagai berikut.

$$y_a = y_r + y_g \quad (3.60)$$

dengan:

y_{ri} = simpangan relatif lantai ke- i .

y_a = simpangan absolut.

y_g = simpangan pondasi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan prosedur dalam penelitian yang diuraikan secara sistematis mencakup metode yang dipakai dalam penelitian seperti diuraikan berikut ini.

4.1 Kebutuhan Data

Penelitian dilakukan memakai suatu model *shear building* sederhana. Data yang diperlukan adalah :

1. struktur merupakan shear building dengan massa dan kekakuan yang diambil dari buku *Elements of Structural Dynamics* (Berg, 1998),
2. struktur berada pada tanah keras, dan
3. beban gempa memakai riwayat waktu (*time history*) dari gempa El Centro dari buku *Dynamics of Structures* (Chopra, 1995).

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menganalisis data dengan bantuan program Matlab dan Microsoft Excel dengan tahapan menghitung:

1. massa tiap lantai kemudian menyusun matriks massa-nya $[M]$,
2. kekakuan kemudian menyusun matriks kekakuan-nya $[K]$,
3. nilai c struktur tanpa redaman dengan *trial and error* sehingga dihasilkan nilai rasio redaman pada mode pertama sebesar 2% selanjutnya menyusun matriks redaman-nya $[C]$,
4. persamaan *eigenproblem*, untuk mendapatkan nilai *mode shape* (ϕ_n),
5. matriks massa efektif $[M^*]$,
6. matriks kekakuan efektif $[K^*]$,
7. matriks redaman efektif $[C^*]$,
8. frekuensi sudut (ω),
9. ratio redaman (ξ),

10. faktor partisipasi (Γ),
11. nilai q_n memakai metode *Newmark's Average Acceleration*, dan
12. simpangan horisontal $y_n(t)$, dengan input Gempa El Centro 1940.

Data gempa berupa time history dari gempa El Centro divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 4.2. Proses analisis dapat lebih jelas divisualisaikan dalam bentuk *Flow Chart* seperti terlihat pada Gambar 4.1.

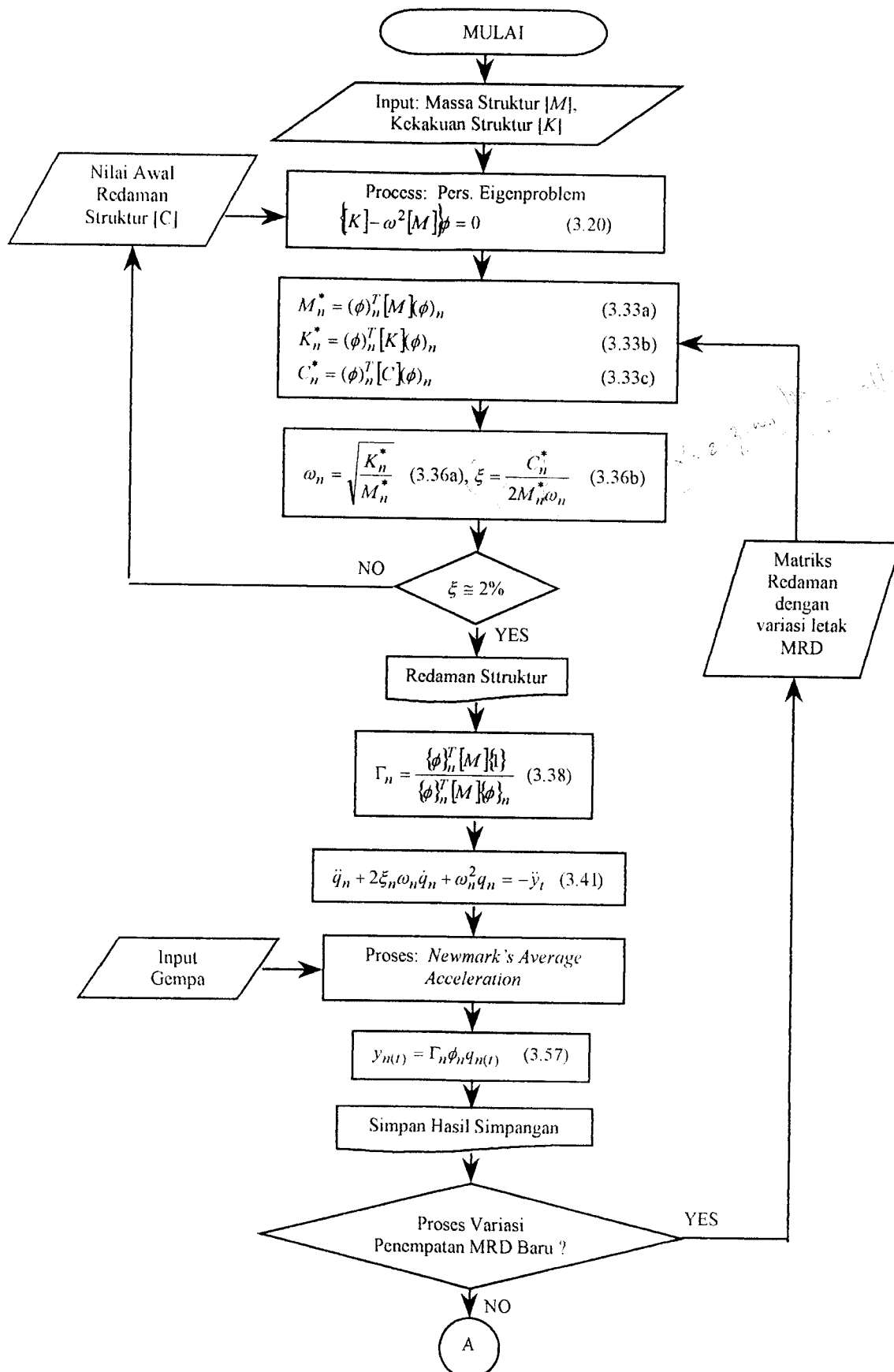
4.3 Pengujian Data

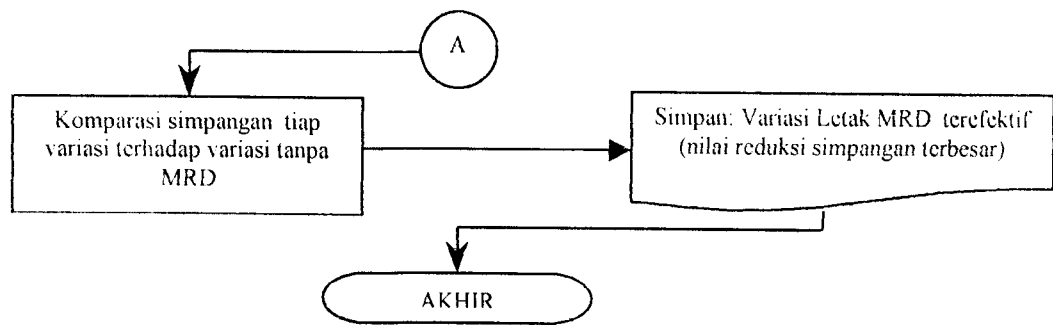
Pengujian dilakukan dengan cara numeris memakai alat bantu program komputer berupa Matlab untuk mengolah data dan Microsoft Excel untuk mengolah data lanjutan berupa grafik.

Pengujian dilakukan dengan memakai dua model struktur, yaitu struktur bertingkat 6 dan struktur bertingkat 8. Masing-masing model dilakukan pengujian tanpa menggunakan MRD dan dengan menggunakan MRD dengan berbagai variasi letak peredam pada tiap tingkat. Variasi letak peredam dapat dilihat pada Tabel 4.1. Peredam yang digunakan adalah peredam ganda dengan nilai kapasitas total 15 kip.sec/in yang masing-masing peredam berkapasitas 7,5 kip.sec/in.

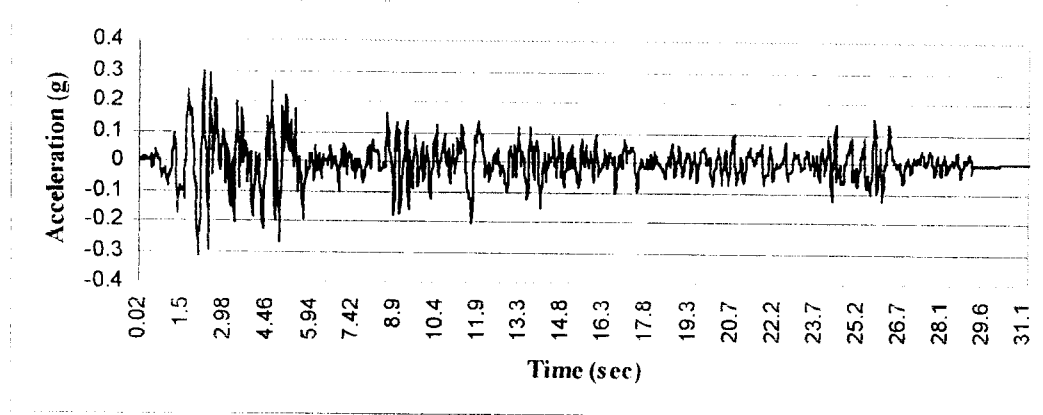
4.4 Analisis Data

Analisis dilakukan dengan memakai data gempa El Centro 1940 dari buku *Dynamics of Structures* oleh Chopra (p.233-236) dan data struktur dari buku *Elements of Stuctural Dynamics* oleh Berg (p.145) termasuk data alat peredam tambahan dapat dilihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.59. Data dianalisis memakai metode *Newmark Acceleration* untuk mendapatkan respon struktur terhadap beban gempa berupa simpangan horisontal maksimum.





Gambar 4.1 Flow Chart Analisis



Gambar 4.2 El Centro 1940 Ground Motion

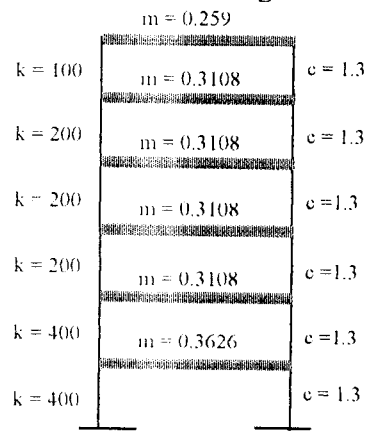
4.5 Model Struktur

Pembebanan struktur dalam bentuk massa dihitung dari berat struktur (w) dibagi dengan gravitasi (g), dalam bentuk matematik $m = w/g$ (m dalam kip/in/sec²). Contoh perhitungan massa mengambil model struktur pada Gambar 4.1. Beban pada lantai 1 sebesar $w=140$ kip, sehingga nilai massa pada lantai 1 adalah $m = 140 / 386.09 = 0.3626$ kip/in/sec². Berat tiap lantai dari semua model struktur adalah lantai 1 sebesar 140 kip, lantai teratas sebesar 100 kip, dan antara lantai 1 hingga lantai teratas masing-masing sebesar 120 kip. Model struktur beserta variasi penempatan redaman pada bangunan bertingkat 6 dan 8 dapat dilihat mulai Gambar 4.3 sampai Gambar 4.61.

Tabel 4.1 Variasi letak MRD

No.	Variasi	Letak MRD		No.	Variasi	Letak MRD	
		A di Tk	B di Tk			A di Tk	B di Tk
1	6D00	0	0	1	8D00	0	0
2	6D11	1	1	2	8D11	1	1
3	6D12	1	2	3	8D12	1	2
4	6D13	1	3	4	8D13	1	3
5	6D14	1	4	5	8D14	1	4
6	6D15	1	5	6	8D15	1	5
7	6D16	1	6	7	8D16	1	6
8	6D22	2	2	8	8D17	1	7
9	6D23	2	3	9	8D18	1	8
10	6D24	2	4	10	8D22	2	2
11	6D25	2	5	11	8D23	2	3
12	6D26	2	6	12	8D24	2	4
13	6D33	3	3	13	8D25	2	5
14	6D34	3	4	14	8D26	2	6
15	6D35	3	5	15	8D27	2	7
16	6D36	3	6	16	8D28	2	8
17	6D44	4	4	17	8D33	3	3
18	6D45	4	5	18	8D34	3	4
19	6D46	4	6	19	8D35	3	5
20	6D55	5	5	20	8D36	3	6
21	6D56	5	6	21	8D37	3	7
22	6D66	6	6	22	8D38	3	8
				23	8D44	4	4
				24	8D45	4	5
				25	8D46	4	6
				26	8D47	4	7
				27	8D48	4	8
				28	8D55	5	5
				29	8D56	5	6
				30	8D57	5	7
				31	8D58	5	8
				32	8D66	6	6
				33	8D67	6	7
				34	8D68	6	8
				35	8D77	7	7
				36	8D78	7	8
				37	8D88	8	8

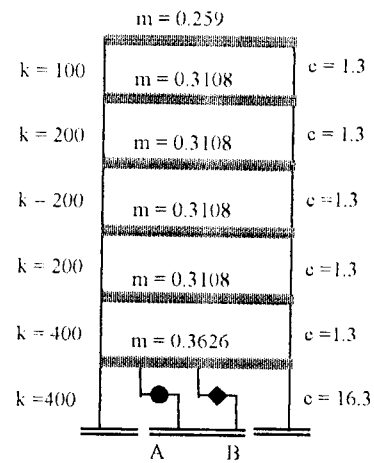
Model Struktur Bangunan Bertingkat 6



Gambar 4.3 Variasi tanpa peredam

Matriks redaman variasi 6D00

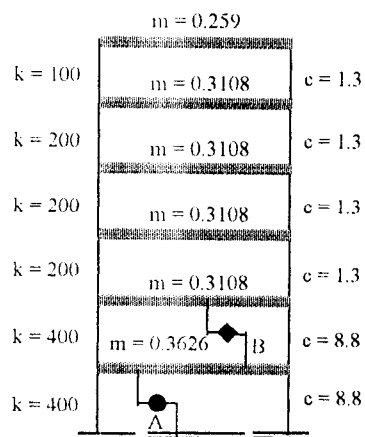
$$[C^1] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.4 Letak peredam variasi 6D11

Matriks redaman variasi 6D11

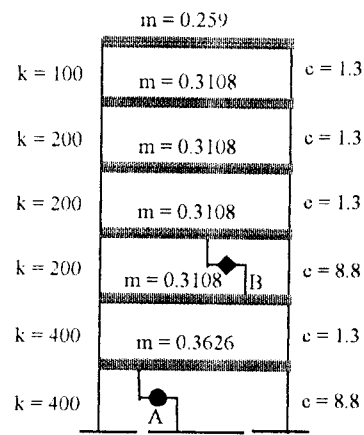
$$[C^2] = \begin{bmatrix} 17.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.5 Letak peredam variasi 6D12

Matriks redaman variasi 6D12

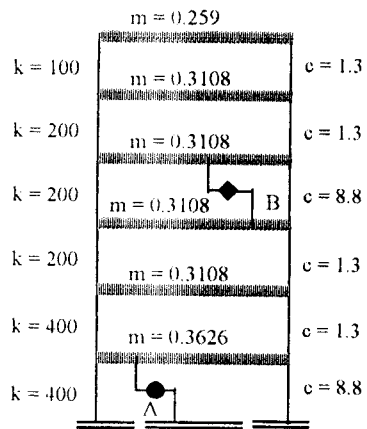
$$[C^3] = \begin{bmatrix} 17.6 & -8.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.6 Letak peredam variasi 6D13

Matriks redaman variasi 6D13

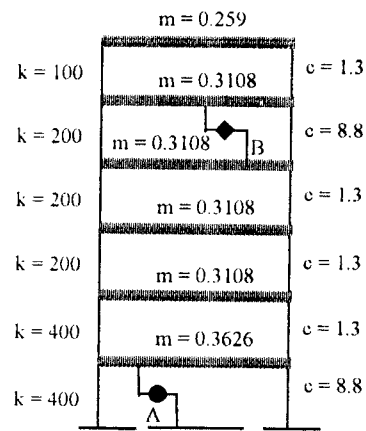
$$[C^4] = \begin{bmatrix} 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.7 Letak peredam variasi 6D14

Matriks redaman variasi 6D14

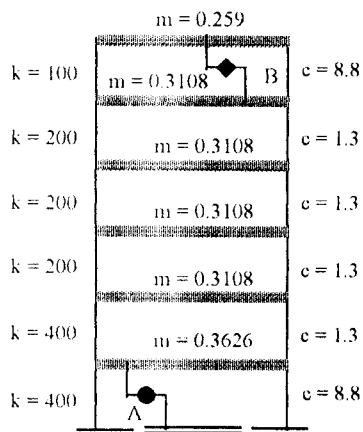
$$[C^5] = \begin{bmatrix} 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.8 Letak peredam variasi 6D15

Matriks redaman variasi 6D15

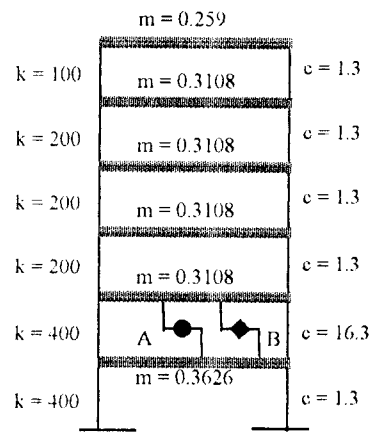
$$[C^6] = \begin{bmatrix} 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.9 Letak peredam variasi 6D16

Matriks redaman variasi 6D16

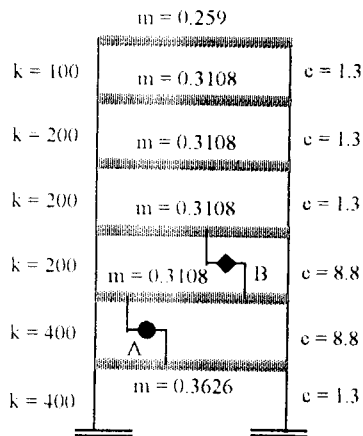
$$[C^7] = \begin{bmatrix} 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -8.8 & 8.8 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.10 Letak peredam variasi 6D22

Matriks redaman variasi 6D22

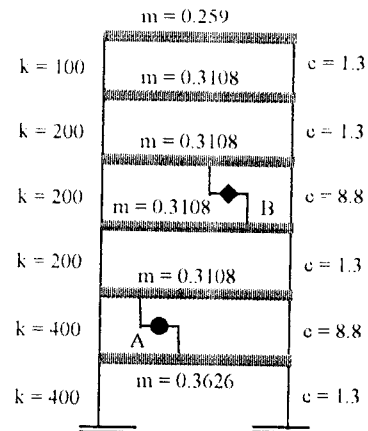
$$[C^8] = \begin{bmatrix} 17.6 & -16.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -16.3 & 17.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.11 Letak peredam variasi 6D23

Matriks redaman variasi 6D23

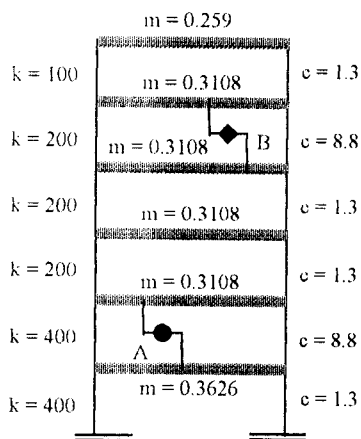
$$[C^9] = \begin{bmatrix} 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8.8 & 17.6 & -8.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.12 Letak peredam variasi 6D24

Matriks redaman variasi 6D24

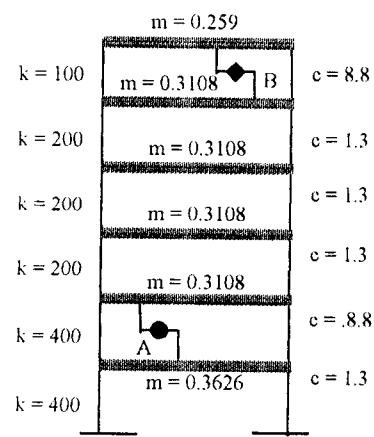
$$[C^{10}] = \begin{bmatrix} 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.13 Letak peredam variasi 6D25

Matriks redaman variasi 6D25

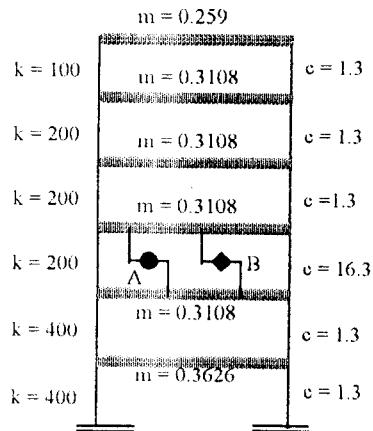
$$[C^{11}] = \begin{bmatrix} 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.14 Letak peredam variasi 6D26

Matriks redaman variasi 6D26

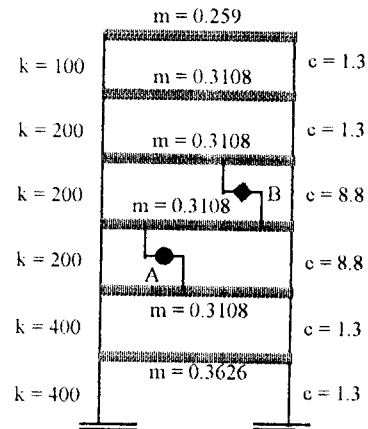
$$[C^{12}] = \begin{bmatrix} 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -8.8 & 8.8 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.15 Letak peredam variasi 6D33

Matriks redaman variasi 6D33

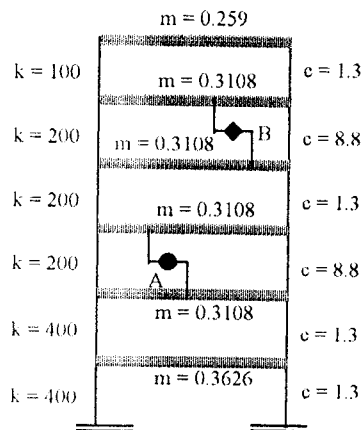
$$[C13] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 17.6 & -16.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -16.3 & 17.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.16 Letak peredam variasi 6D34

Matriks redaman variasi 6D34

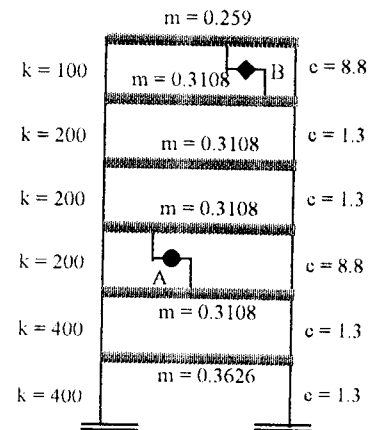
$$[C14] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.8 & 17.6 & -8.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.17 Letak peredam variasi 6D35

Matriks redaman variasi 6D35

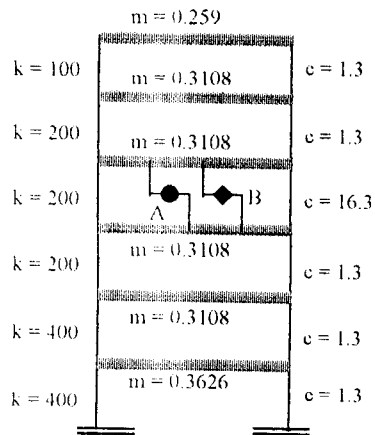
$$[C15] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.18 Letak peredam variasi 6D36

Matriks redaman variasi 6D36

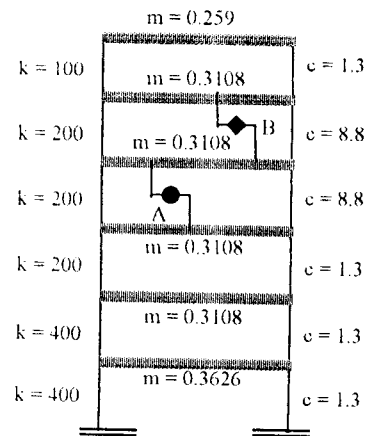
$$[C16] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -8.8 & 8.8 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.19 Letak peredam variasi 6D44

Matriks redaman variasi 6D44

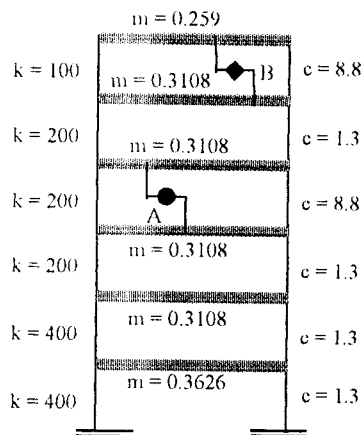
$$[C^{17}] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 17.6 & -16.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -16.3 & 17.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.20 Letak peredam variasi 6D45

Matriks redaman variasi 6D45

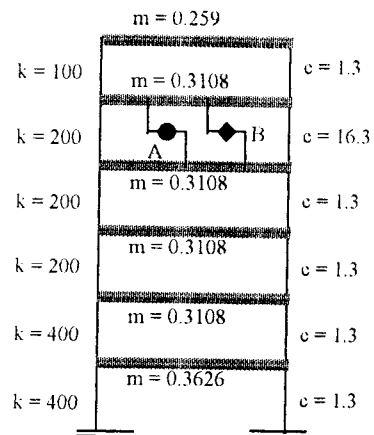
$$[C^{18}] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8.8 & 17.6 & -8.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.21 Letak peredam variasi 6D46

Matriks redaman variasi 6D46

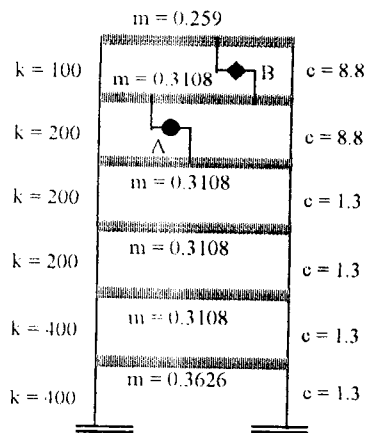
$$[C^{19}] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -8.8 & 10.1 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -8.8 & 8.8 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.22 Letak peredam variasi 6D55

Matriks redaman variasi 6D55

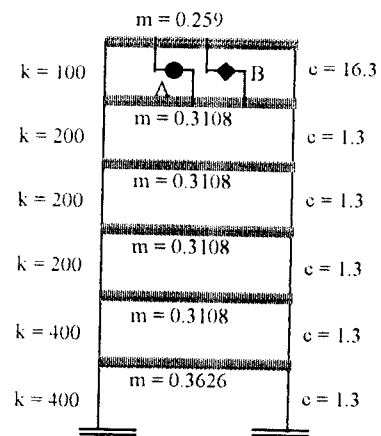
$$[C^{20}] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 17.6 & -16.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -16.3 & 17.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.23 Letak peredam variasi 6D56

Matriks redaman variasi 6D56

$$[C'21] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 10.1 & -8.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -8.8 & 17.6 & -8.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -8.8 & 8.8 \end{bmatrix}$$

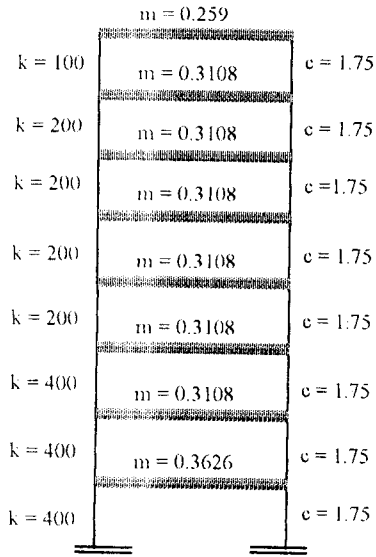


Gambar 4.24 Letak peredam variasi 6D66

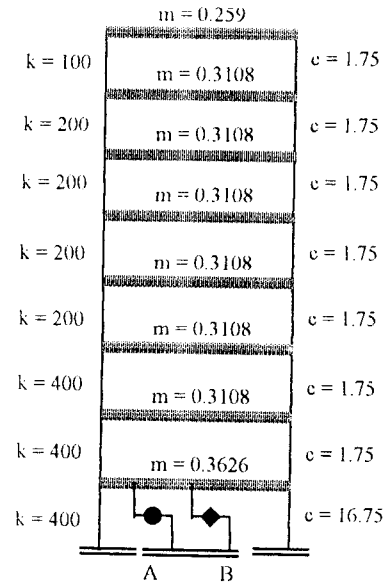
Matriks redaman variasi 6D66

$$[C'22] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 17.6 & -16.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -16.3 & 16.3 \end{bmatrix}$$

Model Struktur Bangunan Bertingkat 8



Gambar 4.25 Variasi tanpa peredam



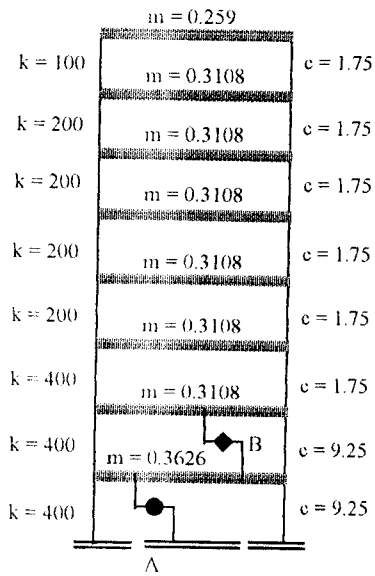
Gambar 4.26 Letak peredam variasi 8D11

Matriks redaman variasi 8D00

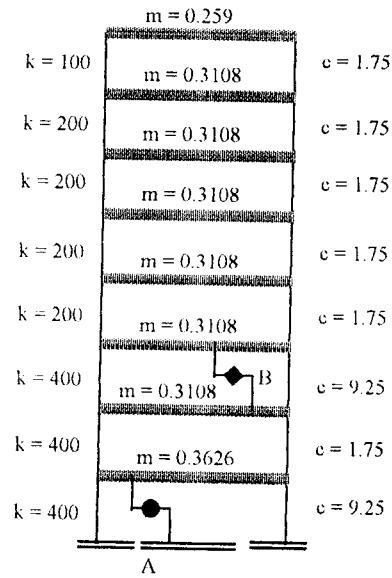
$$[C_{23}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D11

$$[C_{24}] = \begin{bmatrix} 18.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.27 Letak peredam variasi 8D12



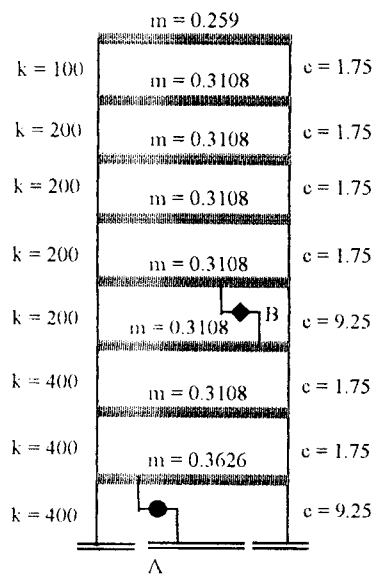
Gambar 4.28 Letak peredam variasi 8D13

Matriks redaman variasi 8D12

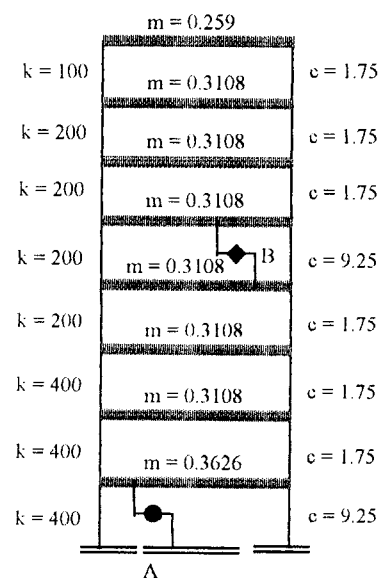
$$[C'25] = \begin{bmatrix} 18.5 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D13

$$[C'26] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.29 Letak peredam variasi 8D14



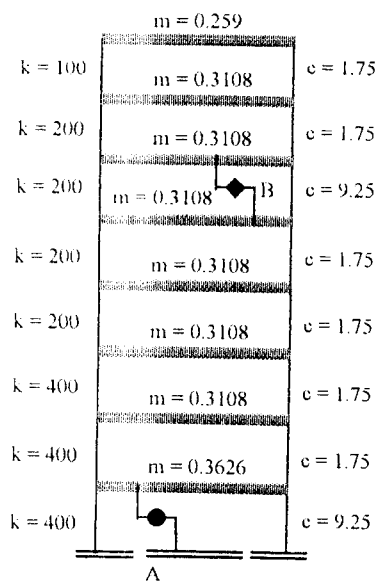
Gambar 4.30 Letak peredam variasi 8D15

Matriks redaman variasi 8D14

$$[C'27] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D15

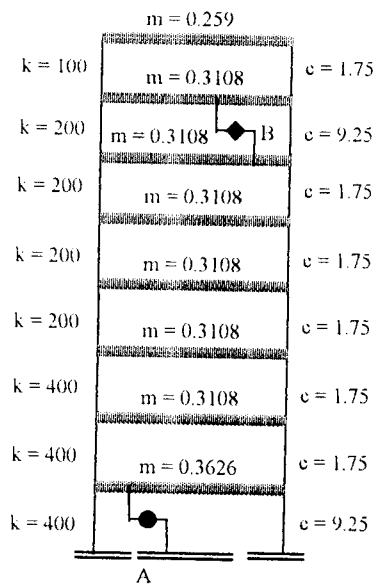
$$[C'28] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.31 Letak peredam variasi 8D16

Matriks redaman variasi 8D16

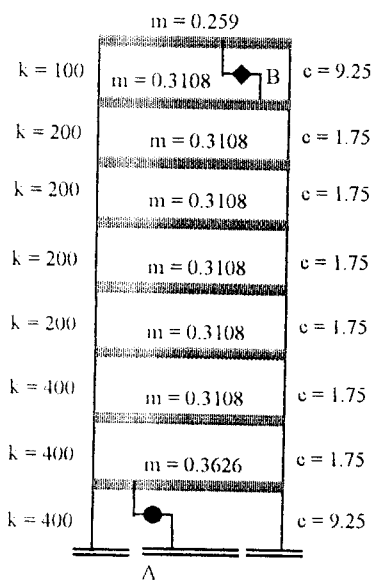
$$[c'29] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



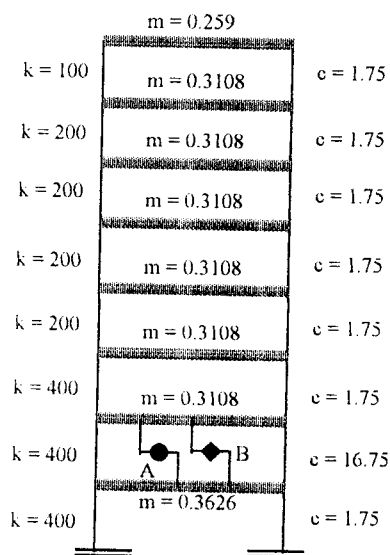
Gambar 4.32 Letak peredam variasi 8D17

Matriks redaman variasi 8D17

$$[c'30] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.33 Letak peredam variasi 8D18



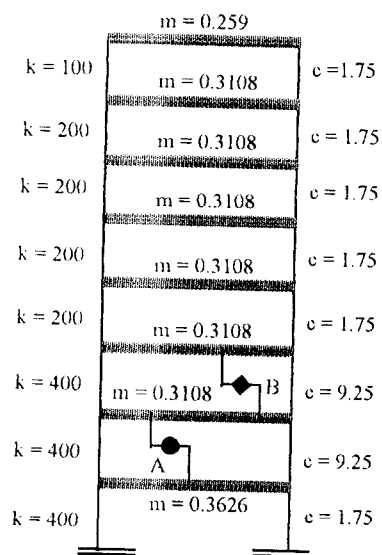
Gambar 4.34 Letak peredam variasi 8D22

Matriks redaman variasi 8D18

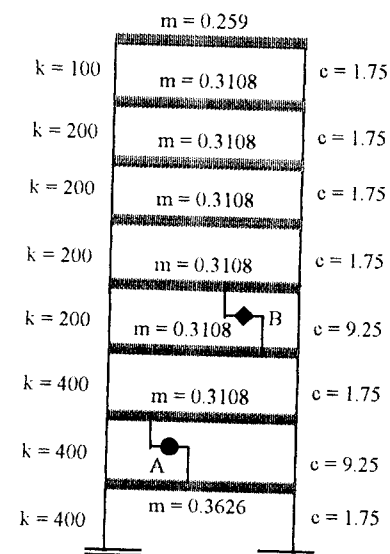
$$[C'31] = \begin{bmatrix} 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D22

$$[C'32] = \begin{bmatrix} 18.5 & -16.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -16.75 & 18.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.35 Letak peredam variasi 8D23



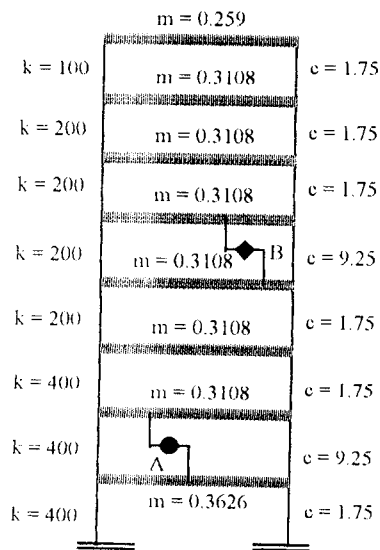
Gambar 4.36 Letak peredam variasi 8D24

Matriks redaman variasi 8D23

$$[C'33] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 18.5 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D24

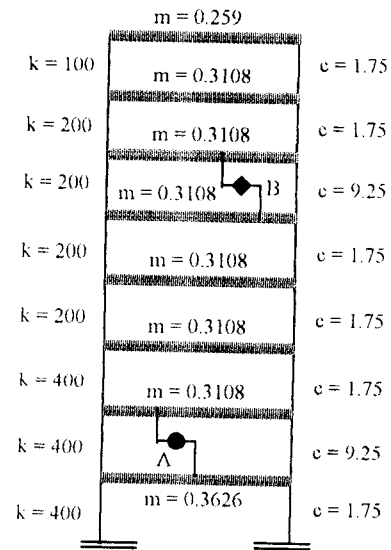
$$[C'34] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.37. Letak peredam variasi 8D25

Matriks redaman variasi 8D25

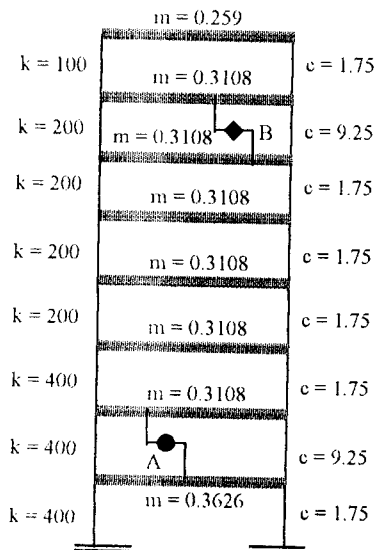
$$[C^{35}] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



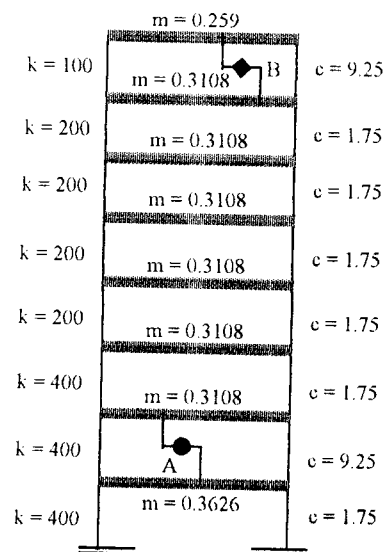
Gambar 4.38. Letak peredam variasi 8D26

Matriks redaman variasi 8D26

$$[C^{36}] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.39 Letak peredam variasi 8D27



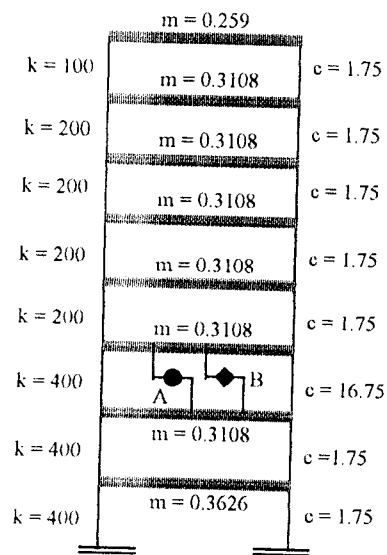
Gambar 4.40 Letak peredam variasi 8D28

Matriks redaman variasi 8D27

$$[C'37] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D28

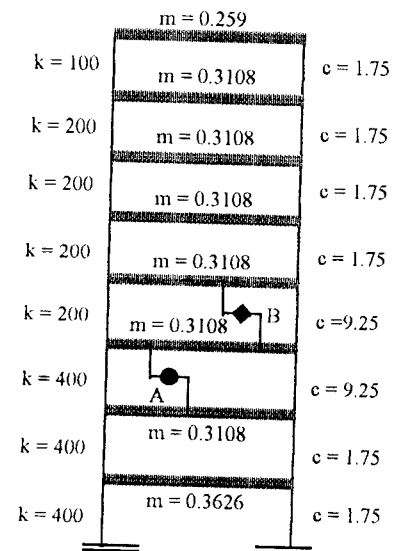
$$[C'38] = \begin{bmatrix} 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.41 Letak peredam variasi 8D33

Matriks redaman variasi 8D33

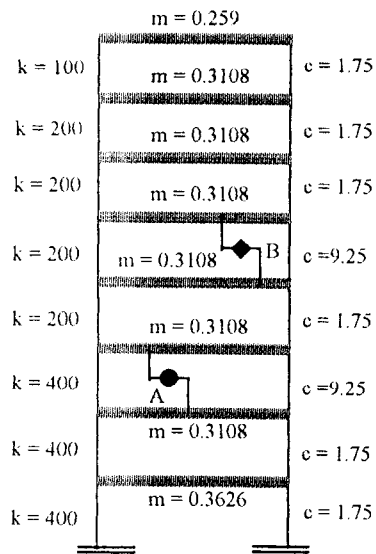
$$[C'39] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 18.5 & -16.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -16.75 & 18.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.42 Letak peredam variasi 8D34

Matriks redaman variasi 8D34

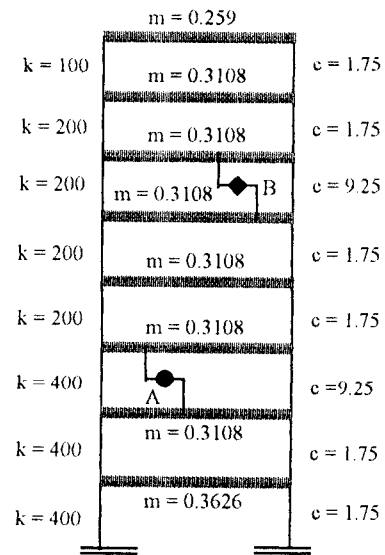
$$[C'40] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 18.5 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.43 Letak peredam variasi 8D35

Matriks redaman variasi 8D35

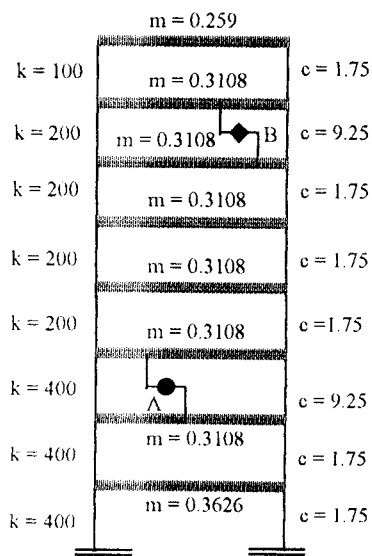
$$[C_{41}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



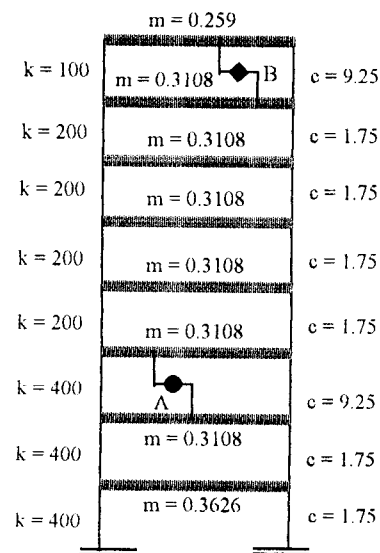
Gambar 4.44 Letak peredam variasi 8D36

Matriks redaman variasi 8D36

$$[C_{42}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.45 Letak peredam variasi 8D37



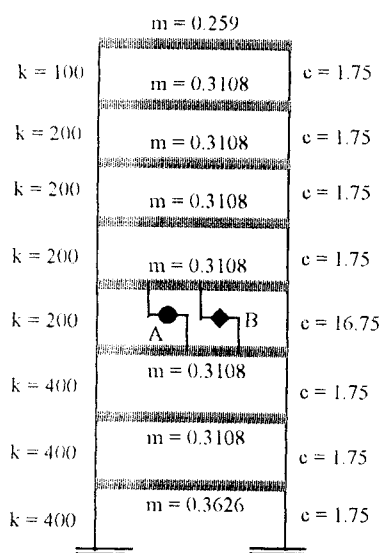
Gambar 4.46 Letak peredam variasi 8D38

Matriks redaman variasi 8D37

$$[C'43] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & -1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D38

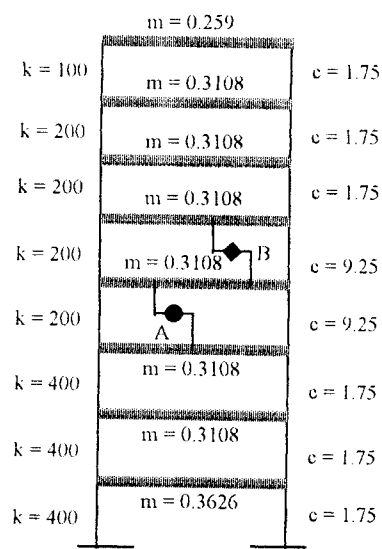
$$[C'44] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.47 Letak peredam variasi 8D44

Matriks redaman variasi 8D44

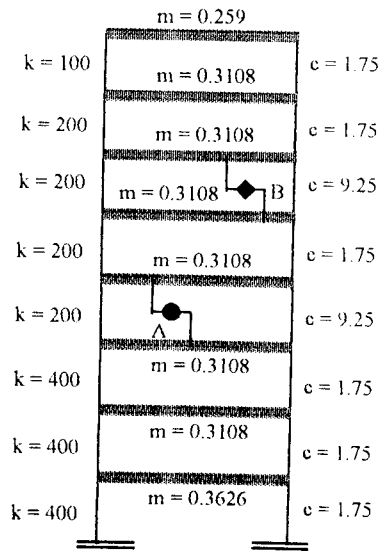
$$[C'45] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 18.5 & -16.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -16.75 & 18.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



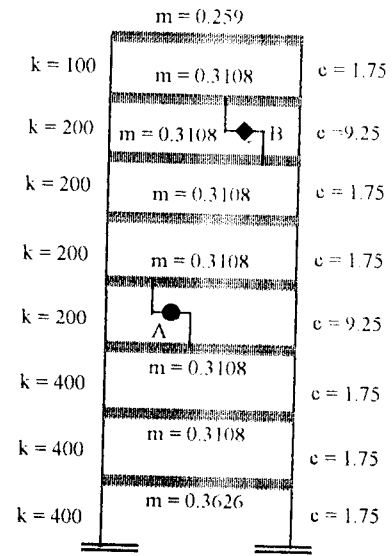
Gambar 4.48 Letak peredam variasi 8D45

Matriks redaman variasi 8D45

$$[C'46] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 18.5 & -11.85 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -11.85 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.49 Letak peredam variasi 8D46



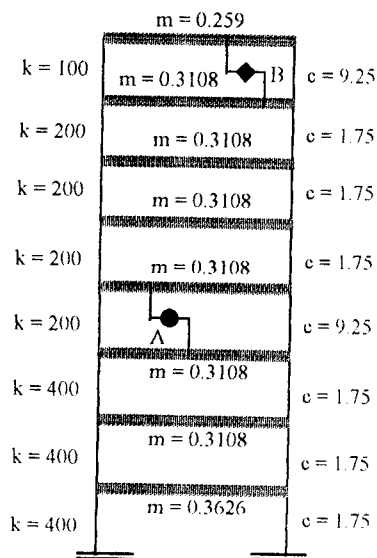
Gambar 4.50 Letak peredam variasi 8D47

Matriks redaman variasi 8D46

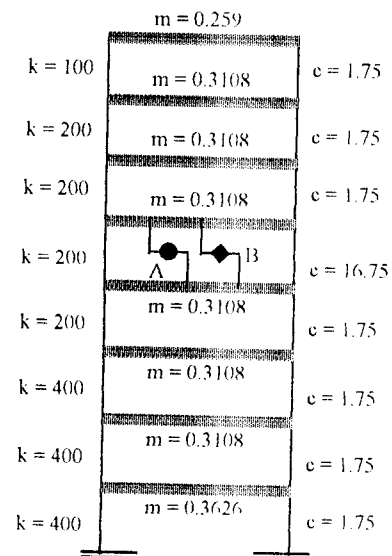
$$[C47] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D47

$$[C48] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.51 Letak peredam variasi 8D48



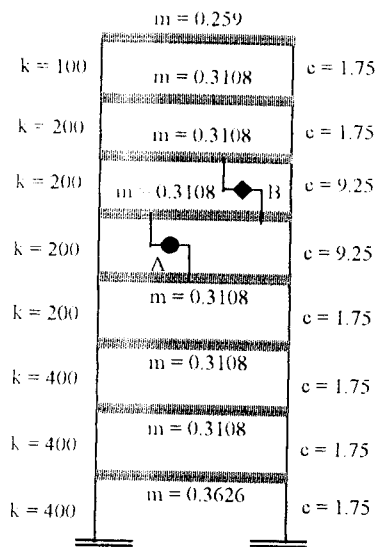
Gambar 4.52 Letak peredam variasi 8D55

Matriks redaman variasi 8D48

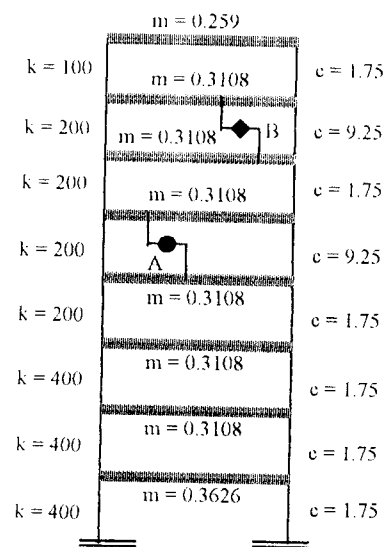
$$[C'49] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D55

$$[C'50] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 18.5 & -16.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -16.75 & 18.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.53 Letak peredam variasi 8D56



Gambar 4.54 Letak peredam variasi 8D57

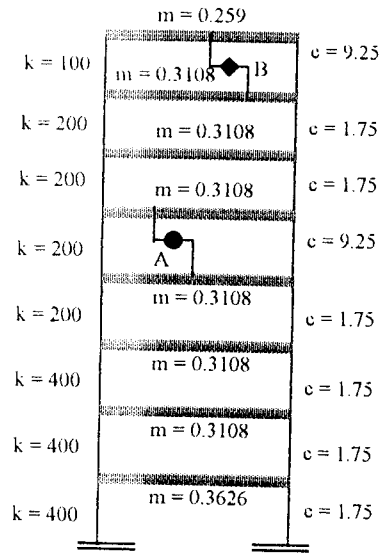
Matriks redaman variasi 8D56

$$[C'51] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 18.5 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D57

$$[C'52] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

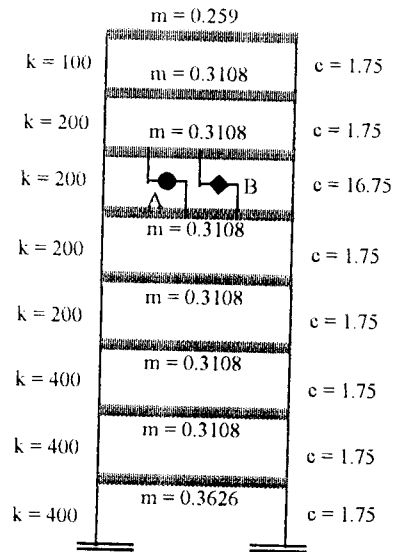




Gambar 4.55 Letak peredam variasi 8D58

Matriks redaman variasi 8D58

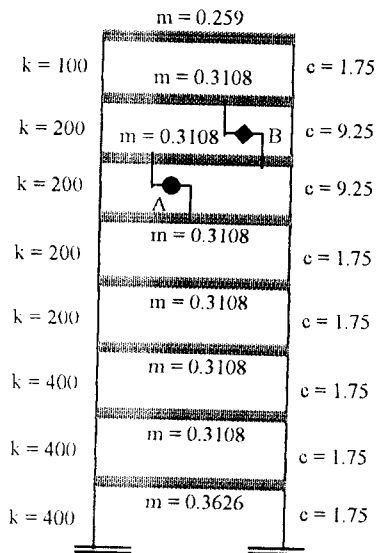
$$[C_{53}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$



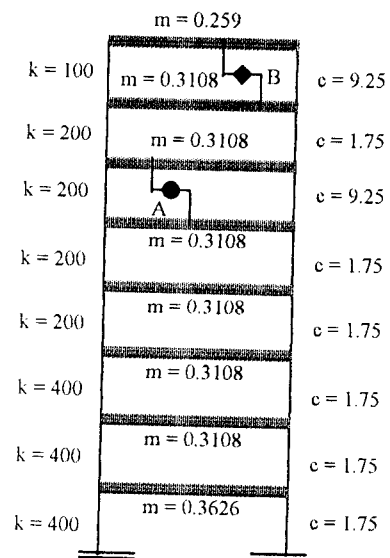
Gambar 4.56 Letak peredam variasi 8D66

Matriks redaman variasi 8D66

$$[C_{54}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 18.5 & -16.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -16.75 & 18.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



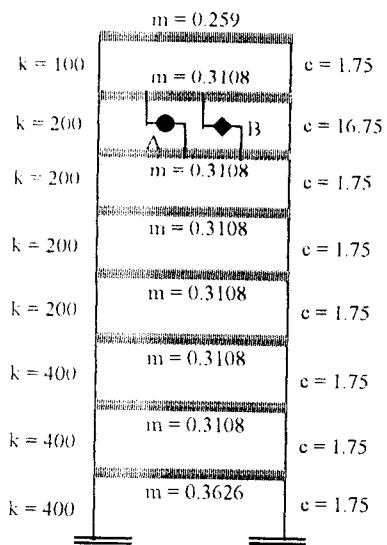
Gambar 4.57 Letak peredam variasi 8D67



Gambar 4.58 Letak peredam variasi 8D68

Matriks redaman variasi 8D67

$$[C'55] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 18.5 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$



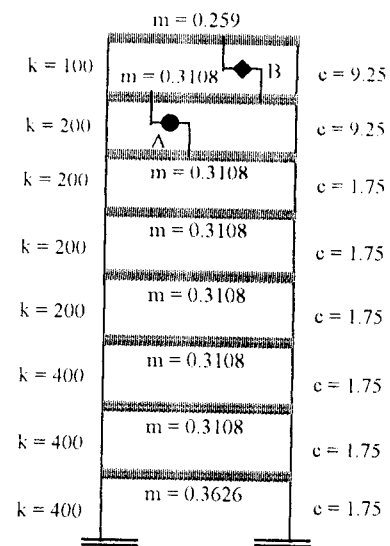
Gambar 4.59 Letak peredam variasi 8D77

Matriks redaman variasi 8D77

$$[C'57] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 18.5 & -16.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16.75 & 18.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & -1.75 \end{bmatrix}$$

Matriks redaman variasi 8D68

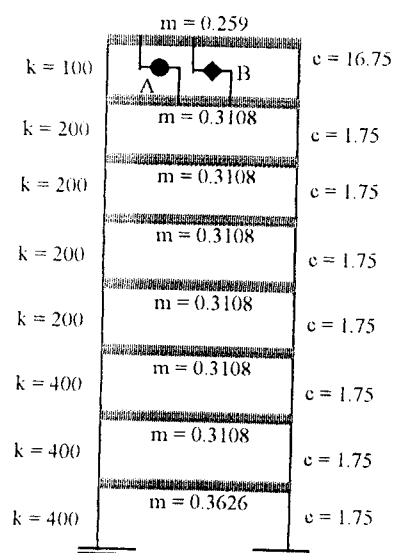
$$[C'56] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 11 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.60 Letak peredam variasi 8D78

Matriks redaman variasi 8D78

$$[C'58] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 11 & -9.25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 18.5 & -9.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -9.25 & 9.25 \end{bmatrix}$$



Gambar 4.61 Letak peredam variasi 8D88

Matriks redaman variasi 8D88

$$[C_{59}] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 18.5 & -16.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16.75 & 16.75 \end{bmatrix}$$

Keterangan:

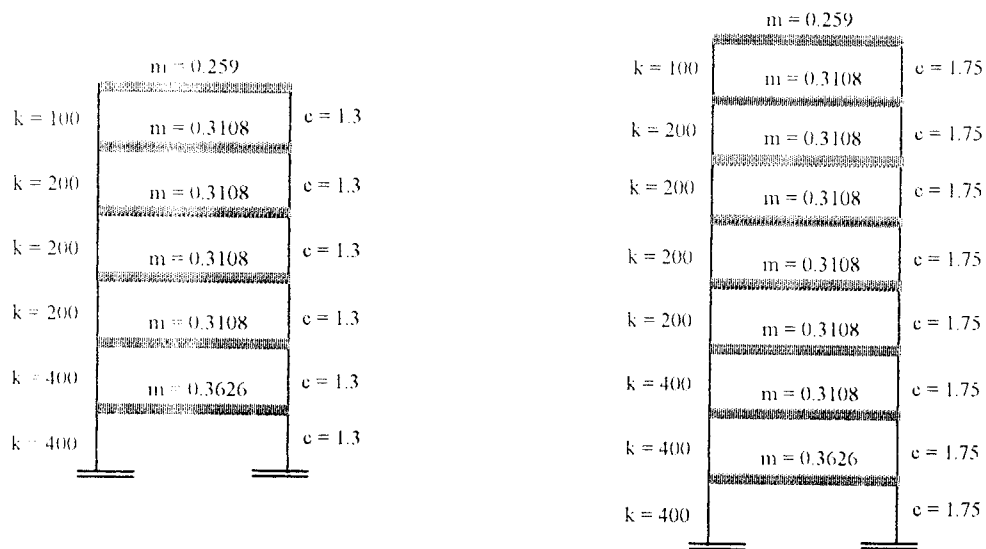
- Nilai dari notasi-notasi di atas memiliki satuan berbeda yaitu m dalam kip/in/sec², k dalam kip/in dan c dalam kip/in/sec.
- Notasi variasi (x D a b) dengan x adalah tipe bangunan yang ditinjau, a adalah posisi damper pada lantai a yang ditinjau, b adalah posisi damper pada lantai b yang ditinjau dan D adalah simbol damper.
- Untuk variasi 6D15 berarti bangunan 6 lantai dengan dengan damper a pada lantai ke-1 dan damper b pada lantai ke 5.
- Untuk variasi 8D38 berarti bangunan 8 lantai dengan dengan damper a pada lantai ke-3 dan damper b pada lantai ke 8.
- Untuk massa dan kekakuan struktur dengan MRD sama dengan massa dan kekakuan struktur tanpa MRD.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat perhitungan yang dipakai untuk menganalisis penempatan peredam.

5.1 Analisis

Analisis dilakukan dengan memakai dua model struktur, yaitu struktur bertingkat 6 dan struktur bertingkat 8 masing-masing dapat dilihat pada Gambar 5.1. Masing-masing dilakukan pengujian tanpa menggunakan MRD dan dengan menggunakan MRD dengan berbagai variasi letak peredam pada tiap tingkat.



Gambar 5.1 Struktur bertingkat 6 dan 8

Dengan nilai matriks massa (kip/in/sec²) dan kekakuan (kip/in) struktur bertingkat 6 dan 8 masing-masing sebagai berikut:

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix}$$

5.2 Ragam Bentuk (*mode shape*) dan Frekuensi Natural

Nilai dari *mode shape* didapat dengan menyusun persamaan *eigenproblem* dengan matriks massa dan kekakuan struktur merupakan input dari persamaan *eigenproblem*. Dengan menggunakan aplikasi program Matlab, dari persamaan *eigenproblem* akan diperoleh nilai modal struktur. Nilai modal struktur bertingkat 6 dan bertingkat 8 dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2.

Tabel 5.1 Nilai modal struktur bertingkat 6

ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6
-0.0867	-0.231	0.383	0.4085	0.2621	0.6647
-0.1693	-0.3862	0.5018	0.3112	0.0136	-0.7018
-0.3202	-0.4796	0.1463	-0.544	-0.5288	0.2419
-0.4444	-0.3034	-0.3822	-0.2444	0.6946	-0.0815
-0.5316	0.0434	-0.4588	0.574	-0.4016	0.0222
-0.6174	0.6881	0.4728	-0.2262	0.088	-0.0029

Tabel 5.2 Nilai modal struktur bertingkat 8

ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	ϕ_8
-0.0618	-0.1872	-0.2502	0.2828	0.3336	0.4705	0.41	0.4342
-0.1218	-0.3342	-0.3843	0.3292	0.2026	0.0379	-0.0866	-0.7554
-0.1787	-0.4194	-0.3655	0.1397	-0.1703	-0.457	-0.4191	0.4764
-0.2833	-0.4352	-0.0371	-0.4395	-0.5095	0.057	0.5045	-0.1142
-0.3733	-0.2903	0.3208	-0.3889	0.3677	0.3835	-0.4843	0.0274
-0.4443	-0.0383	0.4234	0.2191	0.367	-0.5519	0.3627	-0.0065
-0.4925	0.2278	0.1892	0.513	-0.5099	0.3287	-0.1651	0.0013
-0.5384	0.5919	-0.5803	-0.3695	0.1712	-0.0733	0.031	-0.0001

Elemen massa efektif (kip/in/sec²) dan kekakuan efektif (kip/in) struktur bertingkat 6 sebagai berikut:

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 0.0219 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2890 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3068 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3168 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3140 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3337 \end{bmatrix}$$

$$[K^*] = (1.0e+003) * \begin{bmatrix} 0.0156 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1046 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2334 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.4327 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6747 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.1249 \end{bmatrix}$$

Elemen massa efektif (kip/in/sec²) dan kekakuan efektif (kip/in) struktur bertingkat 8 sebagai berikut:

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 0.2960 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2945 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.2966 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3079 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3151 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3220 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3195 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3206 \end{bmatrix}$$

$$[K^*] = (1.0e + 003) * \begin{bmatrix} 0.0098 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0699 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1519 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.2839 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4840 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6818 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7792 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.3225 \end{bmatrix}$$

Karena matrik massa efektif dan kekakuan efektif adalah matrik diagonal, sehingga hasil ω^2 mengacu pada persamaan (3.37b) yang merupakan perkalian dari $[M^*]^{-1}$ dengan $[K^*]$ juga berupa matrik diagonal.

Matriks ω^2 dan ω (rad/sec) untuk bangunan bertingkat 6 adalah:

$$\omega^2 = [M^*]^{-1} [K^*] = 1.0e + 003 * \begin{bmatrix} 0.0536 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3617 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7607 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.3659 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.1488 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.1488 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 7.3237 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 19.0192 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 19.0192 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 36.9588 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 46.3553 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 58.0604 \end{bmatrix}$$

Matriks ω^2 dan ω (rad/sec) untuk bangunan bertingkat 8 adalah:

$$\omega^2 = [M^*]^{-1} [K^*] = 1.0e + 003 * \begin{bmatrix} 0.0330 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2375 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5120 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9222 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5363 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.1174 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.4392 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.1253 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 5.7406 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15.4104 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 22.6267 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30.3673 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 39.1960 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 46.0149 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 49.3881 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 64.2287 \end{bmatrix}$$

Faktor partisipasi setiap mode dihitung dengan memakai persamaan (3.39). Nilai faktor partisipasi setiap mode dari struktur bertingkat 6 dan bertingkat 8 dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan 5.4.

Tabel 5.3 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 6

Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	Γ_5	Γ_6
-2.2194	-0.8837	0.6563	0.3776	0.1554	0.2363

Tabel 5.4 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 8

Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	Γ_5	Γ_6	Γ_7	Γ_8
-2.5355	-1.0709	-0.659	0.3984	0.2757	0.276	0.2105	0.1313

5.3 Efek Redaman

Matrik redaman (kip/in/sec) dan redaman efektif (kip/in/sec) dari struktur 6 lantai tanpa MRD sesuai dengan persamaan (3.34b) adalah:

$$[C] = \begin{bmatrix} 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.3 & 2.6 & -1.3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.3 & 1.3 \end{bmatrix}$$

$$[C^*] = \begin{bmatrix} 0.0878 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8491 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.8723 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.9998 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4.3715 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.3104 \end{bmatrix}$$

Matrik redaman (kip/in/sec) dan redaman efektif (kip/in/sec) dari struktur 8 lantai tanpa MRD sesuai dengan persamaan (3.34b) adalah:

$$[C'] = \begin{bmatrix} 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 3.5 & -1.75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.75 & 1.75 \end{bmatrix}$$

$$[C^*] = \begin{bmatrix} 0.0686 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6161 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.7053 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.9592 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4.1730 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4.9635 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5.9328 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6.1097 \end{bmatrix}$$

5.4 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi

Dengan memakai hubungan persamaan (3.37a) maka nilai rasio redaman struktur dapat dihitung. Nilai rasio redaman dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan 5.6.

Tabel 5.5 Nilai rasio redaman struktur bertingkat 6

ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6
0.02056	0.07723	0.11062	0.1281	0.15018	0.11124

Tabel 5.6 Nilai rasio redaman struktur bertingkat 8

ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6	ξ_7	ξ_8
0.02017	0.06788	0.12705	0.15826	0.16896	0.1675	0.18801	0.14836

Dengan nilai rasio redaman, maka persamaan (3.42) yang merupakan persamaan gerakan dengan redaman akan didapat nilai q_n dengan memakai metode *Newmark's Acceleration* seperti terlihat pada persamaan (3.49) sampai (3.50).

Nilai dari variabel yang diperlukan dalam menghitung q_n dengan metode *Newmark's Acceleration* di antaranya a, b, \hat{k} dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8.

Tabel 5.7 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 6

Mode	ξ	ω	a	b	k
1	0.02056	7.3237	200.6022	2	10083.75
2	0.07723	19.0192	205.8754	2	10655.5
3	0.11062	27.5816	212.2046	2	11370.98
4	0.1281	36.9588	218.9376	2	12312.83
5	0.15018	46.3553	227.8468	2	13541.16
6	0.11124	58.0604	225.8342	2	14662.73

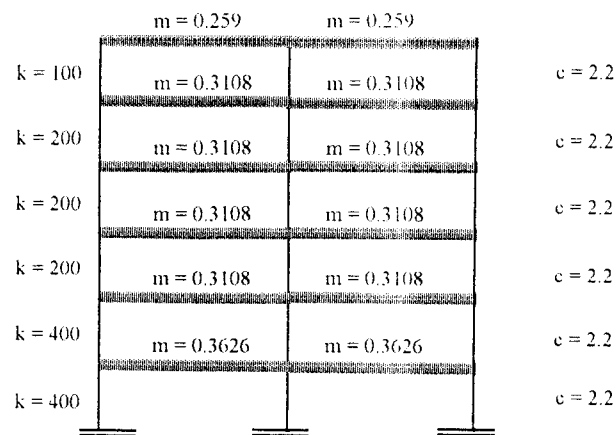
Tabel 5.8 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 8

Mode	ξ	ω	a	b	k
1	0.02017	5.7406	200.4632	2	10056.11
2	0.06788	15.4104	204.1841	2	10446.69
3	0.12705	22.6267	211.4986	2	11086.9
4	0.15826	30.3673	219.2233	2	11883.34
5	0.16896	39.1960	226.4907	2	12860.86
6	0.1675	46.0149	230.8297	2	13658.85
7	0.18801	49.3881	237.142	2	14296.28
8	0.14836	64.2287	238.117	2	16031.17

Dengan data tersebut di atas, maka nilai q_n yang merupakan nilai simpangan struktur dapat dicari memakai *Newmark's Acceleration Method*, selanjutnya nilai simpangan tiap lantai dari struktur dapat dihitung dengan memakai persamaan (3.58).

5.5 Analisis Bangunan Bertingkat 6 dengan Dua Bentangan

Analisis model struktur bertingkat 6 dengan menggunakan dua bentangan dapat dilihat pada Gambar 5.2. Model dilakukan pengujian tanpa menggunakan MRD. Analisis bangunan bertingkat 6 dengan dua bentangan ini digunakan sebagai pembandingan antara bangunan bertingkat dengan satu bentangan dan dua bentangan. Sehingga dapat diketahui perbedaan perilaku simpangan yang terjadi antara bangunan dengan satu bentangan dan dua bentangan.



Gambar 5.2 Struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan

Nilai matriks massa (kip/in/sec^2) dan kekakuan (kip/in) struktur bertingkat 6 untuk dua bentangan sebagai berikut:

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.7252 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6216 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6216 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6216 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6216 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5180 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 1200 & -600 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 900 & -300 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -600 & 6400 & -300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -300 & 600 & -300 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -300 & 450 & -150 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -150 & 150 \end{bmatrix}$$

5.5.1 Ragam Bentuk (*mode shape*) dan Frekuensi Natural

Dengan menyusun persamaan *eigenproblem* dari matriks massa dan kekakuan struktur akan diperoleh nilai *mode shape* struktur. Besarnya *mode shape* (periksa Tabel 5.9).

Tabel 5.9 Nilai modal struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan

ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6
-0.0867	-0.231	0.383	0.4085	0.2621	0.6647
-0.1693	-0.3862	0.5018	0.3112	0.0136	-0.7018
-0.3202	-0.4796	0.1463	-0.544	-0.5288	0.2419
-0.4444	-0.3034	-0.3822	-0.2444	0.6946	-0.0815
-0.5316	0.0434	-0.4588	0.574	-0.4016	0.0222
-0.6174	0.6881	0.4728	-0.2262	0.088	-0.0029

Elemen massa efektif (kip/in/sec²) dan kekakuan efektif (kip/in) struktur bertingkat 6 untuk dua bentangan sebagai berikut:

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 0.5829 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5781 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6137 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6336 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6279 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6674 \end{bmatrix}$$

$$[K^*] = (1.0e+003) * \begin{bmatrix} 0.0234 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1568 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3501 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.6491 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0120 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.6873 \end{bmatrix}$$

Matriks massa efektif dan kekakuan efektif adalah matrik diagonal, sehingga perkalian dari $[M^*]^{-1}$ dengan $[K^*]$ yang menghasilkan nilai ω^2 akan berupa matriks diagonal sesuai dengan persamaan (3.37b).

Matriks ω^2 dan ω (rad/sec) bangunan bertingkat 6 dengan dua bentangan adalah:

$$\omega^2 = [M^*]^{-1}[K^*] = 1.0e+003 * \begin{bmatrix} 0.0402 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2713 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5706 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0245 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.6116 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.5283 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 6.3425 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16.4712 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 23.8864 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 32.0072 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 40.1449 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50.2818 \end{bmatrix}$$

Faktor partisipasi setiap mode dihitung dengan memakai persamaan (3.39). Nilai faktor partisipasi setiap mode dari struktur bertingkat 6 dengan dua bentangan disajikan dalam Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Nilai faktor partisipasi struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan

Γ_1	Γ_2	Γ_3	Γ_4	Γ_5	Γ_6
-2.21939	-0.88369	0.65626	0.37759	0.15539	0.23635

5.5.2 Efek Redaman

Matrik redaman (kip/in/sec) dan redaman efektif (kip/in/sec) dari struktur bertingkat 6 dengan dua bentangan MRD sesuai dengan persamaan (3.34b) adalah:

$$[C] = \begin{bmatrix} 4.4 & -2.2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2.2 & 4.4 & -2.2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2.2 & 4.4 & -2.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.2 & 4.4 & -2.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2.2 & 4.4 & -2.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2.2 & 2.2 \end{bmatrix}$$

$$[C^*] = \begin{bmatrix} 0.1485 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.4370 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3.1686 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5.0765 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 7.3979 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7.2944 \end{bmatrix}$$

5.5.3 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi

Nilai rasio redaman struktur dapat dihitung dengan memakai persamaan (3.37a). Nilai rasio redaman dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Nilai rasio redaman struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan

ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5	ξ_6
0.02009	0.07546	0.10808	0.12516	0.14673	0.10869

Dengan memakai nilai rasio redaman pada Tabel 5.11, maka nilai q_n akan diperoleh dengan menggunakan metode *Newmark's Acceleration*.

Nilai dari variabel yang diperlukan dalam menghitung q_n dengan metode ini di antaranya a, b, \hat{k} (periksa Tabel 5.12).

Tabel 5.12 Nilai a,b,k untuk struktur bertingkat 6 dengan 2 bentangan

Mode	ξ	ω	a	b	k
1	0.02009	6.34248	200.5096	2	10065.71
2	0.07546	16.47115	204.9715	2	10519.87
3	0.10808	23.88638	210.327	2	11086.91
4	0.12516	32.00722	216.0241	2	11825.67
5	0.14673	40.14491	223.5626	2	12789.75
6	0.10869	50.28182	221.8597	2	13621.25

Dari data tersebut di atas, maka nilai q_n yang merupakan nilai simpangan struktur dapat dianalisis dengan memakai *Newmark's Acceleration Method*, selanjutnya nilai simpangan tiap lantai dari struktur dapat dihitung dengan memakai persamaan (3.58).

Dengan melihat proses analisis dengan memakai prinsip bangunan geser antara bangunan bertingkat dengan satu bentangan dan dua bentangan, maka dapat disimpulkan bahwa keduanya tidak ada perbedaan dalam proses analisis, sedangkan perbedaan terjadi pada variabel massa, kekakuan dan redaman struktur yang disusun dalam bentuk matriks M, K dan C yang merupakan variabel input. Mengingat kesamaan dalam menganalisis maka pada penelitian ini lebih difokuskan pada bangunan bertingkat tersebut dengan satu bentangan saja.

5.6 Pembahasan

Beban gempa yang terjadi pada suatu struktur menyebabkan struktur bergoyang dengan berbagai macam goyangan sesuai dengan jumlah tingkat struktur tersebut. Dalam struktur itu sendiri sebenarnya memiliki redaman internal, namun redaman internal tidak mencukupi untuk mengurangi simpangan struktur, maka diperlukan modifikasi pada struktur agar mendapatkan redaman yang memadai untuk struktur tersebut bergoyang.

Penelitian ini mencoba memvariasikan letak penempatan MRD ganda pada masing-masing lantai dari bangunan bertingkat 6 dan 8, sehingga didapatkan letak penempatan MRD yang efektif mengurangi simpangan struktur akibat beban gempa El Centro. Nilai prosentase reduksi simpangan struktur terkecil atau nilai prosentase reduksi simpangan terbesar merupakan nilai yang diharapkan.

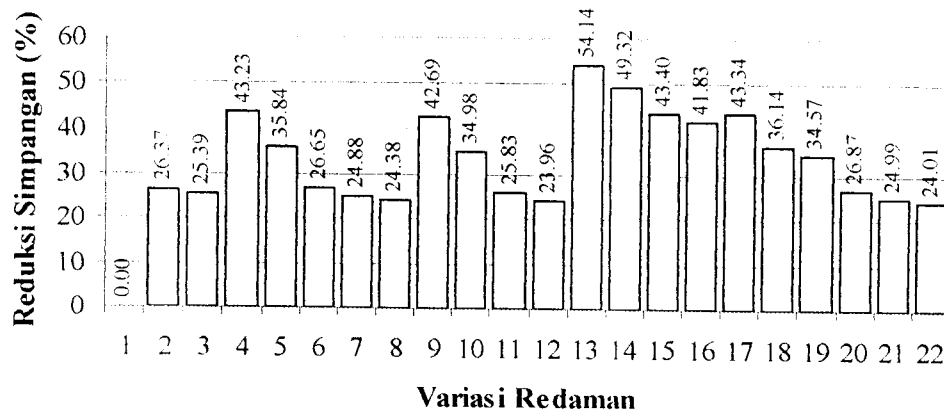
5.6.1 Simpangan Relatif

Simpangan dapat terjadi pada struktur apabila struktur tersebut dikenai pembebanan dari luar seperti beban angin, getaran mesin, dan beban gempa. Simpangan relatif adalah simpangan bangunan yang dihitung relatif terhadap pondasi.

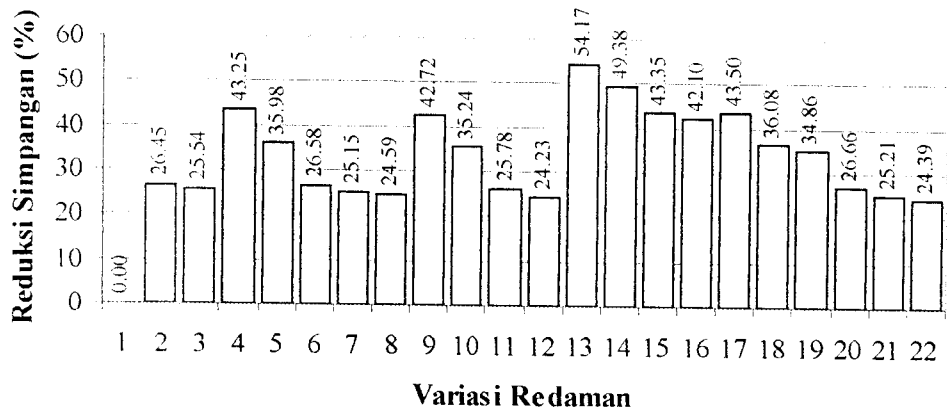
Nilai simpangan relatif maksimum tiap lantai dari masing-masing model struktur yaitu struktur bertingkat 6 dan 8 akan dijelaskan berikut ini.

5.6.2 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai

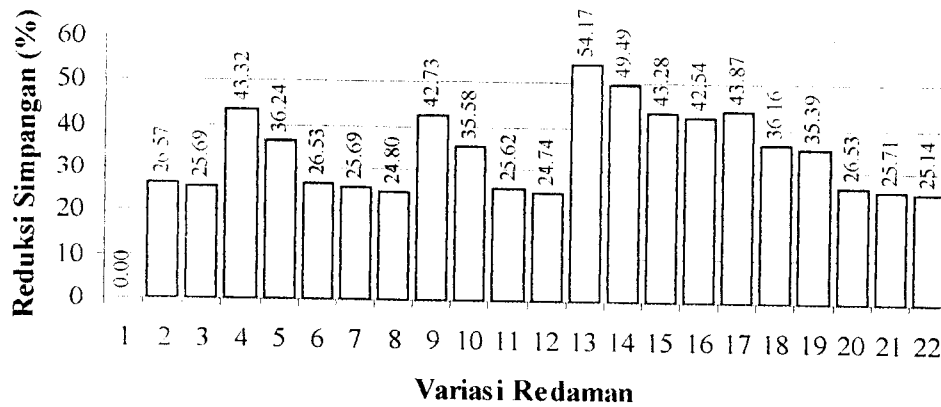
Hasil hitungan secara numeris berupa nilai simpangan relatif maksimum dan prosentase perubahan dari tiap variasi penempatan MRD untuk masing-masing lantai pada bangunan bertingkat 6, dapat dilihat mulai Gambar 5.3 hingga Gambar 5.8 yang merupakan visualisasi dari Tabel L.1 sampai L.6. (lihat Lampiran).



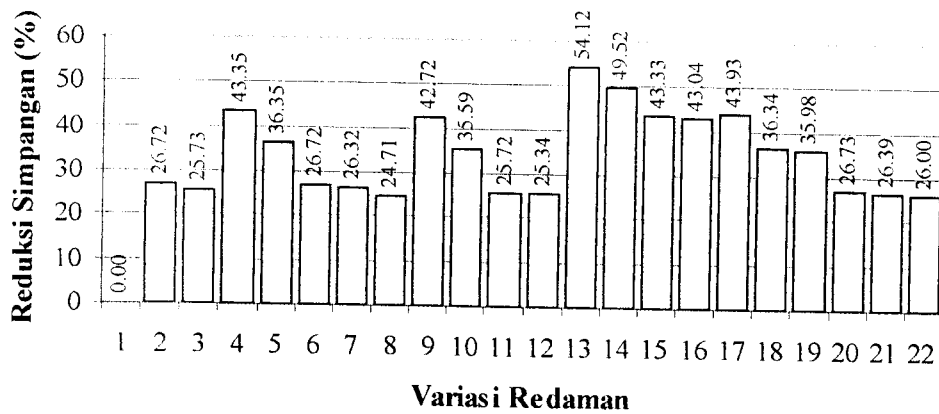
Gambar 5.3 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan bertingkat 6



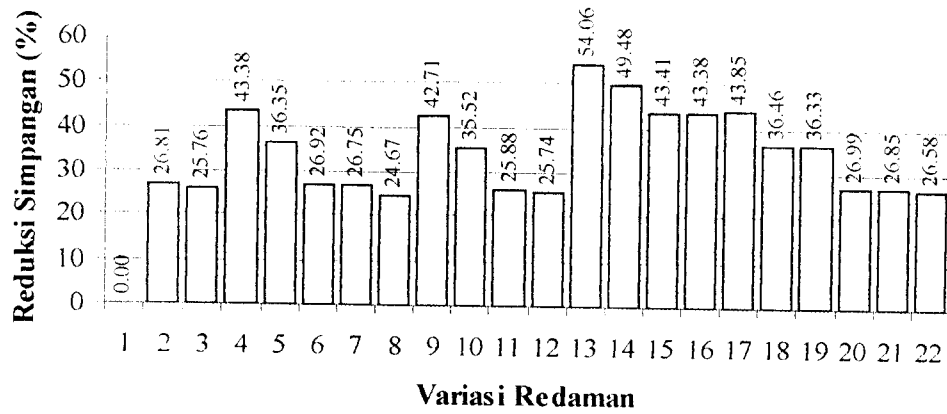
Gambar 5.4 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan bertingkat 6



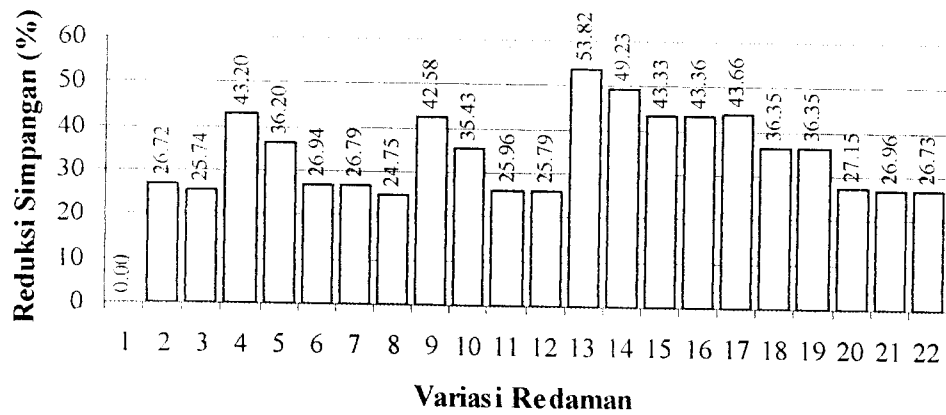
Gambar 5.5 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan bertingkat 6



Gambar 5.6 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan bertingkat 6



Gambar 5.7 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan bertingkat 6



Gambar 5.8 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan bertingkat 6

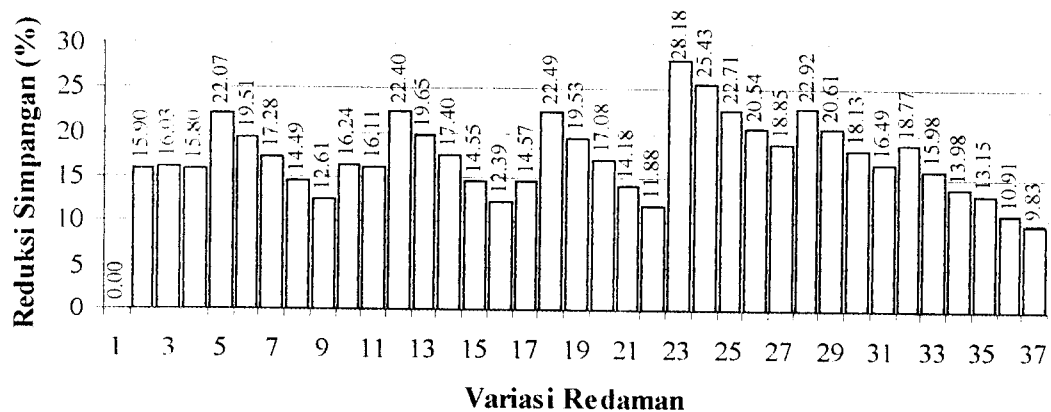
Nilai simpangan relatif dan prosentase pengurangan dari tiap lantai dari bangunan bertingkat 6 seperti disajikan mulai Gambar 5.3 hingga 5.8 dapat dilihat bahwa penempatan efektif kedua MRD berada pada lantai 3 karena mampu menghasilkan reduksi simpangan tiap lantai dari bangunan bertingkat 6 terbesar. Besar nilai reduksi dari tiap lantai untuk penempatan MRD di lantai 3 adalah sebagai berikut: Simpangan lantai 1 mampu direduksi mencapai 54,1368%, lantai 2 mencapai 54,1654%, lantai 3 mencapai 54,1699%, lantai 4 mencapai 54,1163%, lantai 5 mencapai 54,0589% dan lantai 6 mencapai 53,8228%.

Untuk penempatan MRD pada daerah tingkat teratas dan terbawah seperti ditunjukkan hasil dari variasi penempatan 6D11, 6D12, 6D15, 6D16, 6D22, 6D25, 6D26, 6D55, 6D56 dan 6D66 hanya mampu mereduksi simpangan tiap lantai berkisar antara 25% - 27%. Sedangkan untuk daerah pertengahan bangunan yang ditunjukkan oleh variasi 6D13, 6D14, 6D23, 6D24, 6D33, 6D34, 6D35, 6D36, 6D44, 6D45 dan 6D46 mampu mereduksi sebesar 35% - 55%.

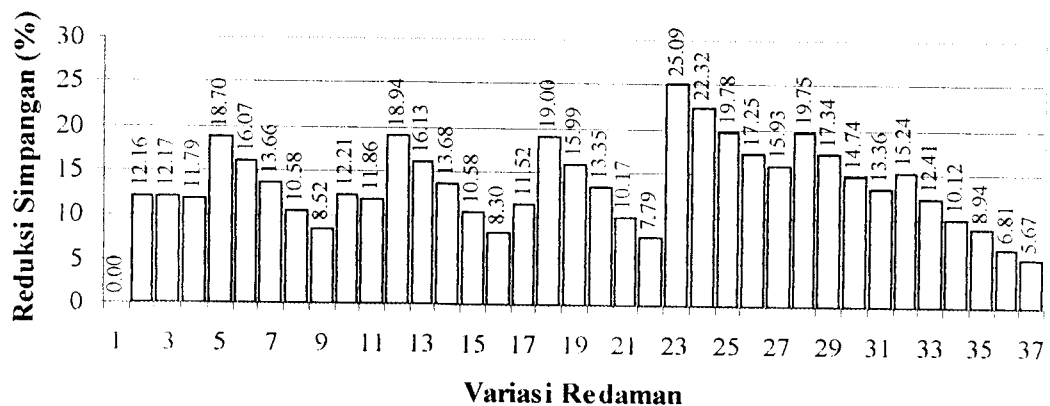
Hal tersebut membuktikan bahwa efektifitas penempatan peredam dalam mereduksi simpangan dari tiap lantai berada pada daerah pertengahan dari bangunan karena peredam mampu mendistribusikan redaman baik ke arah atas maupun bawah bangunan secara merata.

5.6.3 Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 8 Lantai

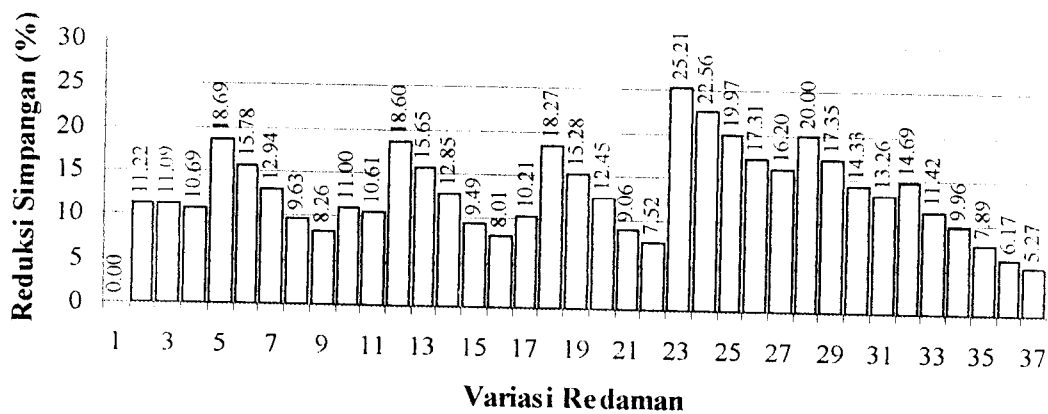
Hasil hitungan secara numeris berupa nilai simpangan relatif maksimum dan prosentase perubahan dari tiap variasi penempatan untuk masing-masing lantai pada bangunan bertingkat 8, dapat dilihat mulai Gambar 5.9 sampai Gambar 5.16 yang merupakan visualisasi dari Tabel L.7 sampai L.14. (lihat Lampiran).



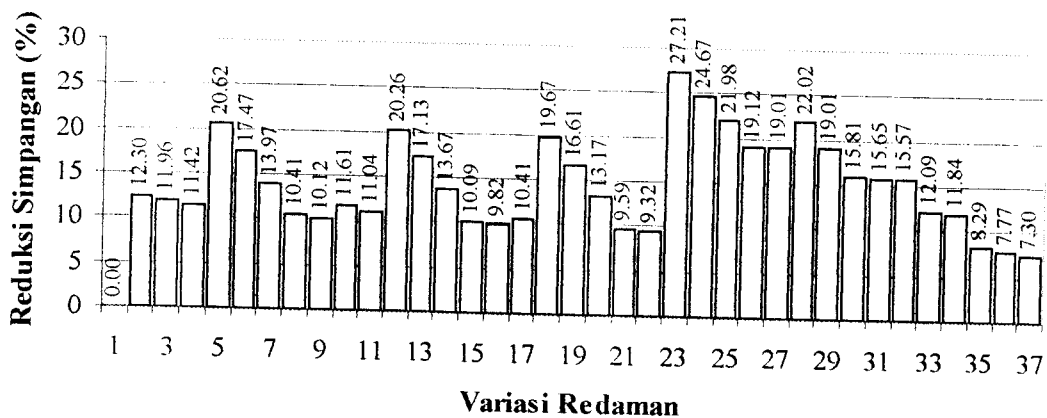
Gambar 5.9 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 1 pada bangunan bertingkat 8



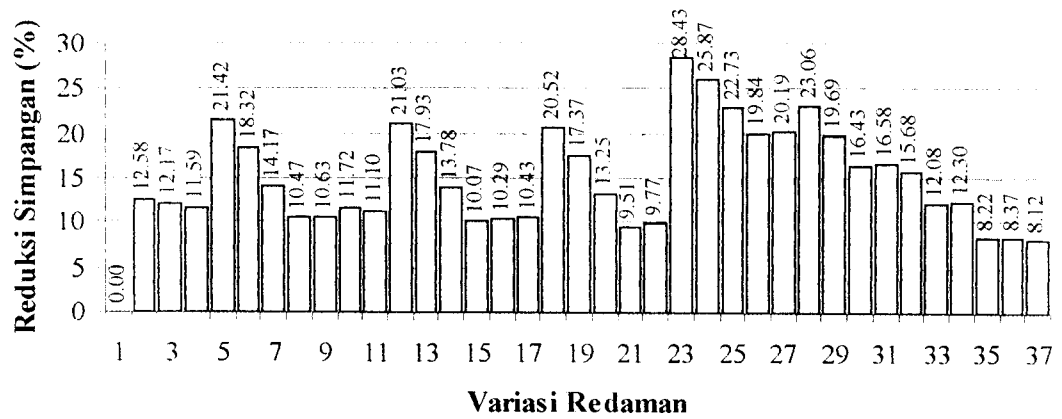
Gambar 5.10 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 2 pada bangunan bertingkat 8



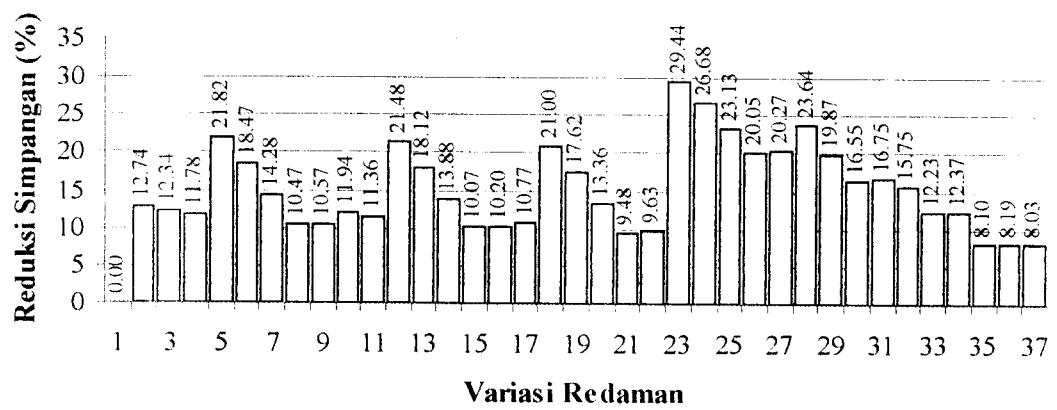
Gambar 5.11 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 3 pada bangunan bertingkat 8



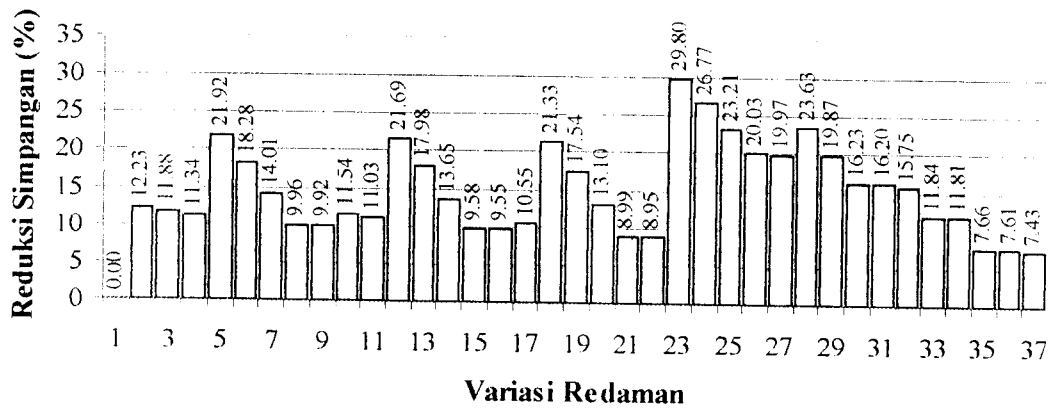
Gambar 5.12 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 4 pada bangunan bertingkat 8



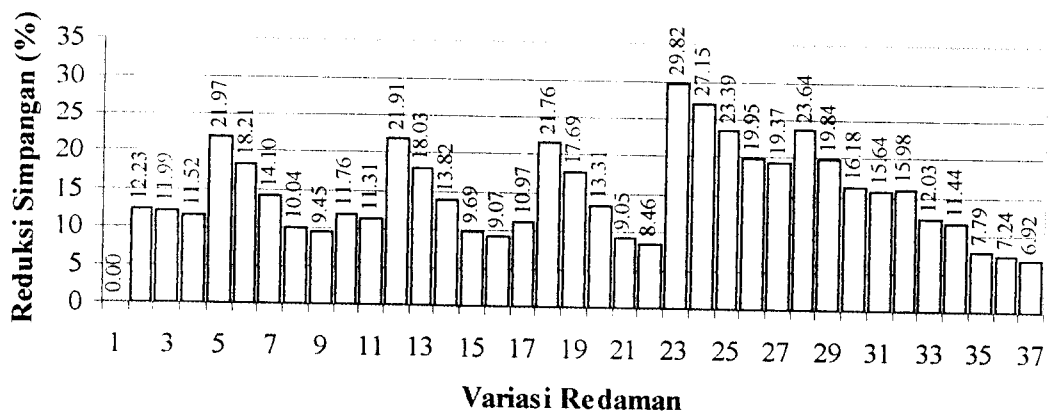
Gambar 5.13 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 5 pada bangunan bertingkat 8



Gambar 5.14 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 6 pada bangunan bertingkat 8



Gambar 5.15 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 7 pada bangunan bertingkat 8



Gambar 5.16 Prosentase reduksi simpangan relatif maksimum lantai 8 pada bangunan bertingkat 8

Gambar 5.9 sampai 5.16 merupakan penyajian hasil perhitungan numeris dari Tabel L.7 hingga L.14 (lihat Lampiran) berupa nilai simpangan relatif maksimum dan prosentase reduksi dari tiap variasi penempatan untuk masing-masing lantai pada bangunan bertingkat 8. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa penempatan efektif kedua MRD berada pada lantai 4 karena mampu mereduksi simpangan tiap lantai dari bangunan bertingkat 8 paling besar. Nilai reduksi dari tiap lantai untuk penempatan efektif MRD di lantai 4 adalah seperti berikut ini. Simpangan lantai 1 mampu direduksi mencapai 28.1777%, lantai 2 mencapai 25.0865%, lantai 3 mencapai 25.2149%, lantai 4 mencapai 27.2093%, lantai 5 mencapai 28.43124%, lantai 6 mencapai 29.4432%, lantai 7 mencapai 29.7992% dan lantai 8 mencapai 29.8189%.

Penempatan MRD pada daerah tingkat teratas dan terbawah seperti ditunjukkan hasil dari variasi penempatan 8D11, 8D12, 8D13, 8D16, 8D18, 8D17, 8D22, 8D23, 8D26, 8D27, 8D28, 8D33, 8D36, 8D37, 8D38, 8D56, 8D57, 8D58, 8D66, 8D67, 8D68, 8D77, 8D78, dan 8D88 hanya mampu mengurangi simpangan tiap lantai sebesar 7% - 20% dibanding bangunan tanpa memakai MRD. Sedangkan untuk penempatan MRD pada daerah pertengahan bangunan yang ditunjukkan oleh variasi 8D14, 8D15, 8D24, 8D25, 8D34, 8D35, 8D44, 8D45, 8D46, 8D47, 8D48, dan 8D55 mampu mereduksi simpangan sebesar 20% - 28%.

Melihat kecenderungan yang sama untuk penempatan redaman tambahan pada struktur bertingkat 6 dan 8 yaitu pada daerah pertengahan tinggi tingkat, maka menjadi bukti bahwa efektifitas penempatan peredam dalam mereduksi simpangan dari tiap lantai berada pada daerah pertengahan dari bangunan karena peredam mampu mendistribusikan redaman baik ke arah atas maupun bawah bangunan secara merata.

Dari Tabel L.1 sampai dengan L.6 (lihat Lampiran) yang divisualisasikan dengan grafik pada Gambar 5.3 sampai dengan 5.8 dapat dilihat bahwa hasil simpangan relatif maksimum terkecil pada struktur bertingkat 6 diperoleh pada posisi MRD di lantai 3 dan untuk struktur bertingkat 8 posisi MRD di lantai 4 akibat gempa El Centro. Pada struktur bertingkat 6 menggunakan beban gempa El

Centro dengan posisi MRD di lantai 3, reduksi simpangan lantai 6 mampu mencapai 53,8229% dari tanpa MRD. Adapun pada struktur bertingkat 8 dengan posisi MRD di lantai 4, reduksi simpangan lantai 8 mampu mencapai 29.8189% dari tanpa MRD. Dari Tabel L.1 sampai L.14 (lihat Lampiran) dapat dikelompokkan berdasar nilai prosentase reduksi simpangan terbesar dari tiap-tiap lantai seperti terlihat pada Tabel 5.13 dan 5.14.

Tabel 5.13 Prosentase reduksi simpangan terbesar tiap lantai pada bangunan bertingkat 6

Lantai	Reduksi (%)
1	54.1368
2	54.1655
3	54.1700
4	54.1164
5	54.0590
6	53.8229

Tabel 5.14 Prosentase reduksi simpangan terbesar tiap lantai pada bangunan bertingkat 8

Lantai	Reduksi (%)
1	28.1777
2	25.0865
3	25.2149
4	27.2093
5	28.4312
6	29.4433
7	29.7992
8	29.8189

Hasil analisis yang diperoleh pada struktur bertingkat 6 dan 8 dapat diamati bahwa penempatan MRD untuk mengurangi simpangan relatif horisontal memiliki kecenderungan sama yaitu terjadi pada daerah pertengahan dari tinggi bangunan atau setengah jumlah tingkat. Pada bangunan bertingkat 6 pada lantai 3 dan tingkat 8 pada lantai 4, tempat dimana MRD mampu mendistribusikan redaman secara merata ke semua tingkat.

Simpangan struktur dapat dikurangi secara signifikan dengan pemasangan *MR Damper*, namun harus dihitung dan direncanakan dengan tepat sehingga pemasangan peredam dapat dihasilkan efek reduksi simpangan yang maksimum. Pada keadaan tertentu, penempatan peredam tambahan pada tingkat yang tidak tepat justru menghasilkan reduksi simpangan struktur hanya sebesar 7% dari struktur tanpa peredam tambahan.

Pengaruh peredam tambahan dalam mengurangi simpangan struktur selain tergantung dari kemampuan/kapasitas peredam tersebut, juga dipengaruhi tinggi struktur/jumlah tingkat, propertis struktur (kekakuan dan massa struktur) dan kandungan frekuensi beban gempa yang bekerja, sehingga penempatan peredam tidak dapat di generalisasi pada lantai tertentu namun harus dihitung sesuai dengan struktur yang direncanakan.

Perbandingan hasil antara bangunan bertingkat dengan dua bentangan dan satu bentangan untuk massa, kekakuan dan redaman yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 5.15. Struktur yang dibandingkan hanya struktur bertingkat 6 saja.

Tabel 5.15 Komparasi antara bangunan bertingkat untuk satu bentangan dan dua bentangan

Lantai	Simpangan (in)		Selisih Simpangan (in)	Keterangan
	Satu Bentangan	Dua Bentangan		
(1)	(2)	(3)	(4) = (2) - (3)	(5)
1	1.146	1.210	0,064	Penambahan
2	2.230	2.308	0,078	Penambahan
3	4.225	4.204	0,021	Pengurangan
4	5.905	5.761	0,144	Pengurangan
5	7.097	7.088	0,009	Pengurangan
6	8.236	8.433	0,197	Penambahan

Dari Tabel 5.15 dapat dilihat bahwa antara bangunan bertingkat satu bentangan dan dua bentangan untuk kekakuan, massa dan redaman yang lebih besar dari bangunan satu bentangan yaitu 1,5 kali kekakuan dan 2 kali massa dari bangunan satu bentangan terjadi selisih simpangan relatif yang menimbulkan dua perubahan berupa pengurangan dan penambahan simpangan.

5.6.4 Jarak Antara Dua Bangunan

Dari hasil analisis penempatan MRD pada satu bentangan, dapat disusun nilai simpangan relatif maksimum yang terjadi dari kedua model struktur bangunan 6 dan 8 baik dengan peredam efektif maupun tanpa peredam seperti terlihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Komparasi Dua Bangunan

Bangunan 6 Tingkat		Bangunan 8 Tingkat	
Simpangan Maks	Reduksi	Simpangan Maks	Reduksi
8.2364 in	0 %	6.9241 in	0 %
3.8033 in	53.8229 %	4.8594 in	29.8189 %

Dari Tabel 5.16 dapat dihitung jarak antara dua bangunan tersebut. Jarak antara bangunan tanpa peredam tambahan antar bangunan bertingkat 6 dengan bangunan bertingkat 6 adalah 16.4728 in, bangunan bertingkat 8 dengan bangunan 8 adalah 13.8482 in, dan bangunan bertingkat 6 dengan bangunan bertingkat 8 adalah 15.1605 in. Sedangkan dengan pemakaian peredam tambahan jarak antar bangunan bertingkat 6 dengan bangunan bertingkat 6 adalah 7.6066 in atau berkurang sebesar 53.8229%, bangunan bertingkat 8 dengan bangunan bertingkat 8 adalah 9,7188 in atau berkurang sebesar 29.8189%, dan jarak antar bangunan bertingkat 6 dengan bangunan bertingkat 8 adalah 8.6627 in atau berkurang sebesar 42.86%.

BAB VI

KESIMPULAN

Dari penelitian secara numeris ini dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran seperti diuraikan berikut ini.

6.1 Kesimpulan

Dari penelitian numeris ini dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya akan diuraikan berikut ini.

1. Pemakaian MRD ganda yang paling efektif untuk bangunan bertingkat 6 yang ditempatkan pada lantai 3 (variasi 6D33) dengan prosentase penurunan simpangan lantai 6 sebesar 53,8229 % dan pada bangunan bertingkat 8 dengan penempatan MRD pada lantai 4 (variasi 8D44) dengan prosentase penurunan simpangan lantai 8 sebesar 29,8189 %.
2. Penempatan MRD ganda yang tepat dapat mengurangi simpangan relatif hampir 50% dari simpangan relatif tanpa memakai MRD, sehingga memperkecil resiko benturan struktur (*structural pounding*) dengan bangunan di dekatnya. Seperti ditunjukkan pada variasi 6D33 dengan besar prosentase penurunan sebesar 53,8229%
3. Analisis bangunan untuk satu bentangan dan dua bentangan dengan nilai kekakuan, massa dan redaman yang lebih besar dari bangunan satu bentangan yaitu 1,5 kali kekakuan dan 2 kali massa dari bangunan satu bentangan terjadi selisih simpangan relatif yang menimbulkan dua macam perubahan berupa pengurangan dan penambahan simpangan.

6.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Untuk melihat kecenderungan dari penempatan MRD ganda yang paling efektif perlu diteliti kembali dengan memakai model struktur dengan jumlah tingkat genap selain 6 dan 8.
2. Penempatan MRD ganda perlu diteliti pada bangunan bertingkat di atas 10 lantai untuk mewakili struktur bertingkat tinggi.
3. Untuk melengkapi dan membandingkan hasil dari penempatan MRD perlu dilakukan dengan memakai metode yang lain selain metode yang sudah dipakai sebelumnya.
4. Penempatan MRD perlu diteliti lebih lanjut pada bangunan bertingkat dengan jumlah bentangan lebih dari satu.
5. Penempatan MRD perlu dilakukan penelitian dengan memperhatikan pengaruh pergerakan pondasi.
6. Untuk mendapatkan hasil yang mendekati kondisi yang ekstrim perlu dilakukan penelitian pengaruh penempatan MRD dengan kondisi plastis.

DAFTAR PUSTAKA

- Berg, G.V. (1998), "Elements of Structural Dynamics," Prentice-Hall, New Jersey.
- Busroni, L. dan R.U. Ahmed (2001), "Analisis Perletakkan Redaman Tunggal pada Struktur Bertingkat 3, 5 dan 7 dengan Beban Gempa Koyna dan Bucharest," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Chopra, A. (1995), "Dynamics Of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering," Prentice Hall, New Jersey.
- Dyke, S. J , B. F Spencer, M. K. Sain and J. D. Carlson (1996), "Modelling and Control of MRDs for Seismic Response Reduction," Smart Materials and Structures, Vol. 5, pp.565-575.
- Hanselman, D. dan B. Littlefield (2001), "Matlab Bahasa Komputasi Teknis," Andi Offset, Yogyakarta.
- Hariyanto, S. dan A. Budhiawan (2001), "Penempatan Efektif Redaman Ganda untuk Mengurangi Resiko Benturan Struktur," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Khoir, A dan Ariffin (2000), "Analisis Pengaruh Perubahan Kekakuan Tingkajat Secara Serentak Terhadap Gaya Geser dan Momen Guling pada Gedung Bertingkat Banyak dengan Beban Gempa Berupa Time History," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Mansyur, A. E. dan Juhartono (2000), "Penempatan Efektif Redaman Ganda Untuk Mengurangi Simpangan Pada Bangunan Tingkat Tinggi," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Sarwidi (1999), "Diktat Kuliah Teknik Gempa," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

- Saputra, E. D. dan F. H. Wibowo (2000), "Penempatan Efektif Redaman Tunggal untuk Mengurangi Simpangan pada Bangunan Bertingkat 6 dan 8," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Sulistyaningsih, E dan H. K. Wardhani (2001), "Penempatan Efektif Redaman Ganda dengan Nilai Kapasitas Berbeda untuk Mengurangi Simpangan pada Bangunan Bertingkat Banyak," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Suprpti dan Novitasari (1999), "Penempatan Posisi Efektif Redaman Tunggal Untuk Mengurangi Resiko Structural Pounding Pada Bangunan Bertingkat Lima," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Widodo (1999), "Diktat Kuliah Teknik Gempa," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- Widodo (1999), "Diktat Kuliah Analisa Dinamika Struktur," Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	NAMA	NO. MHS.	BID. STUDI
1.	PUTUT SUKMAWAN	95 310 216	STRUKTUR
2.	JOKO KURNIAWAN	95 310 222	STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :

ANALISIS PENGARUH PERLEBATAN REDAMAN GANDA PADA STRUKTUR BERTINGKAT ENAM DAN DELAPAN.

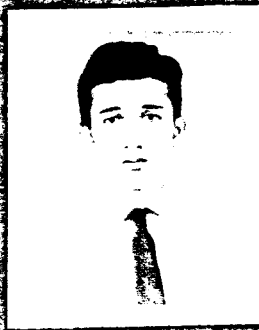
PERIODE III : MARET - AGUSTUS

TAHUN : 2000 / 2001

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
1.	Pendaftaran	■					
2.	Penentuan Dosen Pembimbing	■					
3.	Pembuatan Proposal		■				
4.	Seminar Proposal		■	■			
5.	Konsultasi Penyusunan TA			■	■	■	
6.	Sidang Sidang						■
7.	Pendadaran						■

DOSEN PEMBIMBING I
DOSEN PEMBIMBING II

IR. H. MOCH. TADJUDDIN
IR. H. SARWID



Yogyakarta, 18 Mei 2001

IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

Catatan :

- Seminar :
- Sidang :
- Pendadaran :

L.1 Reduksi Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 6 Lantai**Tabel L.1** Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 1 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	1.1455	0.0000
2	6D11	0.8435	26.3681
3	6D12	0.8547	25.3894
4	6D13	0.6503	43.2282
5	6D14	0.7349	35.8440
6	6D15	0.8402	26.6515
7	6D16	0.8605	24.8784
8	6D22	0.8663	24.3785
9	6D23	0.6565	42.6940
10	6D24	0.7449	34.9762
11	6D25	0.8496	25.8327
12	6D26	0.8711	23.9579
13	6D33	0.5254	54.1368
14	6D34	0.5805	49.3205
15	6D35	0.6484	43.3999
16	6D36	0.6664	41.8253
17	6D44	0.6491	43.3392
18	6D45	0.7315	36.1426
19	6D46	0.7496	34.5664
20	6D55	0.8377	26.8707
21	6D56	0.8593	24.9869
22	6D66	0.8705	24.0071

Tabel L.2 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 2 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	2.2303	0.0000
2	6D11	1.6404	26.4508
3	6D12	1.6606	25.5422
4	6D13	1.2656	43.2535
5	6D14	1.4278	35.9801
6	6D15	1.6375	26.5800
7	6D16	1.6693	25.1519
8	6D22	1.6818	24.5935
9	6D23	1.2776	42.7170
10	6D24	1.4444	35.2391

Tabel L.2 Lanjutan

11	6D25	1.6552	25.7840
12	6D26	1.6899	24.2310
13	6D33	1.0222	54.1655
14	6D34	1.1291	49.3754
15	6D35	1.2635	43.3463
16	6D36	1.2914	42.0987
17	6D44	1.2601	43.5020
18	6D45	1.4256	36.0808
19	6D46	1.4529	34.8563
20	6D55	1.6357	26.6595
21	6D56	1.6679	25.2145
22	6D66	1.6864	24.3855

Tabel L.3 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 3 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	4.2246	0.0000
2	6D11	3.1022	26.5690
3	6D12	3.1395	25.6853
4	6D13	2.3943	43.3243
5	6D14	2.6936	36.2398
6	6D15	3.1040	26.5251
7	6D16	3.1395	25.6854
8	6D22	3.1767	24.8049
9	6D23	2.4196	42.7271
10	6D24	2.7215	35.5799
11	6D25	3.1424	25.6180
12	6D26	3.1797	24.7351
13	6D33	1.9361	54.1700
14	6D34	2.1337	49.4947
15	6D35	2.3961	43.2831
16	6D36	2.4274	42.5406
17	6D44	2.3713	43.8699
18	6D45	2.6970	36.1589
19	6D46	2.7295	35.3909
20	6D55	3.1038	26.5298
21	6D56	3.1385	25.7090
22	6D66	3.1624	25.1440

Tabel L.4 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 4 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	5.9051	0.0000
2	6D11	4.3273	26.7183
3	6D12	4.3859	25.7269
4	6D13	3.3453	43.3483
5	6D14	3.7584	36.3533
6	6D15	4.3270	26.7240
7	6D16	4.3507	26.3227
8	6D22	4.4458	24.7122
9	6D23	3.3827	42.7160
10	6D24	3.8033	35.5929
11	6D25	4.3864	25.7182
12	6D26	4.4088	25.3378
13	6D33	2.7095	54.1164
14	6D34	2.9809	49.5193
15	6D35	3.3466	43.3261
16	6D36	3.3632	43.0446
17	6D44	3.3108	43.9329
18	6D45	3.7594	36.3363
19	6D46	3.7805	35.9789
20	6D55	4.3266	26.7315
21	6D56	4.3465	26.3943
22	6D66	4.3695	26.0038

Tabel L.5 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 5 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	7.0966	0.0000
2	6D11	5.1938	26.8129
3	6D12	5.2683	25.7632
4	6D13	4.0180	43.3810
5	6D14	4.5167	36.3540
6	6D15	5.1864	26.9166
7	6D16	5.1985	26.7468
8	6D22	5.3458	24.6711
9	6D23	4.0654	42.7139
10	6D24	4.5755	35.5247
11	6D25	5.2600	25.8803
12	6D26	5.2700	25.7392
13	6D33	3.2602	54.0590

Tabel L.5 Lanjutan

14	6D34	3.5850	49.4828
15	6D35	4.0156	43.4148
16	6D36	4.0183	43.3775
17	6D44	3.9844	43.8549
18	6D45	4.5095	36.4551
19	6D46	4.5187	36.3258
20	6D55	5.1813	26.9890
21	6D56	5.1909	26.8538
22	6D66	5.2103	26.5797

Tabel L.6 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 6 pada bangunan bertingkat 6

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	6D00	8.2364	0.0000
2	6D11	6.0360	26.7162
3	6D12	6.1164	25.7391
4	6D13	4.6780	43.2029
5	6D14	5.2547	36.2016
6	6D15	6.0179	26.9358
7	6D16	6.0296	26.7931
8	6D22	6.1982	24.7468
9	6D23	4.7294	42.5798
10	6D24	5.3181	35.4318
11	6D25	6.0981	25.9616
12	6D26	6.1121	25.7915
13	6D33	3.8033	53.8229
14	6D34	4.1816	49.2297
15	6D35	4.6675	43.3314
16	6D36	4.6650	43.3617
17	6D44	4.6406	43.6578
18	6D45	5.2428	36.3459
19	6D46	5.2427	36.3467
20	6D55	6.0000	27.1531
21	6D56	6.0158	26.9611
22	6D66	6.0350	26.7281

L.2 Reduksi Simpangan Relatif Maksimum pada Bangunan 8 Lantai

Tabel L.7 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 1 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	0.7652	0.0000
2	8D11	0.6435	15.8984
3	8D12	0.6425	16.0314
4	8D13	0.6443	15.8043
5	8D14	0.5963	22.0699
6	8D15	0.6159	19.5055
7	8D16	0.6330	17.2814
8	8D17	0.6543	14.4924
9	8D18	0.6687	12.6055
10	8D22	0.6410	16.2378
11	8D23	0.6419	16.1135
12	8D24	0.5938	22.3982
13	8D25	0.6148	19.6491
14	8D26	0.6321	17.4005
15	8D27	0.6539	14.5466
16	8D28	0.6704	12.3910
17	8D33	0.6537	14.5659
18	8D34	0.5931	22.4942
19	8D35	0.6157	19.5344
20	8D36	0.6345	17.0757
21	8D37	0.6567	14.1840
22	8D38	0.6743	11.8829
23	8D44	0.5496	28.1777
24	8D45	0.5706	25.4306
25	8D46	0.5914	22.7115
26	8D47	0.6080	20.5418
27	8D48	0.6210	18.8489
28	8D55	0.5898	22.9208
29	8D56	0.6075	20.6143
30	8D57	0.6264	18.1336
31	8D58	0.6391	16.4855
32	8D66	0.6215	18.7736
33	8D67	0.6429	15.9827
34	8D68	0.6582	13.9802
35	8D77	0.6646	13.1467
36	8D78	0.6817	10.9068
37	8D88	0.6900	9.8281

Tabel L.8 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 2 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	1.4633	0.0000
2	8D11	1.2853	12.1640
3	8D12	1.2852	12.1698
4	8D13	1.2908	11.7904
5	8D14	1.1896	18.7041
6	8D15	1.2282	16.0678
7	8D16	1.2634	13.6599
8	8D17	1.3084	10.5834
9	8D18	1.3387	8.5153
10	8D22	1.2846	12.2126
11	8D23	1.2898	11.8606
12	8D24	1.1862	18.9388
13	8D25	1.2272	16.1339
14	8D26	1.2632	13.6765
15	8D27	1.3085	10.5816
16	8D28	1.3419	8.2960
17	8D33	1.2947	11.5212
18	8D34	1.1852	19.0041
19	8D35	1.2293	15.9939
20	8D36	1.2680	13.3475
21	8D37	1.3145	10.1687
22	8D38	1.3493	7.7916
23	8D44	1.0962	25.0865
24	8D45	1.1367	22.3205
25	8D46	1.1739	19.7806
26	8D47	1.2109	17.2478
27	8D48	1.2302	15.9283
28	8D55	1.1743	19.7474
29	8D56	1.2096	17.3397
30	8D57	1.2477	14.7368
31	8D58	1.2678	13.3597
32	8D66	1.2402	15.2441
33	8D67	1.2817	12.4135
34	8D68	1.3153	10.1163
35	8D77	1.3324	8.9435
36	8D78	1.3637	6.8065
37	8D88	1.3803	5.6747

Tabel L.9 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 3 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	2.1547	0.0000
2	8D11	1.9130	11.2153
3	8D12	1.9157	11.0923
4	8D13	1.9244	10.6862
5	8D14	1.7520	18.6865
6	8D15	1.8147	15.7788
7	8D16	1.8757	12.9448
8	8D17	1.9471	9.6319
9	8D18	1.9767	8.2573
10	8D22	1.9177	10.9983
11	8D23	1.9261	10.6085
12	8D24	1.7539	18.5997
13	8D25	1.8174	15.6508
14	8D26	1.8778	12.8486
15	8D27	1.9501	9.4930
16	8D28	1.9821	8.0106
17	8D33	1.9346	10.2142
18	8D34	1.7610	18.2689
19	8D35	1.8254	15.2799
20	8D36	1.8864	12.4496
21	8D37	1.9594	9.0644
22	8D38	1.9927	7.5174
23	8D44	1.6114	25.2149
24	8D45	1.6685	22.5611
25	8D46	1.7244	19.9667
26	8D47	1.7818	17.3054
27	8D48	1.8055	16.2048
28	8D55	1.7238	19.9954
29	8D56	1.7809	17.3460
30	8D57	1.8458	14.3328
31	8D58	1.8689	13.2605
32	8D66	1.8381	14.6937
33	8D67	1.9086	11.4198
34	8D68	1.9401	9.9604
35	8D77	1.9847	7.8875
36	8D78	2.0217	6.1711
37	8D88	2.0412	5.2658

Tabel L.10 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 4 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	3.5348	0.0000
2	8D11	3.1002	12.2960
3	8D12	3.1120	11.9628
4	8D13	3.1311	11.4229
5	8D14	2.8058	20.6235
6	8D15	2.9173	17.4705
7	8D16	3.0412	13.9652
8	8D17	3.1668	10.4109
9	8D18	3.1771	10.1210
10	8D22	3.1243	11.6125
11	8D23	3.1447	11.0370
12	8D24	2.8187	20.2586
13	8D25	2.9292	17.1329
14	8D26	3.0517	13.6681
15	8D27	3.1782	10.0893
16	8D28	3.1876	9.8236
17	8D33	3.1667	10.4136
18	8D34	2.8394	19.6746
19	8D35	2.9477	16.6113
20	8D36	3.0692	13.1741
21	8D37	3.1960	9.5853
22	8D38	3.2054	9.3206
23	8D44	2.5730	27.2093
24	8D45	2.6627	24.6721
25	8D46	2.7578	21.9836
26	8D47	2.8591	19.1177
27	8D48	2.8627	19.0146
28	8D55	2.7565	22.0187
29	8D56	2.8627	19.0150
30	8D57	2.9760	15.8088
31	8D58	2.9815	15.6548
32	8D66	2.9845	15.5694
33	8D67	3.1076	12.0860
34	8D68	3.1163	11.8396
35	8D77	3.2419	8.2872
36	8D78	3.2603	7.7667
37	8D88	3.2769	7.2973

Tabel L.11 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 5 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	4.7437	0.0000
2	8D11	4.1469	12.5811
3	8D12	4.1666	12.1666
4	8D13	4.1941	11.5856
5	8D14	3.7277	21.4174
6	8D15	3.8746	18.3211
7	8D16	4.0715	14.1717
8	8D17	4.2473	10.4652
9	8D18	4.2396	10.6274
10	8D22	4.1878	11.7189
11	8D23	4.2170	11.1029
12	8D24	3.7460	21.0314
13	8D25	3.8930	17.9326
14	8D26	4.0902	13.7766
15	8D27	4.2660	10.0698
16	8D28	4.2557	10.2869
17	8D33	4.2490	10.4287
18	8D34	3.7703	20.5194
19	8D35	3.9198	17.3676
20	8D36	4.1154	13.2459
21	8D37	4.2926	9.5088
22	8D38	4.2804	9.7675
23	8D44	3.3950	28.4312
24	8D45	3.5166	25.8674
25	8D46	3.6654	22.7312
26	8D47	3.8023	19.8447
27	8D48	3.7858	20.1928
28	8D55	3.6498	23.0612
29	8D56	3.8095	19.6946
30	8D57	3.9643	16.4300
31	8D58	3.9574	16.5766
32	8D66	4.0000	15.6783
33	8D67	4.1705	12.0827
34	8D68	4.1601	12.3036
35	8D77	4.3537	8.2209
36	8D78	4.3468	8.3674
37	8D88	4.3587	8.1173

Tabel L.12 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 6 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	5.6970	0.0000
2	8D11	4.9713	12.7376
3	8D12	4.9937	12.3440
4	8D13	5.0258	11.7803
5	8D14	4.4538	21.8218
6	8D15	4.6448	18.4688
7	8D16	4.8835	14.2781
8	8D17	5.1003	10.4741
9	8D18	5.0948	10.5706
10	8D22	5.0169	11.9365
11	8D23	5.0497	11.3622
12	8D24	4.4735	21.4761
13	8D25	4.6648	18.1173
14	8D26	4.9060	13.8837
15	8D27	5.1233	10.0694
16	8D28	5.1158	10.2008
17	8D33	5.0836	10.7656
18	8D34	4.5005	21.0020
19	8D35	4.6931	17.6205
20	8D36	4.9360	13.3568
21	8D37	5.1568	9.4809
22	8D38	5.1486	9.6254
23	8D44	4.0196	29.4433
24	8D45	4.1768	26.6845
25	8D46	4.3793	23.1285
26	8D47	4.5550	20.0450
27	8D48	4.5422	20.2689
28	8D55	4.3501	23.6421
29	8D56	4.5648	19.8737
30	8D57	4.7538	16.5549
31	8D58	4.7429	16.7475
32	8D66	4.7995	15.7532
33	8D67	5.0003	12.2283
34	8D68	4.9923	12.3694
35	8D77	5.2355	8.0998
36	8D78	5.2304	8.1891
37	8D88	5.2396	8.0288

Tabel L.13 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 7 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	6.3195	0.0000
2	8D11	5.5469	12.2265
3	8D12	5.5691	11.8757
4	8D13	5.6026	11.3449
5	8D14	4.9346	21.9159
6	8D15	5.1643	18.2809
7	8D16	5.4342	14.0101
8	8D17	5.6899	9.9642
9	8D18	5.6924	9.9245
10	8D22	5.5903	11.5395
11	8D23	5.6226	11.0284
12	8D24	4.9490	21.6878
13	8D25	5.1832	17.9822
14	8D26	5.4568	13.6514
15	8D27	5.7144	9.5755
16	8D28	5.7163	9.5462
17	8D33	5.6526	10.5541
18	8D34	4.9714	21.3337
19	8D35	5.2113	17.5367
20	8D36	5.4916	13.1019
21	8D37	5.7513	8.9919
22	8D38	5.7542	8.9454
23	8D44	4.4364	29.7992
24	8D45	4.6277	26.7716
25	8D46	4.8529	23.2089
26	8D47	5.0540	20.0257
27	8D48	5.0576	19.9689
28	8D55	4.8260	23.6338
29	8D56	5.0638	19.8710
30	8D57	5.2936	16.2343
31	8D58	5.2956	16.2036
32	8D66	5.3244	15.7471
33	8D67	5.5716	11.8353
34	8D68	5.5734	11.8070
35	8D77	5.8357	7.6567
36	8D78	5.8385	7.6119
37	8D88	5.8500	7.4300

Tabel L.14 Prosentase reduksi simpangan relatif lantai 8 pada bangunan bertingkat 8

No. Redaman	Variasi	Nilai Simpangan (in)	Reduksi (%)
1	8D00	6.9241	0.0000
2	8D11	6.0770	12.2345
3	8D12	6.0942	11.9857
4	8D13	6.1267	11.5165
5	8D14	5.4027	21.9726
6	8D15	5.6630	18.2130
7	8D16	5.9480	14.0973
8	8D17	6.2289	10.0405
9	8D18	6.2701	9.4451
10	8D22	6.1099	11.7592
11	8D23	6.1410	11.3098
12	8D24	5.4070	21.9106
13	8D25	5.6756	18.0313
14	8D26	5.9674	13.8173
15	8D27	6.2532	9.6897
16	8D28	6.2963	9.0676
17	8D33	6.1646	10.9690
18	8D34	5.4173	21.7618
19	8D35	5.6991	17.6920
20	8D36	6.0025	13.3108
21	8D37	6.2975	9.0502
22	8D38	6.3387	8.4551
23	8D44	4.8594	29.8189
24	8D45	5.0445	27.1458
25	8D46	5.3047	23.3887
26	8D47	5.5430	19.9472
27	8D48	5.5830	19.3682
28	8D55	5.2873	23.6397
29	8D56	5.5503	19.8412
30	8D57	5.8035	16.1846
31	8D58	5.8410	15.6425
32	8D66	5.8176	15.9800
33	8D67	6.0909	12.0335
34	8D68	6.1319	11.4408
35	8D77	6.3848	7.7897
36	8D78	6.4230	7.2376
37	8D88	6.4450	6.9201

Nilai prosentase reduksi diketahui dari selisih antara nilai simpangan lantai yang ditinjau tanpa redaman dengan nilai simpangan lantai yang ditinjau dengan redaman variasi 6D11 dibagi nilai simpangan tanpa redaman dikali 100%, atau dalam bentuk matematik :

$$R = \frac{y_{rx} - y_{ri}}{y_{rx}} \times 100\%$$

dengan ketentuan:

y_{rx} = nilai simpangan relatif maksimum lantai yang ditinjau tanpa MRD

y_{ri} = nilai simpangan relatif maksimum lantai yang ditinjau dengan variasi letak MRD

jika :

$$y_{rx} > y_{ri} \quad \Rightarrow \quad R = \text{terjadi perubahan berkurang/reduksi (\%)}$$

$$y_{rx} < y_{ri} \quad \Rightarrow \quad R = \text{terjadi perubahan bertambah (\%)}$$

Contoh:

Perhitungan nilai reduksi simpangan diambil dari Tabel 5.13 untuk variasi 6D11. Nilai simpangan relatif lantai 1 tanpa redaman sebesar 1.1455 in dan nilai simpangan relatif lantai 1 dengan redaman variasi 6D11 sebesar 0.8435 in, nilai reduksi dari variasi 6D11 dapat dicari dengan memakai persamaan (3.61).

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.1455 - 0.8435}{1.1455} \times 100\% \\ &= \frac{0.302}{1.1455} \times 100\% = 26.3681\% \end{aligned}$$

Perhitungan nilai reduksi simpangan untuk variasi 6D56 (lihat Tabel 5.13). Nilai simpangan relatif lantai 1 tanpa redaman sebesar 1.1455 in dan nilai simpangan relatif lantai 1 dengan redaman variasi 6D56 sebesar 0.8593 in. Nilai reduksi dari variasi 6D56 dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.61).

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.1455 - 0.8593}{1.1455} \times 100\% \\ &= \frac{0.2862}{1.1455} \times 100\% = 24.9869\% \end{aligned}$$

CONTOH PROGRAM PERHITUNGAN DENGAN MATLAB

```

clc;
clear;
input_bg;

% PROGRAM
delete Out.txt;
diary('Out.txt');
nm=length(m); % jmlh lt or mode
ID=ones(nm,1); % matrix 1 colom
cs=ID'*cx;
c=cr+cs;
%Menyusun matrix
for n=1:(nm-1)
    M(n,n)=m1(1,n); %susun Matrix Massa
    M(n+1,n+1)=m1(1,n+1); %susun Matrix Massa
    K(n,n)=k(1,n)+k(1,(n+1)); %susun Matrix Kekakuan
    K(n,n+1)=-k(1,(n+1)); %susun Matrix Kekakuan
    K(n+1,n)=-k(1,(n+1)); %susun Matrix Kekakuan
    K(n+1,n+1)=k(1,(n+1)); %susun Matrix Kekakuan
    C(n,n)=c(1,n)+c(1,(n+1)); %susun Matrix Redaman
    C(n,n+1)=-c(1,(n+1)); %susun Matrix Redaman
    C(n+1,n)=-c(1,(n+1)); %susun Matrix Redaman
    C(n+1,n+1)=c(1,(n+1)); %susun Matrix Redaman
end
format short;
disp('M=Matriks Massa')
disp(M)
disp('K=Matriks Kekakuan')
disp(K)
disp('C=Matriks Redaman')
disp(C) % nilai redaman belakangan saja dicari dr Eratio=5%!
format short;
[mod,lmd]=eig(K,M);
disp('mod=mode shape')
disp(mod)
disp('lmd=lamda')
disp(lmd)

% menyusun matrix lamda
lmdv=lmd*ID; % matrix lamda btk kolom
for n=1:nm
    lmds(n,1)=n;
    lmds(n,2)=lmdv(n,1);
end
lmds;
% sorting matrix lamda
lmds2=sortrows(lmds,2); % lamda terurut

% menyusun matrix mode shape
for n=1:nm
    modsort(:,n)=mod(:,lmds2(n,1));
end
modz=modsort; % mode shape terurut

```

Lampiran 1.2.2

```
disp('modz=mode shape terurut. R=No. Lt, C=No. Mode.')
disp(modz)

% Menghitung matrix generalisasi
for n=1:nm
    Mg(n,n)=modz(:,n)'*M*modz(:,n); % Matrix generalisasi
    Kg(n,n)=modz(:,n)'*K*modz(:,n); % Matrix generalisasi
    Cg(n,n)=modz(:,n)'*C*modz(:,n); % Matrix generalisasi
end

% Menghitung nilai omega^2 dan omega
omgn2=Kg/Mg; % omega-n kuadrat
omgn=(omgn2)^(0.5); % omega-n
Erat=Cg/(2*Mg*omgn);

disp('omgn2=omega^2')
disp(omgn2)
disp('omgn=omega')
disp(omgn)

% Eratio
Erat=Cg/(2*Mg*omgn);
Eratz=Erat*ID;
Erats=sort(Eratz);

disp('Erats=Ratio Redaman Terurut.')
disp(Erats)

% Menyusun participation Factor
for n=1:nm
    Tn(:,n)=(modz(:,n)'*M*ID)/(modz(:,n)'*M*modz(:,n));
end

disp('Tn=Participation Factor Tiap Mode. C=No. Mode.')
disp(Tn)

% Participation factor x Mode shape
for n=1:nm
    PM(:,n)=Tn(1,n)*modz(:,n);
end
PM(:,(nm+1))=sum(PM,2);

disp('PM = Tn x modz. R=No. lantai, C=No. mode.')
disp(PM)

a=(4/dt)+4*(omgn*eye(nm,nm)*Erats);
b=2*ID;
kc=(omgn2*ID+((4*omgn*eye(nm,nm)*Erats)/dt)+((4/(dt)^2)*ID));

for n=1:nm
    NM(n,1)=a(n,1);
    NM(n,2)=b(n,1);
    NM(n,3)=kc(n,1);
end
NM;
```

Lampiran 1.2.3

```
format short e;% simbol dr Newmarks Acc
disp('Newmarks Acceleration. R=No. mode.')
disp(' a b kc')
disp(NM)

% Beban Gempa
tq; % lama gempa
for na=1:nm % kenaikan jml mode
    for n=1:(tq-1) % kenaikan wkt gempa
        qn(1,na)=0;
        qnt(1,na)=0;
        qntt(1,na)=0;
        dyc(n,na)=(pe(n+1,1)-
pe(n,1))+a(na,1)*qnt(n,na)+b(na,1)*qntt(n,na);
        Dqn(n,na)=dyc(n,na)/kc(na,1);
        Dqnt(n,na)=(2/dt)*Dqn(n,na)-2*qnt(n,na);
        Dqntt(n,na)=(4/(dt)^2)*(Dqn(n,na)-dt*qnt(n,na))-2*qntt(n,na);
        qn(n+1,na)=qn(n,na)+Dqn(n,na);
        qnt(n+1,na)=qnt(n,na)+Dqnt(n,na);
        qntt(n+1,na)=qntt(n,na)+Dqntt(n,na);
    end
end

qn;
disp('Simpangan Bangunan akibat beban gempa. R=No. mode, C=Lama
gempa.')
disp(qn(1:5,:))

* Simpangan Lantai
for na=1:nm % kenaikan jml lantai
    for n=1:(tq)
        %Y((na:nm),n)=qn(n,1)*PM(:,na);
        Y((na-1)*nm+1:(n)*nm,n)=qn(n,na)*PM(:,na);
    end
end

Y;

for n=1:nm % jml lantai
    for na=1:nm % jml mod
        Ym((n-1)*nm+1:(n)*nm,:)=Y(n:nm:(nm*nm),:);
    end
end

disp('Ym=Simpangan Per Lt. R=Kenaikan Lt tiap n-Mode(n-Row) C=Lama
gempa')
disp(Ym(:,1:5))

% Penjumlahan Tiap Lt dari mode keseluruhan
for n=1:nm
    Ysum(n,:)=sum(Ym((n-1)*nm+1:(n)*nm,:),1);
end

* Pencarian nilai simpangan maximum tiap lt
format short;
Ymax=max(Ysum,[],2)
```

Lampiran 1.2.4

```
Ymin=min(Ysum, [], 2);
Yminx=abs(Ymin)
Ys(:, 1)=Ymax;
Ys(:, 2)=Yminx;
Ys(:, 3)=max(Ys, [], 2);

% Menyusun nilai simpangan max tiap lt
Yz(2:(nm+1), 1)=Ys(:, 3);
% Menghitung nilai Interstorey Drift tiap lt
for n=1:nm
    Yz((n+1), 2)=Yz((n+1), 1)-Yz((n), 1);
end

disp('Simpangan Horizontal')
disp('    Relatif')
disp(Yz)
diary
```

CONTOH HASIL HITUNGAN UNTUK BANGUNAN BERTINGKAT 6 VARIASI
6D00

M=Matriks Massa

0.3626	0	0	0	0	0	0
0	0.3108	0	0	0	0	0
0	0	0.3108	0	0	0	0
0	0	0	0.3108	0	0	0
0	0	0	0	0.3108	0	0
0	0	0	0	0	0.3108	0
0	0	0	0	0	0	0.2590

K=Matriks Kekakuan

800	-400	0	0	0	0	0
-400	600	-200	0	0	0	0
0	-200	400	-200	0	0	0
0	0	-200	400	-200	0	0
0	0	0	-200	300	-100	0
0	0	0	0	-100	100	0

C=Matriks Redaman

2.6000	-1.3000	0	0	0	0	0
-1.3000	2.6000	-1.3000	0	0	0	0
0	-1.3000	2.6000	-1.3000	0	0	0
0	0	-1.3000	2.6000	-1.3000	0	0
0	0	0	-1.3000	2.6000	-1.3000	0
0	0	0	0	-1.3000	2.6000	-1.3000
0	0	0	0	0	-1.3000	1.3000

lmd=lamda

1.0e+003 *

3.3710	0	0	0	0	0	0
0	2.1488	0	0	0	0	0
0	0	1.3659	0	0	0	0
0	0	0	0.7607	0	0	0
0	0	0	0	0.3617	0	0
0	0	0	0	0	0	0.0536

modz=mode shape terurut. R=No. Lt, C=No. Mode.

-0.0867	-0.2310	0.3830	0.4085	0.2621	0.6647
-0.1693	-0.3862	0.5018	0.3112	0.0136	-0.7018
-0.3202	-0.4796	0.1463	-0.5440	-0.5288	0.2419
-0.4444	-0.3034	-0.3822	-0.2444	0.6946	-0.0815
-0.5316	0.0434	-0.4588	0.5740	-0.4016	0.0222
-0.6174	0.6881	0.4728	-0.2262	0.0880	-0.0029

Mg=matrix massa efektif

0.2915	0	0	0	0	0
0	0.2890	0	0	0	0
0	0	0.3068	0	0	0
0	0	0	0.3168	0	0
0	0	0	0	0.3140	0
0	0	0	0	0	0.3337

Lampiran 1.3.2

Kg=matrix kekakuan efektif
1.0e+003 *

0.0156	0	0	0	0	0	0
0	0.1046	0	0	0	0	0
0	0	0.2334	0	0	0	0
0	0	0	0.4327	0	0	0
0	0	0	0	0.6747	0	0
0	0	0	0	0	0	1.1249

Cg=matrix redaman efektif

0.0878	0	0	0	0	0	0
0	0.8491	0	0	0	0	0
0	0	1.8723	0	0	0	0
0	0	0	2.9998	0	0	0
0	0	0	0	4.3715	0	0
0	0	0	0	0	0	4.3104

omgn2=omega^2
1.0e+003 *

0.0536	0	0	0	0	0	0
0	0.3617	0	0	0	0	0
0	0	0.7607	0	0	0	0
0	0	0	1.3659	0	0	0
0	0	0	0	2.1488	0	0
0	0	0	0	0	0	3.3710

omgn=omega

7.3237	0	0	0	0	0	0
0	19.0192	0	0	0	0	0
0	0	27.5816	0	0	0	0
0	0	0	36.9588	0	0	0
0	0	0	0	46.3553	0	0
0	0	0	0	0	0	58.0604

Erats=Ratio Redaman Terurut.

0.0206
0.0772
0.1106
0.1281
0.1502
0.1112

Tn=Participation Factor Tiap Mode. C=No. Mode.

-2.2194	-0.8837	0.6563	0.3776	0.1554	0.2363
---------	---------	--------	--------	--------	--------

PM = Tn x modz. R=No. lantai, C=No. mode.

0.1925	0.2041	0.2513	0.1542	0.0407	0.1571	1.0000
0.3756	0.3413	0.3293	0.1175	0.0021	-0.1659	1.0000
0.7106	0.4238	0.0960	-0.2054	-0.0822	0.0572	1.0000
0.9864	0.2681	-0.2508	-0.0923	0.1079	-0.0193	1.0000
1.1799	-0.0384	-0.3011	0.2167	-0.0624	0.0052	1.0000
1.3702	-0.6081	0.3103	-0.0854	0.0137	-0.0007	1.0000

Lampiran 1.3.3

Newmarks Acceleration. R=No. mode.

a	b	kc
2.0060e+002	2.0000e+000	1.0084e+004
2.0588e+002	2.0000e+000	1.0655e+004
2.1220e+002	2.0000e+000	1.1371e+004
2.1894e+002	2.0000e+000	1.2313e+004
2.2785e+002	2.0000e+000	1.3541e+004
2.2583e+002	2.0000e+000	1.4663e+004

Simpangan Bangunan akibat beban gempa. R=No. mode, C=Lama gempa.

0	-1.0185e-004	-6.0792e-004	-1.6838e-003	-3.0265e-003
0	-9.6382e-005	-5.5953e-004	-1.4755e-003	-2.4331e-003
0	-9.0317e-005	-5.0770e-004	-1.2639e-003	-1.8747e-003
0	-8.3409e-005	-4.5030e-004	-1.0407e-003	-1.3315e-003
0	-7.5843e-005	-3.9103e-004	-8.2943e-004	-8.8129e-004
0	-7.0041e-005	-3.4323e-004	-6.5552e-004	-5.2245e-004

Ym=Simpangan Per Lt. R=Kenaikan Lt tiap n-Mode(n-Row) C=Lama gempa

0	-1.9606e-005	-1.1703e-004	-3.2414e-004	-5.8261e-004
0	-1.9674e-005	-1.1421e-004	-3.0119e-004	-4.9664e-004
0	-2.2698e-005	-1.2759e-004	-3.1764e-004	-4.7115e-004
0	-1.2865e-005	-6.9454e-005	-1.6052e-004	-2.0537e-004
0	-3.0888e-006	-1.5925e-005	-3.3780e-005	-3.5892e-005
0	-1.1003e-005	-5.3919e-005	-1.0298e-004	-8.2073e-005
0	-3.8258e-005	-2.2836e-004	-6.3253e-004	-1.1369e-003
0	-3.2896e-005	-1.9097e-004	-5.0361e-004	-8.3043e-004
0	-2.9743e-005	-1.6719e-004	-4.1623e-004	-6.1738e-004
0	-9.7996e-006	-5.2905e-005	-1.2227e-004	-1.5644e-004
0	-1.6073e-007	-8.2870e-007	-1.7578e-006	-1.8677e-006
0	1.1618e-005	5.6934e-005	1.0874e-004	8.6663e-005
0	-7.2374e-005	-4.3200e-004	-1.1966e-003	-2.1507e-003
0	-4.0848e-005	-2.3714e-004	-6.2535e-004	-1.0312e-003
0	-8.6692e-006	-4.8732e-005	-1.2132e-004	-1.7995e-004
0	1.7133e-005	9.2496e-005	2.1377e-004	2.7351e-004
0	6.2321e-006	3.2132e-005	6.8156e-005	7.2417e-005
0	-4.0040e-006	-1.9622e-005	-3.7474e-005	-2.9867e-005
0	-1.0046e-004	-5.9963e-004	-1.6609e-003	-2.9852e-003
0	-2.5838e-005	-1.5000e-004	-3.9555e-004	-6.5225e-004
0	2.2654e-005	1.2734e-004	3.1702e-004	4.7023e-004
0	7.6965e-006	4.1551e-005	9.6029e-005	1.2287e-004
0	-8.1863e-006	-4.2207e-005	-8.9528e-005	-9.5125e-005
0	1.3497e-006	6.6143e-006	1.2632e-005	1.0068e-005
0	-1.2017e-004	-7.1727e-004	-1.9867e-003	-3.5709e-003
0	3.6975e-006	2.1465e-005	5.6606e-005	9.3340e-005
0	2.7195e-005	1.5287e-004	3.8057e-004	5.6448e-004
0	-1.8078e-005	-9.7597e-005	-2.2556e-004	-2.8859e-004
0	4.7324e-006	2.4399e-005	5.1755e-005	5.4990e-005
0	-3.6737e-007	-1.8003e-006	-3.4382e-006	-2.7403e-006
0	-1.3955e-004	-8.3299e-004	-2.3073e-003	-4.1470e-003
0	5.8611e-005	3.4025e-004	8.9728e-004	1.4796e-003
0	-2.8024e-005	-1.5753e-004	-3.9218e-004	-5.8171e-004
0	7.1231e-006	3.8455e-005	8.8876e-005	1.1371e-004
0	-1.0365e-006	-5.3442e-006	-1.1336e-005	-1.2044e-005
0	4.7518e-008	2.3286e-007	4.4472e-007	3.5445e-007

Lampiran 1.3.4

Ymax =

1.0575e+000
2.0544e+000
3.8914e+000
5.4152e+000
6.4854e+000
7.5304e+000

Yminx =

1.1455e+000
2.2303e+000
4.2246e+000
5.9051e+000
7.0966e+000
8.2364e+000

Simpangan Horizontal
Relatif

0
1.1455
2.2303
4.2246
5.9051
7.0966
8.2364

CONTOH HASIL HITUNGAN UNTUK BANGUNAN BERTINGKAT 8 VARIASI
8D00

M=Matriks Massa

0.3626	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.3108	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.3108	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.3108	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.3108	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.3108	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.3108	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.3108	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.2590

K=Matriks Kekakuan

800	-400	0	0	0	0	0	0	0
-400	800	-400	0	0	0	0	0	0
0	-400	600	-200	0	0	0	0	0
0	0	-200	400	-200	0	0	0	0
0	0	0	-200	400	-200	0	0	0
0	0	0	0	-200	400	-200	0	0
0	0	0	0	0	-200	300	-100	0
0	0	0	0	0	0	-100	100	0

C=Matriks Redaman

3.5000	-1.7500	0	0	0	0	0	0	0
-1.7500	3.5000	-1.7500	0	0	0	0	0	0
0	-1.7500	3.5000	-1.7500	0	0	0	0	0
0	0	-1.7500	3.5000	-1.7500	0	0	0	0
0	0	0	-1.7500	3.5000	-1.7500	0	0	0
0	0	0	0	-1.7500	3.5000	-1.7500	0	0
0	0	0	0	0	-1.7500	3.5000	-1.7500	0
0	0	0	0	0	0	-1.7500	3.5000	-1.7500
0	0	0	0	0	0	0	-1.7500	1.7500

lmd=lamda

1.0e+003 *

4.1253	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2.4392	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2.1174	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1.5363	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.9222	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.5120	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.0330	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.2375	0

modz=mode shape terurut. R=No. Lt, C=No. Mode.

-0.0618	-0.1872	-0.2502	0.2828	0.3336	0.4705	0.4100	0.4342
-0.1218	-0.3342	-0.3843	0.3292	0.2026	0.0379	-0.0866	-0.7554
-0.1787	-0.4194	-0.3655	0.1397	-0.1703	-0.4570	-0.4191	0.4764
-0.2833	-0.4352	-0.0371	-0.4395	-0.5095	0.0570	0.5045	-0.1142
-0.3733	-0.2903	0.3208	-0.3889	0.3677	0.3835	-0.4843	0.0274
-0.4443	-0.0383	0.4234	0.2191	0.3670	-0.5519	0.3627	-0.0065
-0.4925	0.2278	0.1892	0.5130	-0.5099	0.3287	-0.1651	0.0013
-0.5384	0.5919	-0.5803	-0.3695	0.1712	-0.0733	0.0310	-0.0001

Lampiran L4.3

Erats=Ratio Redaman Terurut.

0.0202
 0.0679
 0.1270
 0.1583
 0.1690
 0.1675
 0.1880
 0.1484

Tn=Participation Factor Tiap Mode. C=No. Mode.

-2.5355 -1.0709 -0.6590 0.3984 0.2757 0.2760 0.2105 0.1313

PM = Tn x modz. R=No. lantai, C=No. mode.

Columns 1 through 7

0.1568	0.2005	0.1649	0.1127	0.0920	0.1299	0.0863
0.3089	0.3579	0.2532	0.1312	0.0558	0.0105	-0.0182
0.4530	0.4492	0.2409	0.0557	-0.0469	-0.1262	-0.0882
0.7182	0.4660	0.0245	-0.1751	-0.1404	0.0157	0.1062
0.9466	0.3109	-0.2114	-0.1549	0.1014	0.1059	-0.1019
1.1265	0.0410	-0.2791	0.0873	0.1012	-0.1523	0.0763
1.2487	-0.2440	-0.1247	0.2044	-0.1406	0.0907	-0.0347
1.3652	-0.6339	0.3825	-0.1472	0.0472	-0.0202	0.0065

Columns 8 through 9

0.0570	1.0000
-0.0992	1.0000
0.0626	1.0000
-0.0150	1.0000
0.0036	1.0000
-0.0009	1.0000
0.0002	1.0000
-0.0000	1.0000

Newmarks Acceleration. R=No. mode.

a	b	kc
2.0046e+002	2.0000e+000	1.0056e+004
2.0418e+002	2.0000e+000	1.0447e+004
2.1150e+002	2.0000e+000	1.1087e+004
2.1922e+002	2.0000e+000	1.1883e+004
2.2649e+002	2.0000e+000	1.2861e+004
2.3083e+002	2.0000e+000	1.3659e+004
2.3714e+002	2.0000e+000	1.4296e+004
2.3812e+002	2.0000e+000	1.6031e+004

Simpangan Bangunan akibat beban gempa. R=No. mode, C=Lama gempa.

0	-1.0213e-004	-6.1057e-004	-1.6961e-003	-3.0642e-003
0	-9.8308e-005	-5.7660e-004	-1.5488e-003	-2.6394e-003
0	-9.2631e-005	-5.2872e-004	-1.3547e-003	-2.1259e-003
0	-8.6423e-005	-4.7741e-004	-1.1540e-003	-1.6252e-003
0	-7.9854e-005	-4.2422e-004	-9.5426e-004	-1.1614e-003
0	-7.5189e-005	-3.8726e-004	-8.2124e-004	-8.7615e-004
0	-7.1837e-005	-3.6306e-004	-7.4404e-004	-7.3620e-004
0	-6.4062e-005	-3.0296e-004	-5.4169e-004	-3.6044e-004

Lampiran 1.4.4

Ym=Simpangan Per Lt. R=Kenaikan Lt tiap n-Mode(n-Row) C=Lama gempa

0	-1.6010e-005	-9.5719e-005	-2.6589e-004	-4.8037e-004
0	-1.9712e-005	-1.1562e-004	-3.1054e-004	-5.2923e-004
0	-1.5273e-005	-8.7178e-005	-2.2337e-004	-3.5052e-004
0	-9.7388e-006	-5.3798e-005	-1.3005e-004	-1.8314e-004
0	-7.3439e-006	-3.9014e-005	-8.7760e-005	-1.0681e-004
0	-9.7644e-006	-5.0291e-005	-1.0665e-004	-1.1378e-004
0	-6.1988e-006	-3.1329e-005	-6.4204e-005	-6.3527e-005
0	-3.6533e-006	-1.7277e-005	-3.0891e-005	-2.0555e-005
0	-3.1543e-005	-1.8858e-004	-5.2385e-004	-9.4640e-004
0	-3.5180e-005	-2.0634e-004	-5.5423e-004	-9.4453e-004
0	-2.3458e-005	-1.3390e-004	-3.4308e-004	-5.3836e-004
0	-1.1336e-005	-6.2622e-005	-1.5138e-004	-2.1318e-004
0	-4.4598e-006	-2.3692e-005	-5.3295e-005	-6.4864e-005
0	-7.8648e-007	-4.0507e-006	-8.5902e-006	-9.1645e-006
0	1.3091e-006	6.6162e-006	1.3559e-005	1.3416e-005
0	6.3557e-006	3.0057e-005	5.3741e-005	3.5759e-005
0	-4.6267e-005	-2.7661e-004	-7.6838e-004	-1.3882e-003
0	-4.4157e-005	-2.5899e-004	-6.9565e-004	-1.1855e-003
0	-2.2311e-005	-1.2735e-004	-3.2630e-004	-5.1203e-004
0	-4.8106e-006	-2.6574e-005	-6.4238e-005	-9.0464e-005
0	3.7482e-006	1.9912e-005	4.4791e-005	5.4515e-005
0	9.4854e-006	4.8854e-005	1.0360e-004	1.1053e-004
0	6.3359e-006	3.2021e-005	6.5623e-005	6.4932e-005
0	-4.0083e-006	-1.8956e-005	-3.3893e-005	-2.2552e-005
0	-7.3346e-005	-4.3850e-004	-1.2181e-003	-2.2007e-003
0	-4.5813e-005	-2.6871e-004	-7.2175e-004	-1.2300e-003
0	-2.2656e-006	-1.2931e-005	-3.3134e-005	-5.1994e-005
0	1.5135e-005	8.3605e-005	2.0210e-004	2.8461e-004
0	1.1215e-005	5.9580e-005	1.3402e-004	1.6312e-004
0	-1.1825e-006	-6.0904e-006	-1.2916e-005	-1.3779e-005
0	-7.6274e-006	-3.8549e-005	-7.9000e-005	-7.8168e-005
0	9.6093e-007	4.5444e-006	8.1253e-006	5.4065e-006
0	-9.6670e-005	-5.7794e-004	-1.6055e-003	-2.9005e-003
0	-3.0562e-005	-1.7925e-004	-4.8148e-004	-8.2054e-004
0	1.9582e-005	1.1177e-004	2.8639e-004	4.4941e-004
0	1.3390e-005	7.3969e-005	1.7881e-004	2.5181e-004
0	-8.0944e-006	-4.3001e-005	-9.6728e-005	-1.1773e-004
0	-7.9594e-006	-4.0995e-005	-8.6935e-005	-9.2748e-005
0	7.3218e-006	3.7004e-005	7.5835e-005	7.5036e-005
0	-2.3026e-007	-1.0890e-006	-1.9470e-006	-1.2955e-006
0	-1.1504e-004	-6.8778e-004	-1.9106e-003	-3.4517e-003
0	-4.0318e-006	-2.3647e-005	-6.3517e-005	-1.0825e-004
0	2.5850e-005	1.4755e-004	3.7806e-004	5.9326e-004
0	-7.5437e-006	-4.1672e-005	-1.0073e-004	-1.4186e-004
0	-8.0785e-006	-4.2917e-005	-9.6539e-005	-1.1750e-004
0	1.1454e-005	5.8994e-005	1.2511e-004	1.3347e-004
0	-5.4830e-006	-2.7711e-005	-5.6790e-005	-5.6192e-005
0	5.4758e-008	2.5896e-007	4.6301e-007	3.0808e-007
0	-1.2752e-004	-7.6240e-004	-2.1179e-003	-3.8262e-003
0	2.3986e-005	1.4069e-004	3.7789e-004	6.4400e-004
0	1.1551e-005	6.5931e-005	1.6893e-004	2.6509e-004
0	-1.7667e-005	-9.7593e-005	-2.3591e-004	-3.3223e-004
0	1.1225e-005	5.9632e-005	1.3414e-004	1.6326e-004
0	-6.8220e-006	-3.5136e-005	-7.4512e-005	-7.9494e-005

Lampiran L4.5

0	2.4962e-006	1.2616e-005	2.5854e-005	2.5581e-005
0	-1.1269e-008	-5.3291e-008	-9.5283e-008	-6.3401e-008
0	-1.3942e-004	-8.3355e-004	-2.3155e-003	-4.1832e-003
0	6.2318e-005	3.6551e-004	9.8177e-004	1.6731e-003
0	-3.5428e-005	-2.0222e-004	-5.1813e-004	-8.1306e-004
0	1.2724e-005	7.0286e-005	1.6990e-004	2.3927e-004
0	-3.7678e-006	-2.0016e-005	-4.5025e-005	-5.4799e-005
0	1.5214e-006	7.8357e-006	1.6617e-005	1.7728e-005
0	-4.6941e-007	-2.3724e-006	-4.8619e-006	-4.8106e-006
0	1.1635e-009	5.5024e-009	9.8383e-009	6.5463e-009

Ymax =

7.6521e-001
1.4633e+000
2.0633e+000
3.0018e+000
3.6987e+000
4.2780e+000
4.6920e+000
5.0997e+000

Yminx =

7.1666e-001
1.4344e+000
2.1547e+000
3.5348e+000
4.7437e+000
5.6970e+000
6.3195e+000
6.9241e+000

Simpangan Horizontal

Relatif

0
0.7652
1.4633
2.1547
3.5348
4.7437
5.6970
6.3195
6.9241