

T. SIPIL
2013

**ANALISA DEBAN GEMPA PADA PORTAL FRAME (2D)
DENGAN METODE DINAMIK DENGAN APLIKASI
PROGRAM MATLAB DAN SAP 2000**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Dibuat oleh :

**REGA SAJUTRA
020310011661**

JURUSAN TEKNIK SIPIL

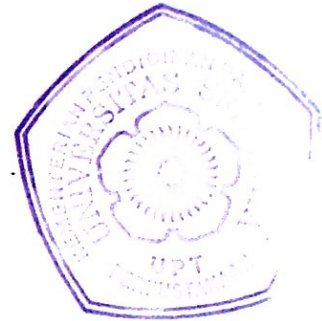
FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2013

Rec: 23450
Reg: 29001

**ANALISA BEBAN GEMPA PADA PORTAL FRAME (2D)
DENGAN METODE DINAMIK DENGAN APLIKASI
PROGRAM MATLAB DAN SAP 2000**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Disusun Oleh :

REGA SAPUTRA
03081001002

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2013

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

TANDA PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

NAMA : REGA SAPUTRA

NIM : 03081001002

**JUDUL : ANALISA BEBAN GEMPA PADA PORTAL FRAME (2D)
DENGAN METODE DINAMIK DENGAN APLIKASI
PROGRAM MATLAB DAN SAP2000**

**Inderalaya, April 2013
Ketua Jurusan**



Ir. H. Yakni Idris, MSC, MSCE

NIP. 19581211 198703 1 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta kasih yang begitu besar kepada penulis hingga Tugas Akhir ini selesai. Tugas Akhir ini merupakan persyaratan untuk mencapai gelar sarjana Teknik Sipil bidang studi Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Judul Tugas Akhir ini adalah **“Analisa Beban Gempa Pada Portal Frame (2D) Dengan Metode Dinamik Dengan Aplikasi Program Matlab dan SAP 2000.”**

Penulis juga menyadari bahwa selesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan serta dorongan dari semua pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Ir. Yakni Idris, MSC, MSCE., selaku Dosen Pembimbing.
2. Kepada kedua orang tua saya atas dukung materi dan doa.
3. Kepada Adik dan Kakak-kakak ku atas dorongan semangat dan perhatiannya.
4. Bapak / Ibu Dosen Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang manfaat selama saya duduk di bangku kuliah.
5. Buat para pegawai yang telah membantu segala administrasi dari awal perkuliahan sampai sekarang baik pegawai di Jurusan Teknik Sipil maupun pegawai di Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Teman-teman seperjuangan sipil angkatan 2008.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Untuk itu segala kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan dari semua pihak demi kebaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan sumbangan pengetahuan bagi yang membacanya.

Palembang, Maret 2012

Rega Saputra
03081001002

DAFTAR ISI

UPT PEPPUSTAKAAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

No. DAFTAR: L30992

TANGGAL: 17 APR 2013

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR NOTASI.....	vi
PERSEMBAHAN.....	viii
MOTTO.....	ix
ABSTRAK.....	x
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Metodologi Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BABII. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Dinamika Respons Struktur.....	6
2.1.1 Teori Dinamika.....	6
2.1.2 Perbedaan Statik dan Dinamik.....	6
2.1.3 Karakter Getaran Gempa.....	7
2.1.4 Penentuan Tipe Pembebanan.....	8
2.1.5 Struktur Sederhana.....	9
2.1.6 Spektrum Respon.....	10
2.2 Sistem Derajat Kebebasana (DOF).....	11
2.2.1 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF).....	11
2.2.1.1 Derajat Kebebasana (<i>Degree Of Freedom</i>).....	11
2.2.1.2 Sistem Tak Teredam (<i>Undamped System</i>).....	12
2.2.1.3 Frekwensi dan Periode.....	13
2.2.2 Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF).....	14
2.2.2.1 Struktur Bangunan Model Geser (<i>Shear Building</i>)	14

2.2.2.2 Analisis Respons Dinamik.....	18
2.3 Analisa Deterministik Dari Respons Gempa Bumi.....	20
2.3.1 Sistem SDOF Tergumpal.....	20
2.3.2 Sistem SDOF Tergeneralisasi.....	21
2.3.3 Sistem MDOF Tergumpal.....	22
BAB III. METODOLOGI ANALISA GEMPA.....	23
3.1 Tahapan Implementasi.....	23
3.2 Perencanaan Umum Struktur.....	24
3.3 Prinsip Analisa Gempa Dinamis.....	25
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Pemodelan Struktur.....	31
4.2 Prosedur Analisa Dengan SAP 2000.....	34
4.3 Prosedur Analisa Dengan Matlab.....	41
4.4 Perbandingan Hasil Antara Matlab Dan SAP 2000.....	49
4.5 Aplikasi <i>Script</i> Dengan <i>Input</i> Beban.....	50
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Nilai <i>modeshapes</i> dari SAP 2000.....	40
Tabel 4.2. Perbandingan hasil analisa antara Matlab dan Sap 2000.....	49
Tabel 4.3. Perbandingan <i>modeshapes</i> antara Matlab dan SAP 2000.....	49
Tabel 4.4. Nilai <i>modeshapes</i> dari SAP 2000.....	51
Tabel 4.5. Perbandingan Perioda, Frekwensi, dan <i>Eigen</i> antara Matlab dan SAP2000.....	59
Tabel 4.6. Perbandingan <i>Modeshapes</i> Matlab dan SAP2000.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tanki air dengan beban statik dan dinamik.....	7
Gambar 2.2	Sifat dan sumber tipe beban dinamik.....	8
Gambar 2.3	Idealis pergola, idealis tanki air, dan getaran bebas.....	9
Gambar 2.4	Bentuk spektrum respon, system berderajad kebebasan tunggal...	10
Gambar 2.5	Contoh struktur yang dimodelisasikan sebagai SDOF.....	11
Gambar 2.6	Model matematis untuk system berderajad-kebebasan-satu.....	12
Gambar 2.7	Beberapa bentuk alternatif dari model matematis SDOF.....	12
Gambar 2.8	Model bentang tunggal.....	14
Gambar 2.9	Model kolom tunggal.....	15
Gambar 2.10	Model sejumlah massa berpegas.....	17
Gambar 2.11	Penggambaran lendutan sebagai jumlah komponen modus.....	19
Gambar 2.12	Spektrum respon kecepatan rata-rata.....	21
Gambar 2.13	Sistem MDOF terkumpul dengan translasi dasar tegar.....	22
Gambar 2.14	Gaya-gaya elastik pada system MDOF terkumpul.....	23
Gambar 3.1	Diagram alir analisa beban gempa secara umum.....	24
Gambar 3.2	Grafik S_a wilayah gempa 2 SNI-03-1726-2002.....	28
Gambar 3.3	Diagram alir perhitungan beban gempa.....	30
Gambar 4.1	Kerangka yang digunakan untuk analisis.....	31
Gambar 4.2	Pemodelan <i>lumped mass</i> struktur 5 lantai.....	32
Gambar 4.3	Model sejumlah massa berpegas untuk <i>shear building</i>	33
Gambar 4.4	Kotak dialog 2D <i>frames</i>	35
Gambar 4.5	Kotak dialog data <i>property material</i>	35
Gambar 4.6	Kotak dialog untuk memasukkan ukuran kolom.....	36
Gambar 4.7	Kotak dialog untuk sumber massa.....	37
Gambar 4.8	Kotak dialog respon spektrum.....	37
Gambar 4.9	Kotak dialog perletakan.....	38
Gambar 4.10	Kotak dialog beban.....	38
Gambar 4.11	Kotak dialog diafragma.....	39
Gambar 4.12	Tabel hasil analisa Perioda, Frekwensi, Frekwensi Sudut, dan <i>Eigen</i>	40
Gambar 4.13	Hasil <i>output</i> dari <i>windows</i> Matlab.....	48
Gambar 4.14	Gaya lateral hasil analisa.....	48

DAFTAR NOTASI

a	Jarak
A_m	Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana
A_r	Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C pada Spektrum Respons Gempa Rencana
b	Lebar balok
C_n	Koefisien redam tergeneralisasi modus normal
E	Modulus elastisitas
f	Frekwensi siklis pribadi
f_i, f_D, f_s	Masing-masing gaya inersia, redam dan pegas
g	Percepatan gravitasi
h	Panjang kolom
I	Inersia
k	Kekakuan
K_n	Kekakuan tergeneralisasi modus normal yang ke- n
L	Tinggi setiap lantai
\mathcal{L}	Faktor eksitasi gempa
m	Massa
M_n	Massa tergeneralisasi modus normal yang ke- n
\mathcal{M}	Momen dalam pada suatu penampang
P	Beban
P_{eff}	Beban efektif
$P_n(t)$	Fungsi pemaksa modus normal yang ke- n
S_a	Respons percepatan spectrum
S_d	Respons perpindahan spectrum
S_v	Respons kecepatan spectrum
t	Waktu
T	Perioda getar
T_c	Waktu getar alami sudut, yaitu getar alami pada titik perubahan diagram C dari garis datar menjadi kurva hiperbola pada Spektrum Respons Gempa Rencana

U_{maks}	Perpindahan maksimum
u	Perpindahan dalam arah y
v_g	Perpindahan tanah
v	Gaya-gaya geser pada suatu penampang
W	Beban merata
Y_n	Perpindahan tergeneralisasi
ξ	Fungsi waktu
λ_n	Nilai eigen yang ke- n
θ	Sudut fase, perpindahan rotasi
τ	Waktu
ϕ_n	Bentuk modus yang ke- n
Φ	Matriks modus
ω	Frekwensi siklis
Ω	Nilai eigen value

PERSEMBAHAN

*Tugas Akhir ini
Kupersembahkan untuk bapak
dan ibu tercinta,
yang senantiasa memberikan
dukungan.
Terima kasih.....*

MOTTO

“ Kegagalan adalah guru terbaik “

*“ Berakit-rakit ke hulu berenang-renang ke tepian,
Bersakit-sakit dahulu bersenangan-senang kemudian”*

ABSTRAK

Sebagai Negara yang sering terkena dampak gempa, maka gedung yang direncanakan harus memperhatikan tingkat resiko gempa yang akan terjadi bilamana gedung tersebut akan didirikan di kawasan yang rawan gempa bumi. Maka dari itu, perlu perhitungan yang matang dan cepat namun tepat. Seiring dengan perkembangan teknologi komputer, maka dapat dipastikan kita bisa memprediksikan dengan cepat dan tepat, besar gaya gempa yang akan bekerja bilamana gempa itu terjadi.

Dengan maksud mempergunakan teknologi komputer dewasa ini, maka digunakan bahasa pemrograman Matlab dan SAP 2000. Maksud penggunaan kedua program tersebut supaya bisa diketahui tingkat perbedaan hasil yang didapat antara kedua jenis program baru ini. Bahasa pemrograman Matlab dan program professional SAP 2000 bisa dipakai untuk menghitung beban gempa dinamis dengan cara metode respons spectrum. Metode ini sangat cocok dipakai untuk kondisi di Indonesia, sebab peraturan gempa yaitu SNI-03-1726-2002 sudah menyajikan grafik respons spectrum yang sempurna.

Tugas akhir ini menyajikan langkah – langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan hasil akhir yaitu gaya lateral yang bekerja tiap lantai. Perhitungan terlebih dulu dilakukan dengan Matlab dengan menginputkan rumus-rumus, dan selanjutnya perhitungan dengan SAP 2000. Sedangkan hasil yang didapat dari kedua program ini, baik Periode (T), Frekwensi Siklis (f), Frekwensi Sudut (ω), dan Eigen (\mathcal{L}), mempunyai nilai yang sama. Hanya saja perbedaan kecil terjadi karena pembulatan angka dibelakang. Sementara untuk nilai modeshapes (ϕ) mempunyai hasil yang sama persis. Perbedaan terjadi pada tanda plus minus saja. Misal pada mode ke – 2, tanda seluruh elemen pada mode tersebut saling berlawanan satu sama lainnya. Hal ini memang dikarenakan gempa dinamik yang bersifat bolak balik.

Kata Kunci : Respons Spektrum, Matlab, SAP 2000, Modeshapes.

ABSTRAK

As a country that is often affected by the earthquake, the buildings planned should attention to the level of risk that an earthquake will occur when the buildings will be founded in areas prone to earthquakes. Therefore, the necessary calculation and fast yet precise. Along with the development of computer technology, it is certain we can quickly and accurately predict, the earthquake force that will work when the quake occurred.

With the purpose of using computer technology today, we used Matlab programming language and SAP 2000. The purpose of using both programs in order to know the level of difference in the result obtained between the two types of this new program. Matlab programming language and professional SAP 2000 program can be used to calculate the dynamic earthquake load by response spectrum method. This method is very suitable for the conditions in Indonesia, because the earthquake regulations SNI-03-1726-2002 has yielded the response spectrum of a perfect graph.

This assignment that must be done to get the final result, namely lateral force that works every floor. First calculation is done by Matlab to input formulas, and then calculation with SAP 2000. While the result obtained from these two programs, both Period(T), Cyclical Frequency (f), Frequency (ω), and Eigen (Ω), have the same value. Only minor differences due to rounding digits behind. As for the value of modeshapes (ϕ) has exactly the same result. Differences occur only on the plus sign minus. For example in the mode - 2, marks all the mode element opposing each other. This is due to the earthquake that is dynamic and forth.

Keywords : Spectrum Responce, Matlab, SAP 2000, *Modeshapes*.

BAB I

PENDAHULUAN



1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia terletak diantara beberapa lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia serta lempeng Philipina, sehingga sering mengalami gempa bumi. Hal tersebut menyebabkan kondisi bangunan di Indonesia dalam keadaan rawan terhadap gempa. Indonesia yang secara geographis terbagi menjadi enam zona gempa, memaksa gedung yang akan direncanakan memperhatikan letak bangunan yang akan dibangun. Setiap zona gempa itu, memiliki tingkat resiko yang berbeda – beda. Sehingga diperlukan perhitungan yang matang terhadap bangunan yang akan dibangun sesuai dengan zona resiko gempa di tempat tersebut. Meskipun gempa tidak terjadi setiap hari namun jika gempa mengenai suatu bangunan maka akan berakibat fatal. Karena itu, dibutuhkan perhatian khusus terhadap beban gempa yang akan terjadi di bangunan tersebut. Mengingat pentingnya perhitungan yang matang namun cepat maka tidak menutup kemungkinan pemanfaatan teknologi yang bisa dimanfaatkan dalam hal analisa perhitungan beban gempa.

Seiring dengan perkembangan teknologi, utamanya di bidang komputer maka telah banyak cara – cara analisa yang bisa dipakai untuk menganalisa beban gempa secara praktis dan mudah. Perkembangan teknologi komputer khususnya perkembangan *software* (perangkat lunak) yang sangat membantu guna memudahkan pekerjaan perhitungan dan perencanaan bangunan – bangunan yang kompleks. Perhitungan dengan menggunakan teknologi komputer mampu melakukan perhitungan dengan cepat. Pada awalnya banyak dikembangkan bahasa pemrograman yang *low level language* dengan diperkenalkannya bahasa *assembly* dan *high level language* seperti Fortran, C++, Basic, Pascal dan lain – lain, hingga akhir – akhir ini semakin berkembang bahasa *script programming* yang dijadikan alternative karena kemudahannya dalam membuat suatu aplikasi program salah satunya adalah Matlab (*Matrix Laboratory*) dimana matlab adalah program untuk analisis dan komputasi numerik, yang merupakan suatu bahasa pemrograman

matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks.

Dengan tujuan supaya kita yakin bahwa hasil yang kita peroleh dengan MatLab adalah benar, maka sebagai pembanding hasil kita butuhkan program yang non-bahasa pemrograman. Dalam hal ini, dipakai SAP 2000 karena merupakan program yang populer dewasa ini dan penggunaannya cukup mudah. Dimana dengan program itu kita tinggal memasukkan data – data untuk melakukan analisa struktur untuk mendapatkan nilai hasil analisa yang dibutuhkan seperti nilai eigen, periode, frekuensi. Dengan demikian, kedua program ini memiliki perbedaan mendasar dalam hal operasi penggunaannya. Jika perangkat bahasa pemrograman dilakukan dengan memasukkan data – data yang diketahui dalam hal ini disebut input, memasukkan rumus – rumus matematika untuk tujuan *processing* dan pada akhirnya dihasilkan nilai yang disebut *output*. Maka, program seperti SAP2000 lebih sederhana yaitu hanya dibutuhkan input data – data, sementara *processing* dilakukan dengan tombol “Run” saja untuk mendapatkan hasil berupa *output*. Dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang benar – benar akurat maka digunakan dua macam jenis perangkat lunak yaitu bahasa pemrograman MatLab dan program SAP2000.

Program SAP 2000 bisa digunakan untuk dua analisa beban gempa yaitu analisa statik dan analisa dinamik. Analisa statik terdiri dari *pushover* dan *static equivalent*, sedangkan analisa dinamik terdiri dari *time history* dan *response spectrum* dll. Karena sifat gempa yang bersifat bolak – balik, pada bangunan sehingga gedung harus mampu elastis menahan beban siklik gempa. Maka, metode dinamis bisa dipakai untuk merencanakan besar beban gempa pada pusat join balok – kolom pada portal *frame* atau gedung 2D. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan analisa beban gempa pada portal frame (2D) dengan aplikasi program Matlab dan SAP2000.

1.2 Perumusan Masalah

Salah satu penyebab betapa pentingnya suatu stuktur bangunan dirancang tahan terhadap gempa adalah akibat fatal yang ditimbulkan baik korban jiwa, harta benda maupun kerugian fisik yang terjadi pada bangunan itu akibat perilaku siklik gempa. Terlebih pada bangunan gedung yang konon menampung manusia dalam jumlah besar. Hal inilah yang menyebabkan betapa pentingnya perencanaan yang tepat untuk menjamin resiko gempa yang dapat diminimalisir. Karena itulah dibutuhkan perangkat *software* komputer untuk melakukan analisa itu.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka perumusan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara melakukan perhitungan pendekatan gaya gempa dengan program Matlab ?
2. Bagaimana cara melakukan analisa dengan SAP 2000 ?
3. Bagaimana mendapatkan hasil hitungan yang sama antara Matlab dan SAP2000 dalam hal-hal yang bisa diperbandingkan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk memahami konsep analisis beban gempa pada suatu zona gempa.
2. Untuk mengetahui analisa beban gempa dengan bahasa *script programming* dengan Matlab.
3. Untuk mengetahui analisa beban dinamis dengan program professional SAP2000.
4. Untuk mengetahui kesamaan hasil antara dua program tersebut.

1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dipakai dalam penulisan tugas akhir ini yaitu studi literature dengan mencari solusi untuk permasalahan dengan mengumpulkan data – data dan keterangan dari buku, serta masukan – masukan atau arahan dari dosen pembimbing. Sementara cara analisa dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman dalam hal ini Matlab. Hasil Matlab untuk selanjutnya dibandingkan dengan program SAP2000. Jika diperoleh hasil yang sama maka hasil yang didapat dinyatakan benar.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dengan alasan untuk mempertegas masalah penelitian, maka dalam kajian ini perlu adanya pembatasan untuk menyederhanakan perhitungan dan mereduksi tingkat kesulitan yaitu antara lain :

1. Metode yang dipakai adalah response spectrum.
2. Grafik respon spectrum percepatan zona 2 SNI – 03 – 1726 - 2002
3. Sumber massa diambil dari beban merata.

4. Diasumsikan massa tergumpal
5. Bentuk hubungan titik kumpul dari plane frame adalah jepit.
6. Jenis material yang dipakai adalah beton ortotropik.
7. Bangunan tak teredam; $c = 0$
8. Bangunan shear building
9. Hasil hitungan Matlab berupa eigenvector, periode, dan frekuensi akan dibandingkan dengan SAP2000.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini akan diselesaikan dalam lima bab yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini akan disajikan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan disajikan mengenai pustaka atau dasar – dasar teori yang berkaitan dengan analisa beban gempa dinamis yang dihitung dengan metode respon spectrum.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menyajikan isi tentang urutan – urutan atau langkah – langkah penelitian yang dilakukan untuk melakukan analisis beban gempa dinamis sesuai prosedur analisa gempa dinamis.

BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan disajikan mengenai prosedur analisa gaya gempa dengan menggunakan metode response spectrum pada bangunan portal tidak simetris dengan aplikasi program Matlab dan SAP2000 serta menyajikan hasil yang didapat antara kedua program tersebut.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan disajikan penjelasan mengenai kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil analisa data dan pembahasan berupa kesimpulan tentang perhitungan beban gempa antara program Matlab dan SAP2000.

DAFTAR PUSTAKA

Chopra, Anil K., (1995), *Dynamics of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Clough, Ray W., dan Penzein, Joseph., (1988), *Dinamika Struktur Jilid 1* terj. Dines Ginting. Erlangga, Jakarta.

Duan L., Vinayagamoorthy M., dan Bavirisetty R., (2000), *Dynamic Analysis*. CRC Press, Boca Raton.

Paz, Mario., (1996), *Dinamika Struktur Teori & Perhitungan* terj. Manu A.P.. Erlangga, Jakarta.

Rajasekaran, S., (2009), *Structural Dynamics of Eartquake Eingeering : Theory and application Using Mathematica And Mallab*. CRC Press, Boca Raton.

Standar Nasional Indonesia, (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Badan Standardisasi Nasional.