



TUGAS AKHIR TF-181801

**PEMODELAN PEREDAM GETARAN GEMPA
PADA BANGUNAN BERTINGKAT TIGA DENGAN
SISTEM *COUPLE DYNAMIC VIBRATION
ABSORBER* (DVA) PADA ARAH ORTOGONAL**

**ADITYA YUDHISTIRA
NRP. 0231154000032**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Yerri Susatio, MT**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

Halaman ini memang dikosongkan



TUGAS AKHIR TF-181801

**PEMODELAN PEREDAM GETARAN GEMPA
PADA BANGUNAN BERTINGKAT TIGA DENGAN
SISTEM *COUPLE DYNAMIC VIBRATION
ABSORBER* (DVA) PADA ARAH ORTOGONAL**

**ADITYA YUDHISTIRA
NRP. 0231154000032**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Yerri Susatio, MT**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

Halaman ini memang dikosongkan



FINAL PROJECT TF-181801

**MODELING OF EARTHQUAKE VIBRATION
REDUCTION IN THREE STOREYS BUILDING
WITH COUPLE DYNAMIC VIBRATION
ABSORBER (DVA) IN ORTHOGONAL
DIRECTION**

**ADITYA YUDHISTIRA
NRP. 0231154000032**

Supervisor
Ir. Yerri Susatio, MT

***Engineering Physics Departement
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019***

Halaman ini memang dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aditya Yudhistira
NRP : 02311540000032
Departemen : Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Pemodelan Peredam Getaran Gempa Pada Bangunan Bertingkat Tiga Dengan Sistem *Couple Dynamic Vibration Absorber (DVA)* Pada Arah Ortogonal”** adalah benar-benar karya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 5 Agustus 2019



Aditya Yudhistira

Halaman ini memang dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN PEREDAM GETARAN GEMPA PADA
BANGUNAN BERTINGKAT TIGA DENGAN SISTEM
COUPLE DYNAMIC VIBRATION ABSORBER (DVA) PADA
ARAH ORTOGONAL**

TUGAS AKHIR

Oleh:

ADITYA YUDHISTIRA

NRP. 0231154000032

Surabaya, 5 Agustus 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Ir. Yerri Susatio, MT

NIP. 19541017 198003 1 005

Mengetahui,

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI ITS,



Nasir Mubandaz Haraga, ST, M.Si, Ph.D

NIP. 19780902 2003121002

Halaman ini memang dikosongkan

**PEMODELAN PEREDAM GETARAN GEMPA PADA
BANGUNAN BERTINGKAT TIGA DENGAN SISTEM
COUPLE DYNAMIC VIBRATION ABSORBER (DVA) PADA
ARAH ORTOGONAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

ADITYA YUDHISTIRA
NRP. 0231154000032

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Yerri Susatio, MT (Pembimbing)
2. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng (Ketua Penguji)
3. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc (Penguji I)
4. Moh. Kamalul Wafi, S.T., M.Sc., D.I.C (Penguji II)

SURABAYA
AGUSTUS, 2019

Halaman ini memang dikosongkan

PEMODELAN PEREDAM GETARAN GEMPA PADA BANGUNAN BERTINGKAT TIGA DENGAN SISTEM *COUPLE DYNAMIC VIBRATION ABSORBER (DVA)* PADA ARAH ORTOGONAL

Nama Mahasiswa : Aditya Yudhistira
NRP : 02311540000032
Jurusan : Teknik Fisika FTI ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yerri Susatio, MT

Abstrak

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang kerap kali terjadi di berbagai wilayah Indonesia. Hal ini disebabkan karena 80% wilayah Indonesia merupakan wilayah seismik, sehingga memiliki risiko tinggi akan terjadinya gempa. Hingga saat ini, sangat sulit untuk memprediksi waktu secara pasti kapan gempa bumi akan terjadi. Sehingga, dibutuhkan solusi preventif untuk mencegah dampak yang akan terjadi. Salah satu solusinya adalah pemasangan *Dynamic Vibration Absorber (DVA)* pada bangunan. DVA berfungsi sebagai pereduksi getaran yang diterima bangunan ketika bangunan menerima *input* gaya dari gempa. Pada penelitian tugas akhir ini, DVA dirancang secara *couple* dan terletak pada bagian bawah lantai pertama pada bangunan bertingkat tiga. Gaya yang diterima bangunan adalah berupa *Magnitude Surface* sebesar 6, 7, dan 8 yang merambat pada arah sumbu x, dan y terhadap bangunan. Ada tiga jenis *Couple DVA* yang dirancang, yaitu menggunakan material *Natural Rubber*, *Butyl Rubber*, dan *Neoprene*. Nilai parameter DVA untuk material *Natural Rubber* adalah 3000 kg untuk massa DVA utama, 4000 kg untuk massa DVA samping, nilai kekakuannya 291,77 N/m dan redamannya 171. Untuk DVA dengan material *Butyl Rubber*, menggunakan DVA utama dengan massa 2962,4 kg, DVA samping 3956 kg, nilai kekakuannya 288,53 N/m, dan redamannya 450,28. Untuk DVA dengan material *Neoprene*, menggunakan DVA utama dengan massa 3960,6 kg, DVA samping dengan 5289

kg, nilai kekakuannya 397,09 N/m, dan redamannya 150,5. Untuk nilai peredaman paling besar adalah dengan menggunakan material *Butyl Rubber* yaitu sebesar 97,32%, diikuti *Natural Rubber* sebesar 97,23%, dan untuk *Neoprene* sebesar 96,31%. Sebelum dipasang DVA, untuk kekuatan 6 Ms, masing-masing lantai bangunan menyimpang masih di bawah batas yang diizinkan oleh SNI 03-1726-2002, yaitu 14,1 milimeter. Namun untuk kekuatan 7 dan 8 Ms, masing-masing lantai bangunan menyimpang lebih besar dari batas yang diizinkan. Setelah dipasang DVA, dengan reduksi masing-masing material yang bernilai lebih dari 96%, maka simpangan bangunan berhasil direduksi hingga di bawah batas yang diizinkan, baik itu untuk kekuatan 7 Ms, dan juga 8 Ms. Parameter lain yang digunakan untuk membuktikan kinerja DVA adalah *mode shape*. Pada perhitungan yang telah dilakukan, *mode shape* dari DVA berlawanan dengan yang dimiliki oleh bangunan, sehingga dapat disimpulkan bahwa DVA mampu mereduksi simpangan masing-masing lantai bangunan karena saling bergerak ke arah yang berlawanan.

Kata Kunci : bangunan bertingkat tiga, *couple* DVA, gempa, pereduksi.

**MODELING OF EARTHQUAKE VIBRATION REDUCTION
IN THREE STOREYS BUILDING WITH COUPLE
DYNAMIC VIBRATION ABSORBER (DVA) IN
ORTHOGONAL DIRECTION**

Name : Aditya Yudhistira
NRP : 0231154000032
Departement : Engineering Physics, FTI ITS
Supervisor : Ir. Yerri Susatio, MT

Abstract

Earthquake is one of the natural disaster that often occurred in various Indonesia's regions. This is caused by 80% of Indonesia's area is seismic area, so it has high risk of earthquake. Until now, it is very difficult to predict when earthquake will happen accurately. So that preventive solution is needed to prevent the impact that will occur. One of the solution is to install Dynamic Vibration Absorber (DVA) in the building. DVA functions as vibration reduction of the force that received by building from earthquake. In this final project, DVA is designed in pairs and located at the bottom of the first floor at a three-storey building. The force that receive by building is in form of Magnitude Surface of 6, 7, and 8 which are moved on x and y axes. There are three kind of DVA that is designed, they are using Natural Rubber, Butyl Rubber, and Neoprene material. DVA parameter value for Natural Rubber material is 3000 kg for the main DVA mass, 4000 kg for side DVA mass, its stiffness is 291,77 N/m, and its damping is 171. For DVA with Butyl Rubber material, using the main DVA with a mass of 2962,4 kg, side DVA mass is 3956 kg, its stiffness is 288,53 N/m and its damping is 450,28. For DVA with Neoprene material, its has 3960,6 kg for DVA main mass, and 5289 for DVA side mass, its stiffness is 397,09 N/m, and its damping is 150,5. The greatest material that can reduce the vibration is Butyl Rubber with 97,32% reduction, followed by Natural Rubber for 97,23% and then Neoprene for 96.31%. Before DVA is installed, for 6 Ms

magnitude, each storey's displacement is under the limit that allowed by SNI 03-1726-2002, it is 14,1 millimeter. However, for 7 and 8 Ms magnitudes, each storey's displacement is above the limit that allowed. After DVA is installed, each material reduction value are more than 96%, then the storey displacement is reduced under the allowed limit (for 7 Ms, and 8 Ms either). Another parameter that is used for proving DVA performance is mode shape. Based on the calculation, DVA's mode shape has different sign (opposite) with building's. It means that DVA can reduce building's storey displacement because they are moving on different ways (vector).

Keywords : DVA, earthquake, three-storey building, reduction.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Allah SWT atas nikmat dan karunia-Nya, sehingga proses penelitian, dan pembuatan laporan tugas akhir yang berjudul “**Pemodelan Peredam Getaran Gempa Pada Bangunan Bertingkat Tiga dengan Sistem *Couple Dynamic Vibration Absorber (DVA)* Pada Arah Ortogonal**” ini dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis sangat berterima kasih kepada banyak pihak yang turut membantu, dan mendukung penulis, di antaranya:

1. Kedua orang tua, dan kedua saudara yang telah memberikan *support* kepada penulis.
2. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
3. Bapak Ir. Yerri Susatio, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi bimbingan, dan arahan sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, dan tepat waktu.
4. Bapak Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Vibrasi, dan Akustik Teknik Fisika FTI ITS.
5. Bapak Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng. yang telah memberikan bimbingan selama beraktivitas di VibrasticLab.
6. Seluruh staf, dan pengajar Departemen Teknik Fisika FTI ITS.
7. Mbak Nela, mbak Ayu, dan mas Dhewangga yang membantu, dan memberi masukan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan VibrasticLab angkatan 2015 (Alif, Bina, Bintang, Fery, Fiqiyah, Ihsan, Kempo, Mayang, Nandahery, dan, Tenti) yang memotivasi saat proses pengerjaan Tugas Akhir ini, serta memberi semangat saat sidang hahaha.
9. Teman-teman F50, teman-teman Don Juan I-311, serta teman-teman kontrakan klampis *noob* DotA 2.
10. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis sangat menyadari akan keterbatasan serta kekurangan penulis dalam ilmu pengetahuan, dan pengalaman penelitian. Oleh karena itu, diharapkan kritik yang membangun dari para pembaca, agar penulis dapat meningkatkan kualitas untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Surabaya, 5 Agustus 2019

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TEORI PENUNJANG.....	3
2.1 Getaran Pada Bangunan.....	3
2.2 Gempa Bumi.....	6
2.3 Magnitudo Gempa Bumi.....	7
2.4 Intensitas Gempa Bumi.....	9
2.5 <i>Dynamic Vibration Absorber (DVA)</i>	10
2.6 Metode Ruang Keadaan (<i>State Space</i>).....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Diagram Alir.....	15
3.2 Pemodelan Sistem Tanpa DVA.....	16
3.3 Pemodelan Sistem Setelah Dipasang DVA.....	18
3.4 Menentukan Parameter Bangunan.....	19
3.5 Menentukan Parameter DVA.....	22
3.6 Perpindahan Maksimum.....	27
3.7 Pemodelan <i>State Space</i>	28

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Sinyal <i>Input</i>	33
4.2 Respon Bangunan Tanpa DVA.....	35
4.3 Respon Bangunan Setelah Diberi DVA	40
4.4 Penurunan Nilai Amplitudo	58
4.5 <i>Mode Shape</i>	60
 BAB V PENUTUP	 63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64
 DAFTAR PUSTAKA.....	 65
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	DVA yang Dipasang Pada Sistem 1 DOF.....	11
Gambar 2.2	Deformasi Posisi Pada DVA (Connor, 2003)....	11
Gambar 2.3	DVA yang Dipasang Pada (a) Chiba-Port Tower, (b) Huis Ten Bosch Tower, Nagasaki (Connor, 2003).....	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	16
Gambar 3.2	Model Sistem Utama Bangunan.....	17
Gambar 3.3	Pemodelan Sistem Utama dengan DVA.....	18
Gambar 4.1	Arah Rambatan Gempa Terhadap Bangunan	33
Gambar 4.2	Sinyal Input 6 Ms dengan Periode 20 detik.....	34
Gambar 4.3	Sinyal Input 7 Ms dengan Periode 20 detik.....	34
Gambar 4.4	Sinyal Input 8 Ms dengan Periode 20 detik.....	35
Gambar 4.5	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 6 Ms.....	36
Gambar 4.6	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 6 Ms	36
Gambar 4.7	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 6 Ms	36
Gambar 4.8	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 7 Ms.....	37
Gambar 4.9	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 7 Ms	38
Gambar 4.10	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 7 Ms	38
Gambar 4.11	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 8 Ms.....	39
Gambar 4.12	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 8 Ms	39
Gambar 4.13	Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 8 Ms	40
Gambar 4.14	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms.....	41

Gambar 4.15	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	41
Gambar 4.16	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	42
Gambar 4.17	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms.....	43
Gambar 4.18	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	43
Gambar 4.19	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	44
Gambar 4.20	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms.....	45
Gambar 4.21	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	45
Gambar 4.22	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Natural Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	46
Gambar 4.23	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms.....	47
Gambar 4.24	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	47
Gambar 4.25	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	48
Gambar 4.26	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms.....	49

Gambar 4.27	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	49
Gambar 4.28	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	50
Gambar 4.29	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms.....	51
Gambar 4.30	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	51
Gambar 4.31	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	52
Gambar 4.32	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	53
Gambar 4.33	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	53
Gambar 4.34	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 6 Ms	54
Gambar 4.35	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	55
Gambar 4.36	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	55
Gambar 4.37	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 7 Ms	56
Gambar 4.38	Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	57
Gambar 4.39	Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	57
Gambar 4.40	Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material Neoprene dengan Kekuatan Gempa 8 Ms	58

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hubungan magnitudo gempa dengan intensitas skala MMI.....	10
Tabel 3.1	Karakteristik Natural Rubber	25
Tabel 3.2	Karakteristik Butyl Rubber	26
Tabel 3.3	Karakteristik Neoprene	27
Tabel 4.1	Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 6 Ms.....	35
Tabel 4.2	Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 7 Ms.....	37
Tabel 4.3	Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 8 Ms.....	39
Tabel 4.4	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Natural Rubber dengan Kekuatan 6 Ms	41
Tabel 4.5	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Natural Rubber dengan Kekuatan 7 Ms	42
Tabel 4.6	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Natural Rubber dengan Kekuatan 8 Ms	45
Tabel 4.7	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan 6 Ms	47
Tabel 4.8	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan 7 Ms	48
Tabel 4.9	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Butyl Rubber dengan Kekuatan 8 Ms	51
Tabel 4.10	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Neoprene dengan Kekuatan 6 Ms ..	53
Tabel 4.11	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Neoprene dengan Kekuatan 7 Ms ..	54

Tabel 4.12	Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA Neoprene dengan Kekuatan 8 Ms .	57
Tabel 4.13	Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA Natural Rubber	59
Tabel 4.14	Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA Butyl Rubber	59
Tabel 4.15	Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA Neoprene	60
Tabel 4.16	<i>Mode Shape</i> Bangunan, dan DVA.....	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang cukup sering terjadi di Indonesia. Setidaknya pada periode tahun 1991 sampai dengan 2007 telah terjadi 24 kali gempa bumi besar yang telah menelan ribuan korban jiwa dan triliunan kerugian materiil (termasuk infrastruktur). Beberapa di antaranya adalah gempa yang mengguncang Aceh pada 26 Desember 2004, dan juga Yogyakarta pada 26 Mei 2006 (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2018). Hal ini disebabkan karena 80% wilayah Indonesia merupakan daerah yang terletak di daerah seismik yang berisiko tinggi di dunia (Naryanto, 2008). Sampai saat ini, sangat kompleks, dan sulit untuk memperkirakan kapan detail sebuah gempa akan terjadi. Oleh karena itu, sangat penting sebuah solusi preventif untuk mereduksi dampak yang dihasilkan oleh gempa.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan memodifikasi bentuk bangunan, yaitu dengan penambahan peredam getaran gempa berupa *Dynamic Vibration Absorber* (DVA). DVA merupakan peredam getaran yang dipasang pada bangunan untuk mengurangi dampak kerusakan yang dihasilkan oleh gempa bumi dengan cara mereduksi getaran yang diterima oleh bangunan. Nilai parameter-parameter yang ada pada DVA akan ditentukan sedemikian rupa sehingga DVA memiliki frekuensi alami yang sama dengan frekuensi alami yang dimiliki oleh sistem utama (bangunan) (Ozer & Yagiz, 2012). Ketika sebuah respons dinamik berupa gempa mengenai bangunan, maka bangunan tersebut akan bergetar, dan DVA akan mereduksi getaran gempa dengan cara menyerap energi dari getaran bangunan tersebut, sehingga simpangan yang terjadi pada bangunan dapat tereduksi. Pada tugas akhir ini akan digunakan sistem *couple* DVA yang mana memiliki dua pasang pegas dan sebuah redaman, yang dipasang pada bagian bawah bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana cara untuk merancang *couple* DVA sebagai peredam getaran gempa pada bangunan bertingkat tiga apabila menerima gangguan gempa dalam arah ortogonal, sehingga simpangan yang dihasilkan berada pada batas yang diizinkan oleh SNI 03-1726-2002.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah

- a. Menentukan nilai parameter peredam yang diperlukan untuk merancang *couple* DVA.
- b. Melakukan analisa respons getaran pada bangunan bertingkat tiga yang telah dipasang *couple* DVA.
- c. *Couple* DVA yang dirancang mampu mereduksi simpangan lantai yang disebabkan oleh gempa bumi dengan magnitudo sebesar 6, 7, dan 8 Ms hingga berada pada batas yang diizinkan oleh SNI 03-1726-2002.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Analisa yang dilakukan adalah simpangan pada setiap lantai bangunan.
- b. DVA dimodelkan sebagai massa tergumpal yang terletak pada lantai dasar bangunan
- c. *Input* sistem berupa simpangan gempa dengan kekuatan *magnitude surface* sebesar 6, 7, dan 8 Ms.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah berguna untuk perancangan bangunan agar bangunan tersebut mampu meredam getaran yang disebabkan oleh gempa bumi sehingga bangunan tidak mengalami kerusakan yang berarti, dan dapat melindungi orang yang berada di dalamnya.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Getaran Pada Bangunan

Getaran merupakan gerakan bolak-balik pada keadaan setimbangnya pada interval waktu tertentu (Rao, 2011). Setimbang yang dimaksud adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam, jika tidak diberi gaya dari luar. Getaran terdiri dari dua jenis, yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas adalah getaran yang terjadi tanpa adanya gaya eksternal, sedangkan getaran paksa merupakan getaran yang terjadi karena adanya eksitasi dari gaya eksternal (Rajasekaran, 2009). Pada sistem getaran terdapat tiga parameter utama yang dapat mempengaruhi respons yang dihasilkan oleh sistem. Parameter tersebut adalah massa, kekakuan, dan redaman.

2.1.1 Parameter Bangunan

a. Massa

Massa yang dimiliki sebuah bangunan dapat diasumsikan dari berat bangunan tersebut. Ketika bangunan menerima sebuah gaya dari luar (eksternal), maka akan ada gaya inersia yang terjadi, dimana bangunan akan cenderung mempertahankan posisinya. Hal ini dibuktikan dengan hukum Newton II, yaitu:

$$F = m \times a \tag{2.1}$$

Dimana F adalah gaya dalam satuan N, m adalah massa dalam satuan kg, sedangkan a adalah percepatan dalam satuan m/s^2 . Melalui Persamaan (2.1) ini, dapat dibuktikan bahwa bangunan ringan, seperti rumah-rumah berbahan kayu cenderung bertahan lebih baik dari gempa bumi dibandingkan bangunan beton, dikarenakan gaya yang diterimanya akan lebih kecil.

b. Kekakuan

Kekakuan merupakan suatu sifat mekanik bahan yang dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu benda untuk tidak terdeformasi saat menerima gaya. Kekakuan struktur pada

bangunan merupakan parameter yang sangat penting untuk mendesain suatu bangunan tahan gempa, sebab kekakuan akan sangat berpengaruh terhadap respons struktur karena gaya gempa (Firmansyah, 2012). Ketika kekakuan tidak mampu menahan deformasi akibat gaya yang berlebihan dari gempa, maka akan terjadi kerusakan struktural yang menyebabkan bangunan menjadi rusak hingga runtuh.

Bangunan yang dirancang dengan kemampuan anti gempa direkomendasikan untuk memiliki rancangan yang simetris dan memiliki kekakuan yang sama pada setiap sisi bangunan. Hal ini bertujuan agar kekakuan mampu menahan gaya yang datang dari segala arah dengan sama baiknya (FEMA, 2006).

c. Redaman

Pada bangunan yang bergetar, lambat-laun simpangan akan berkurang terhadap waktu, dan pada akhirnya akan menghilang. Gaya pemulih ini disebut juga sebagai redaman. Jika suatu benda memiliki massa yang bergerak di bawah pengaruh gaya pulih linier dan gaya hambat, maka persamaan geraknya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.2)$$

Apabila c diubah menjadi bentuk $c = 2\xi\sqrt{km}$, maka Persamaan (2.2) menjadi Persamaan (2.3) berikut ini:

$$m\ddot{x} + (2\xi\sqrt{km})\dot{x} + kx = 0 \quad (2.3)$$

Jika Persamaan (2.3) di atas dikali dengan $\frac{1}{m}$, maka didapatkan Persamaan (2.4) berikut ini:

$$\ddot{x} + \left(2\xi\sqrt{\frac{k}{m}}\right)\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (2.4)$$

Sehingga, apabila $\sqrt{\frac{k}{m}}$ diubah menjadi ω_0 , maka diperoleh persamaan untuk menentukan nilai redaman dengan menggunakan Persamaan (2.5) berikut ini:

$$c = 2\xi\omega_0m \quad (2.5)$$

Keterangan:

c adalah redaman.

ξ adalah rasio redaman.

ω_0 adalah frekuensi alami.

m adalah massa.

2.1.2 Frekuensi Alami (*Natural Frequency*)

Frekuensi alami adalah frekuensi awal yang telah dimiliki oleh benda itu sendiri. Frekuensi alami sangat unik, tidak terpengaruh oleh waktu, gelombang, dan lain sebagainya. Persamaan frekuensi alami untuk sistem satu derajat kebebasan (SDOF) dapat dituliskan sebagai Persamaan (2.6) berikut ini:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

Dimana ω_n adalah frekuensi alami, k adalah kekakuan, sedangkan m adalah massa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hal yang dapat mempengaruhi nilai frekuensi alami dari suatu benda hanya massa dan kekakuan dari benda itu sendiri.

Ketika suatu objek yang bergetar diberi gaya dorongan tambahan yang kebetulan berada pada nilai frekuensi alami yang sama, maka respons getarannya akan meningkat secara drastis. Fenomena ini disebut juga sebagai resonansi.

Tanah juga memiliki frekuensi alami, yang mana dipengaruhi oleh sifat tanahnya. Tanah yang keras, atau batuan cenderung memiliki periode getaran yang lebih pendek dibanding tanah yang lembut. Maka, sangat mungkin ketika frekuensi alami tanah dan bangunan sama, akan terjadi kerusakan yang cukup parah

walaupun gempa yang terjadi tidak begitu besar. Kondisi seperti ini pernah terjadi di Mexico City pada tahun 1985, dimana gempa dengan jarak 250 mil dapat merusak bangunan yang memiliki ketinggian 6 hingga 20 lantai. Hal ini dikarenakan gempa menyebabkan tanah lunak di sekitar bangunan bergetar selama 90 detik (yang mana periode naturalnya adalah 2 detik). Oleh karena itu, sebelum merancang bangunan, sifat tanah juga perlu diperhatikan. Pada tanah lunak (periode panjang) lebih baik mendesain bangunan yang tidak begitu tinggi dan kaku sehingga memiliki periode yang relatif pendek (FEMA, 2006).

2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan bumi yang disebabkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba pada kerak (lempeng) bumi yang bergerak. Besaran yang digunakan untuk menggambarkan besarnya energi yang dilepas saat terjadinya gempa disebut Magnitudo (Lumantarna, 2001). Kebanyakan gempa bumi terjadi akibat adanya aktivitas pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang disebabkan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama, tekanan tersebut semakin membesar dan sampai pada kondisi dimana tekanan tersebut tidak mampu lagi ditahan oleh pinggiran lempengan sehingga terjadilah gempa bumi.

Pergeseran lempeng bumi dapat menyebabkan gempa bumi, karena pada peristiwa tersebut terjadi pelepasan energi yang cukup besar. Hal tersebut terjadi apabila kedua lempeng saling berjauhan, maka lempeng baru akan muncul di antara keduanya, yang memiliki berat jenis yang jauh lebih kecil dibandingkan berat jenis lempeng yang lama. Akibatnya, lempeng baru tersebut akan mendapat tekanan yang besar dari kedua lempeng di sebelahnya sehingga lempeng tersebut akan bergerak ke bawah, dan menimbulkan pelepasan energi yang juga cukup besar untuk mengakibatkan gempa bumi. Selain itu, gerakan lempeng yang saling mendekat juga dapat mengakibatkan gempa bumi, sehingga terbentuk gunung. Hal ini terjadi pada gunung Everest, yang mana

semakin lama semakin tinggi akibat pergerakan lempeng di bawahnya yang saling menumpuk (Lumantarna, 2001).

Pusat gempa yang terdapat di dalam bumi disebut *focus* atau *hypocenter*. Sedangkan, titik di permukaan bumi yang tepat berada di atasnya, disebut *epicenter*. Suatu gempa dinamakan gempa dangkal (*shallow focus earthquake*) apabila *hypocenter*-nya terletak dengan kedalaman antara 0 sampai 70 km dari permukaan bumi. Sedangkan, bila *hypocenter*-nya terletak pada rentang 70 sampai dengan 300 km, gempa tersebut akan tergolong kepada gempa menengah (*intermediate focus earthquake*). Gempa yang memiliki *hypocenter* pada kedalaman lebih dari 300 km disebut sebagai gempa dalam (*deep focus earthquake*).

2.3 Magnitudo Gempa Bumi

Magnitudo adalah besaran yang menggambarkan besarnya energi yang dilepaskan saat gempa terjadi. Besaran ini dibutuhkan untuk mendeskripsikan secara kuantitatif besarnya gempa yang terjadi. Ada beberapa jenis magnitudo yang biasanya digunakan dalam perhitungan, di antaranya adalah sebagai berikut:

2.3.1 Magnitudo Lokal Richter (M_L)

Magnitudo lokal ini digunakan untuk pengukuran pada gempa kategori dangkal, dan yang memiliki jarak *epicenter* 600 km. Jenis magnitudo ini pertama kali diperkenalkan oleh Charles Richter pada tahun 1933 yang berdasarkan pengukuran dengan menggunakan seismometer Wood-Anderson. Persamaan umum untuk menghitung magnitudo lokal adalah sebagai berikut:

$$M = {}^{10}\log A - {}^{10}\log A_0 \quad (2.7)$$

Pada Persamaan (2.7) di atas, M merupakan magnitudo lokal. A merupakan amplitudo maksimum dalam satuan mm pada jarak 100 km dari *epicenter*, dengan periode 0,8 detik. A_0 adalah amplitudo gempa yang sudah menjadi tetapan untuk jarak 100 meter yaitu sebesar 10^{-3} .

2.3.2 *Magnitude Surface* (M_S)

Magnitudo lokal memiliki beberapa kekurangan, di antaranya adalah hanya dapat digunakan untuk gempa dangkal, dan lokal, selain itu pengukuran akan mengalami saturasi pada nilai magnitudo 6 SR ke atas. Oleh sebab itu, dikembangkanlah suatu metode pengukuran lain, yaitu *magnitude surface*, yang mana dapat digunakan untuk gempa yang memiliki cakupan *epicenter* lebih jauh, dan kekuatan lebih dari 7 SR. Persamaan ini dikembangkan oleh Gutenberg dan Richter pada tahun 1936, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$M_S = \log A + 1,656 \log(\Delta) + 2,0 \quad (2.8)$$

Menurut Persamaan (2.8) tersebut, M_S adalah *magnitude surface*, A adalah perpindahan tanah maksimum dalam satuan mikrometer dengan periode 20 detik. Δ adalah jarak *epicenter* dalam satuan derajat. *Magnitude surface* dapat digunakan untuk mengukur gempa yang memiliki kedalaman *hypocenter* kurang dari 70 km, dan jarak *epicenter* kurang dari 1000 km. Persamaan lain yang dapat digunakan untuk mengukur *magnitude surface* adalah persamaan *Vř́nek* (1962) yang dapat dituliskan sebagai berikut, dimana T adalah periode gelombang permukaan.

$$M_S = \log \left[\frac{A}{T} \right]_{max} + 1,656 \log(\Delta) + 3,3 \quad (2.9)$$

2.3.3 *Magnitudo Gelombang Badan* (M_b)

Perhitungan magnitudo ini digunakan untuk gempa dengan kedalaman *hypocenter* kurang dari 70 km. Persamaan ini juga diperkenalkan oleh Gutenberg pada tahun 1945 yang mana dapat ditulis sebagaimana Persamaan (2.10) berikut ini:

$$M_b = \log A - \log T + 0,01\Delta + 5,9 \quad (2.10)$$

Pada persamaan di atas, M_b adalah magnitudo gelombang badan, A adalah amplitudo dalam mikrometer, Δ adalah jarak

epicenter dalam satuan derajat, T adalah periode gelombang yang mana sebesar 1 detik.

2.3.4 Magnitudo Momen (M_w)

Magnitudo momen digunakan untuk pengukuran gempa-gempa yang memiliki magnitudo besar, karena gempa besar memiliki karakteristik guncangan tanah yang terukur menjadi tidak sensitif. Skala magnitudo tidak bergantung kepada derajat guncangan tanah, melainkan bergantung pada pergerakan seismik yang ditentukan oleh faktor penyebab keruntuhan di sepanjang patahan. Untuk menghitung magnitudo momen, dapat digunakan Persamaan (2.11) berikut ini:

$$M_w = \frac{\log M_o}{1,5} - 10,7 \quad (2.11)$$

$$M_o = \mu A \bar{D} \quad (2.12)$$

M_o adalah pergerakan seismik dalam dyne-cm, μ adalah kuat runtuh material di sepanjang patahan. A adalah area keruntuhan, dan \bar{D} adalah jumlah rata-rata pergerakan.

2.4 Intensitas Gempa Bumi

Intensitas adalah ukuran dari daya rusak (*destructiveness*) suatu gempa di suatu tempat tertentu. Pada dasarnya, suatu gempa hanya memiliki satu magnitudo, namun memiliki bermacam-macam intensitas, sesuai skala yang digunakan. Beberapa skala intensitas yang sering digunakan adalah

1. Modified Mercalli Intensity (MMI Scale)
2. Mercalli Cancani Sieberg (MCS Scale)
3. Rossi Forrel
4. Mdvedev Sponheuer Karmik (MSK Scale)
5. Japan Meteorological Agency (JMA Scale)

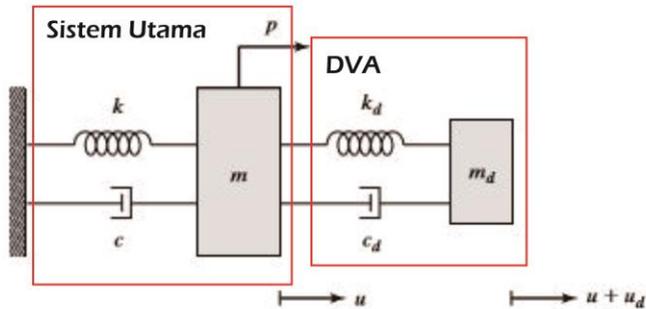
Skala MMI banyak digunakan di Amerika Utara, MCS dan Rossi-Forrel banyak dipakai di Eropa, sedangkan JMA di Jepang. Berikut merupakan hubungan magnitudo gempa dengan intensitas skala MMI:

Tabel 2.1 Hubungan magnitudo gempa dengan intensitas skala MMI

Magnitudo (Skala Richter)	Efek Karakteristik Gempa Skala pada Daerah Berpenduduk	Skala Modified Mercalli Intensity (MMI)
<3,4	Hanya terekam oleh seismograf	I
3,5-4,2	Dirasakan oleh beberapa orang	II dan III
4,3-4,8	Dirasakan oleh banyak orang	IV
4,9-5,4	Dirasakan oleh setiap orang	V
5,5-6,1	Kerusakan bangunan kecil	VI dan VII
6,2-6,9	Kerusakan banyak bangunan	VIII dan IX
7,0-7,3	Kerusakan serius, jembatan-jembatan ter puntir, tembok-tembok retak	X
7,4-7,9	Kerusakan besar, bangunan-bangunan ambruk	XI
>8,0	Kerusakan total, gelombang-gelombang terasa di permukaan tanah, benda-benda terlempar	XII

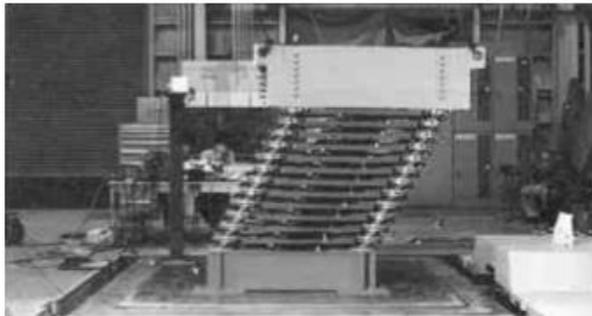
2.5 Dynamic Vibration Absorber (DVA)

Dynamic Vibration Absorber atau yang lebih dikenal dengan DVA merupakan perangkat (*device*) yang terdiri dari massa, kekakuan, dan redaman yang melekat pada struktur utama, guna mereduksi respons dinamik pada struktur tersebut (Connor, 2003). Frekuensi alami redaman disesuaikan dengan frekuensi alami yang dimiliki oleh struktur utama, sehingga keduanya akan saling beresonansi dan respons dinamik yang diterima oleh struktur utama akan diredam oleh DVA. Konsep DVA pertama kali diperkenalkan oleh Frahm pada tahun 1909. Gambar 2.1 berikut ini merupakan ilustrasi DVA yang dipasang pada suatu struktur dengan satu derajat kebebasan (SDOF).



Gambar 2.1 DVA yang Dipasang Pada Sistem 1 DOF

Pada Gambar 2.1 di atas, m adalah massa sistem utama, k adalah kekakuan sistem utama, c adalah redaman sistem utama, p adalah simpangan pada sistem utama, u adalah gaya eksitasi yang menyebabkan simpangan. Sedangkan pada bagian DVA, m_d merupakan massa DVA, k_d merupakan kekakuan DVA, c_d merupakan redaman DVA, sedangkan $u + u_d$ merupakan gaya eksitasi yang menyebabkan terjadinya simpangan pada DVA. Gambar 2.2 berikut ini merupakan DVA yang sedang menyimpang guna mereduksi getaran yang diteruskan menuju struktur utama.

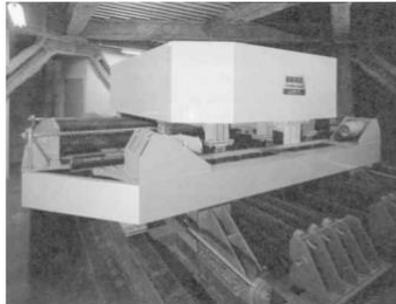


Gambar 2.2 Deformasi Posisi Pada DVA (Connor, 2003)

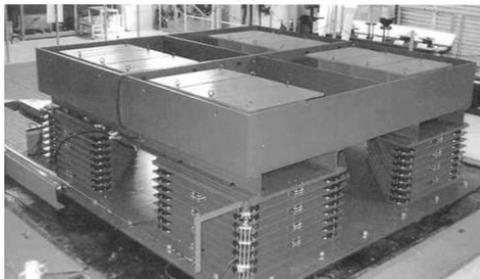
Gambar 2.3 bagian (a) merupakan DVA yang dipasang pada Chiba Port Tower, Jepang. Bangunan ini memiliki struktur besi dengan ketinggian 125 meter, dan berat 1950 ton. Struktur

bangunan yang tinggi menyebabkan bangunan dapat bergetar akibat angin, dan menghasilkan simpangan. Oleh sebab itu, DVA dipasang pada bagian atas bangunan, dan berhasil mereduksi sekitar 30 hingga 40% simpangan yang dihasilkan.

Versi awal dari DVA memiliki mekanisme yang kompleks, karena membutuhkan massa yang relatif besar, menempati ruang yang besar, dan biaya yang cukup mahal. Maka daripada itu dikembangkanlah versi terbaru dari DVA yaitu dengan menggunakan material berupa karet elastomer yang memiliki kemampuan *viscoelastic*. Sehingga menggunakan ruang yang lebih kecil, dapat bergerak ke berbagai arah (*multi-directional*), dan mudah dimodifikasi. Salah satu penerapan DVA jenis ini adalah pada Huis Ten Bosch Tower di Nagasaki, Jepang yang terdapat pada Gambar 2.3 bagian (b) (Connor, 2003).



(a)



(b)

Gambar 2.3 DVA yang Dipasang Pada (a) Chiba-Port Tower, (b) Huis Ten Bosch Tower, Nagasaki (Connor, 2003)

2.6 Metode Ruang Keadaan (*State Space*)

Keadaan (*state*) pada suatu sistem dinamik adalah sekumpulan minimum variabel (disebut variabel-variabel *state*) yang mana dengan mengetahui variabel-variabel tersebut pada saat $t = t_0$, dan *input* pada saat $t \geq t_0$, maka perilaku sistem pada saat $t \geq t_0$ dapat ditentukan. Sehingga, dapat diartikan bahwa variabel-variabel *state* pada suatu sistem dinamik merupakan sekumpulan minimum variabel yang dibutuhkan untuk menentukan keadaan (*state*) pada sistem dinamik tersebut. Bila dibutuhkan sejumlah “n” variabel *state* untuk mendeskripsikan secara utuh perilaku suatu sistem, maka “n” variabel tersebut dapat dianggap sebagai n komponen dari suatu vektor x.

Vektor keadaan (*state*) adalah suatu vektor yang menentukan secara unik keadaan (*state*) sistem $x(t)$ pada saat $t \geq t_0$ bila keadaan (*state*) pada saat $t = t_0$ diberikan, dan *input* $u(t)$ pada $t \geq t_0$ juga diberikan.

Metode ruang keadaan (*state space*) adalah ruang berdimensi n yang tersusun dari sumbu x_1, x_2, \dots, x_n . Setiap suatu keadaan (*state*), dapat terletak di suatu titik dalam ruang tersebut. Dalam analisa ruang keadaan, terdapat tiga variabel yaitu variabel *input*, variabel *output*, dan variabel *state* (Ogata, 2004). Jika persamaan sistem adalah linier, dan *time invariant*, dan dideskripsikan oleh n variabel *state*, r variabel *input*, dan m variabel *output*, maka persamaan *state*-nya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + b_{11}u_1 + b_{12}u_2 + \dots + b_{1r}u_r \\ \dot{x}_2 &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + b_{21}u_1 + b_{22}u_2 + \dots + b_{2r}u_r \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n + b_{n1}u_1 + b_{n2}u_2 + \dots + b_{nr}u_r\end{aligned}$$

Sedangkan persamaan untuk *output*-nya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}y_1 &= c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n + d_{11}u_1 + d_{12}u_2 + \dots + d_{1r}u_r \\ y_2 &= c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n + d_{21}u_1 + d_{22}u_2 + \dots + d_{2r}u_r \\ &\vdots \\ y_m &= c_{m1}x_1 + c_{m2}x_2 + \dots + c_{mn}x_n + d_{m1}u_1 + d_{m2}u_2 + \dots + d_{mr}u_r\end{aligned}$$

Pada persamaan di atas, koefisien a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , dan d_{ij} adalah konstan. Jika menggunakan matriks, maka persamaan ruang keadaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.13)$$

$$y = Cx + Du \quad (2.14)$$

Dimana

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_3 \end{bmatrix}$$

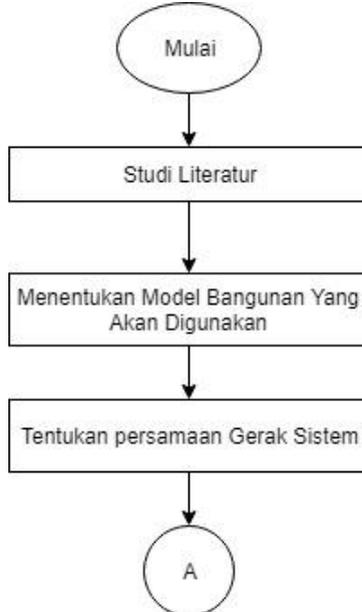
$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

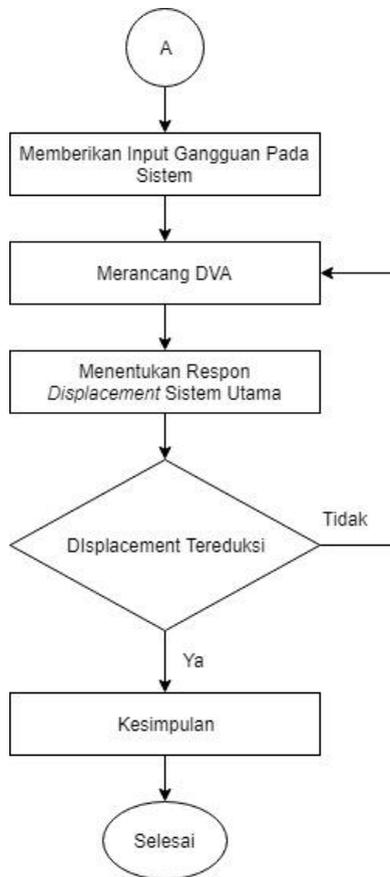
Pada Persamaan (2.13), dan Persamaan (2.14) di atas \dot{x} merupakan matriks turunan dari matriks x . Sedangkan u adalah matriks input, dan y adalah matriks output. A, B, C, dan D merupakan matriks variabel ruang keadaan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Penelitian tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur tentang teori-teori yang menunjang pengerjaan tugas akhir ini. Selanjutnya ditentukan model bangunan yang akan digunakan, serta persamaan geraknya. Kemudian dari persamaan geraknya, bangunan diberi *input* gangguan, sehingga didapatkan keadaan bangunan tanpa diberi DVA. Maka langkah selanjutnya adalah perancangan DVA. Setelah DVA selesai dirancang maka akan ditinjau lagi apakah dengan dipasangnya DVA simpangan bangunan sudah tereduksi sesuai dengan yang diharapkan. Apabila belum maka DVA akan dirancang lagi hingga memenuhi hasil yang diharapkan. Setelah DVA mampu mereduksi sesuai dengan yang diharapkan maka hasil yang didapatkan akan dianalisis, dan disimpulkan. Berikut ini merupakan diagram alir dari penelitian tugas akhir ini:



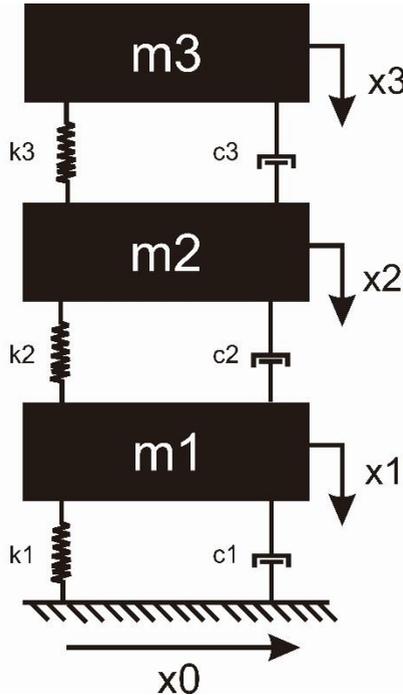


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.2 Pemodelan Sistem Tanpa DVA

Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah bangunan yang terdiri dari tiga lantai sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut m_1 , m_2 , dan m_3 merupakan massa dari masing-masing lantai bangunan. k_1 , k_2 , dan k_3 , merupakan kekakuan untuk masing-masing lantai, sedangkan c_1 , c_2 , dan c_3 adalah redaman untuk masing-masing lantai. *Input* yang

diterima oleh sistem utama disimbolkan dengan x_0 , sedangkan simpangan untuk masing-masing lantai adalah x_1 , x_2 , dan x_3 .



Gambar 3.2 Model Sistem Utama Bangunan

Berdasarkan Gambar 3.2 di atas, maka didapatkanlah persamaan gerak untuk masing-masing lantai secara berurutan dari lantai satu hingga lantai tiga adalah sebagai berikut

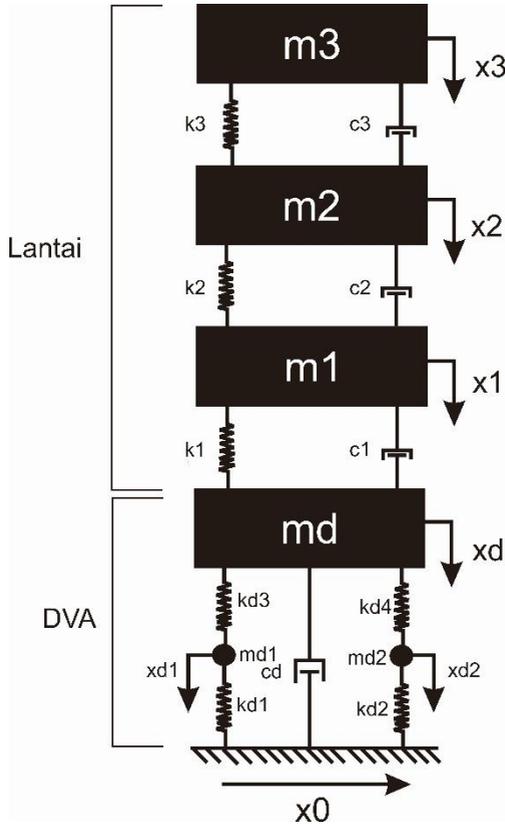
$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) + k_1(x_1 - x_0) + c_2(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2(x_1 - x_2) = 0 \quad (3.1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_2 - x_1) + c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_3(x_2 - x_3) = 0 \quad (3.2)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_3(x_3 - x_2) = 0 \quad (3.3)$$

3.3 Pemodelan Sistem Setelah Dipasang DVA

Pada sistem utama, DVA dipasang di bawah lantai pertama. Sehingga, ketika sistem utama dipasangkan dengan DVA, pemodelannya akan terlihat seperti Gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3 Pemodelan Sistem Utama dengan DVA

Berdasarkan Gambar 3.3 tersebut, maka persamaan gerak lantai akan berubah menjadi Persamaan (3.4), Persamaan (3.5), dan Persamaan (3.6) berikut, dimulai dari lantai satu hingga lantai tiga.

$$m_1\ddot{x}_1 + (c_1 + c_2)\dot{x}_1 - c_1\dot{x}_g - c_2\dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_1x_g - k_2x_2 = 0 \quad (3.4)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + (c_2 + c_3)\dot{x}_2 - c_2\dot{x}_1 - c_3\dot{x}_3 + (k_2 + k_3)x_2 - k_2x_1 - k_3x_3 = 0 \quad (3.5)$$

$$m_3\ddot{x}_3 + c_3\dot{x}_3 - c_3\dot{x}_2 + k_3x_3 - k_3x_2 = 0 \quad (3.6)$$

Sedangkan persamaan gerak untuk DVA dituliskan pada Persamaan (3.7), Persamaan (3.8), dan Persamaan (3.9) berikut ini:

$$m_g\ddot{x}_g + (c_1 + c_2)\dot{x}_g - c_g\dot{x}_0 - c_1\dot{x}_1 + (k_1 + k_{g3})x_g + (k_1 + k_{g4})x_g - k_{g3}x_{g1} - k_{g4}x_{g2} - k_1x_1 = 0 \quad (3.7)$$

$$m_{g1}\ddot{x}_{g1} + (k_{g1} + k_{g3})x_{g1} - k_{g1}x_0 - k_{g3}x_g = 0 \quad (3.8)$$

$$m_{g2}\ddot{x}_{g2} + (k_{g2} + k_{g4})x_{g2} - k_{g2}x_0 - k_{g4}x_g = 0 \quad (3.9)$$

Pada persamaan untuk DVA di atas, m_g , m_{g1} , dan m_{g2} merupakan massa untuk DVA utama, DVA sebelah kiri, dan DVA sebelah kanan seperti yang tertera pada Gambar 3.3. Sedangkan untuk k_{g1} , dan k_{g3} merupakan kekakuan untuk DVA sebelah kiri, dan k_{g2} serta k_{g4} merupakan kekakuan untuk DVA sebelah kanan. Selanjutnya, c_g merupakan redaman yang dimiliki oleh DVA.

3.4 Menentukan Parameter Bangunan

Sebelum menentukan parameter DVA, terlebih dahulu harus ditentukan parameter yang dimiliki bangunan. Setelah massa, kekakuan, redaman, dan frekuensi alami bangunan didapatkan, maka akan ditentukan parameter massa, kekakuan serta redaman untuk DVA yang memiliki frekuensi alami yang sama dengan bangunan.

3.4.1 Massa

Bangunan bertingkat ini merupakan bangunan yang terdiri dari tiga lantai yang memiliki massa total 902 ton. Dimana massa untuk masing-masing lantai adalah 388,59 ton untuk lantai pertama, 336,96 ton untuk lantai kedua, dan 176,69 ton untuk massa lantai ketiga.

3.4.2 Kekakuan

Kekakuan sistem utama merupakan kekakuan kolom pada masing-masing lantai. Hasil perhitungan kekakuan suatu lantai didapatkan dari hasil perkalian kekakuan kolom dengan jumlah kolom pada lantai tersebut. Untuk menentukan nilai kekakuan suatu kolom dapat menggunakan Persamaan (3.10) berikut ini:

$$K = 12 \frac{EI}{L^3} \quad (3.10)$$

$$E = 4700\sqrt{fc'} \quad (3.11)$$

$$I = \frac{1}{12} Bh^3 \quad (3.12)$$

Pada persamaan di atas, K merupakan kekakuan kolom dalam satuan kg/cm, I merupakan momen inersia dalam satuan cm⁴, L merupakan panjang kolom dalam satuan cm, B, dan h merupakan dimensi kolom dalam satuan cm², sedangkan E merupakan *modulus elastisitas* beton dalam satuan Mpa atau kg/cm². Pada bangunan kali ini, masing-masing lantai memiliki 25 kolom, sehingga setelah perhitungan dilakukan pada Lampiran A, maka didapatkan kekakuan untuk masing-masing lantai adalah 28475,448 kg/cm².

3.4.3 Redaman

Nilai konstanta redaman sistem utama didapatkan dari konstanta redaman masing-masing lantai. Sehingga untuk konstanta redaman masing-masing lantai dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3.13) berikut:

$$c = \xi \times 2\sqrt{km} \quad (3.13)$$

$$\mu = 2\xi \quad (3.14)$$

Menurut persamaan di atas, c merupakan redaman, ξ merupakan rasio redaman yang didapatkan dari hasil *loss factor* (μ) dari bahan yang digunakan (untuk beton nilai *loss factor*-nya adalah 0,15). Sedangkan k dan m merupakan kekakuan, dan massa bahan. Setelah dilakukan perhitungan pada Lampiran B, maka

diperoleh nilai redaman untuk masing-masing lantai dimulai dari lantai pertama adalah 9835991,892 Nm/s, 8529133,091 Nm/s, dan 4472378,104 Nm/s.

3.4.4 Frekuensi Alami Bangunan

Frekuensi alami bangunan harus diketahui agar dapat menentukan nilai parameter DVA yang akan dirancang nantinya. Untuk mendapatkannya, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan gerak bangunan pada Persamaan (3.1), Persamaan (3.2), dan Persamaan (3.3) dalam bentuk matriks.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dikarenakan kekakuan untuk setiap lantai adalah sama, maka matriksnya menjadi:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kemudian disubstitusikan dengan matriks persamaan gerak harmonik.

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} = -\omega^2 \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{bmatrix} -m_1\omega^2 & 0 & 0 \\ 0 & -m_2\omega^2 & 0 \\ 0 & 0 & -m_3\omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \cos(\omega t - \phi) \\ + \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & 2k & -k \\ 0 & k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \cos(\omega t - \phi) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Kemudian persamaan di atas dibagi dengan $\cos(\omega t - \phi)$, sehingga menjadi:

$$\begin{bmatrix} -m_1\omega^2 + 2k & -k & 0 \\ -k & -m_2\omega^2 + 2k & -k \\ 0 & -k & -m_3\omega^2 + k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan nilai frekuensi alami, matriks di atas harus ditentukan terlebih dahulu determinannya.

$$\left| \begin{bmatrix} -m_1\omega^2 + 2k & -k & 0 \\ -k & -m_2\omega^2 + 2k & -k \\ 0 & -k & -m_3\omega^2 + k \end{bmatrix} \right| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$-\omega^6 m_1 m_2 m_3 + \omega^4 m_2 m_3 2k + \omega^4 m_1 m_3 2k + \omega^4 m_1 m_2 k \\ - \omega^2 m_3 3k^2 - \omega^2 m_2 2k^2 - \omega^2 m_1 k^2 - k^3 = 0$$

Selanjutnya, persamaan hasil determinan di atas ditentukan akar-akarnya untuk ω , sehingga didapatkan nilai frekuensi alami untuk bangunan tersebut adalah 0,14 rad/s, 0,38 rad/s, dan 0,55 rad/s.

3.5 Menentukan Parameter DVA

Parameter DVA ditentukan dengan cara menyesuaikan frekuensi alaminya dengan frekuensi alami yang dimiliki oleh bangunan. Untuk menentukan persamaan frekuensi alaminya, persamaan gerak DVA yaitu Persamaan (3.7), Persamaan (3.8), dan Persamaan (3.9) dimodelkan dalam bentuk matriks.

$$\begin{bmatrix} m_{d1} & 0 & 0 \\ 0 & m_{d2} & 0 \\ 0 & 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{d1} \\ \ddot{x}_{d2} \\ \ddot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{d1} + k_{d3} & 0 & -k_{d3} \\ 0 & k_{d2} + k_{d4} & -k_{d4} \\ -k_{d3} & -k_{d4} & k_1 + k_{d3} + k_{d4} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_{d1} \\ x_{d2} \\ x_d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Karena $k_{d1} = k_{d2} = k_{d3} = k_{d4}$, $m_{d1} = m_{d2}$ dan Maka, matriksnya menjadi:

$$\begin{bmatrix} m_{d1} & 0 & 0 \\ 0 & m_{d1} & 0 \\ 0 & 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{d1} \\ \ddot{x}_{d2} \\ \ddot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 2k_{d1} & 0 & -k_{d1} \\ 0 & 2k_{d1} & -k_{d1} \\ -k_{d1} & -k_{d1} & k_1 + 2k_{d1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_{d1} \\ x_{d2} \\ x_d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kemudian disubstitusikan dengan matriks persamaan gerak harmonik.

$$\begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{Bmatrix} = -\omega^2 \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \cos(\omega t - \phi)$$

$$\begin{bmatrix} -m_{d1}\omega^2 & 0 & 0 \\ 0 & -m_{d1}\omega^2 & 0 \\ 0 & 0 & -m_d\omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \cos(\omega t - \phi) + \begin{bmatrix} 2k_{d1} & 0 & -k_{d1} \\ 0 & 2k_{d1} & -k_{d1} \\ -k_{d1} & -k_{d1} & k_1 + 2k_{d1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} \cos(\omega t - \phi) = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Kemudian persamaan di atas dibagi dengan $\cos(\omega t - \phi)$, sehingga menjadi:

$$\begin{bmatrix} -m_{d1}\omega^2 + 2k_{d1} & 0 & -k_{d1} \\ 0 & -m_{d1}\omega^2 + 2k_{d1} & -k_{d1} \\ -k_{d1} & -k_{d1} & -m_d\omega^2 + k_1 + 2k_{d1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan nilai a_1 , a_2 , dan a_3 , matriks di atas harus ditentukan dahulu determinannya.

$$\begin{vmatrix} -m_{d1}\omega^2 + 2k_{d1} & 0 & -k_{d1} \\ 0 & -m_{d1}\omega^2 + 2k_{d1} & -k_{d1} \\ -k_{d1} & -k_{d1} & -m_d\omega^2 + k_1 + 2k_{d1} \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$-\omega^6 m_{d1}^2 m_d + \omega^4 m_{d1}^2 k_1 + \omega^4 m_{d1} 4m_d k_{d1} + \omega^4 m_{d1}^2 2k_{d1} - \omega^2 m_{d1} k_{d1} 4k_1 - \omega^2 m_{d1} 6k_{d1}^2 + k_{d1}^2 4k_1 + k_{d1}^2 4m_d + 4k_{d1}^3 = 0$$

Selanjutnya, persamaan hasil determinan di atas ditentukan akar-akarnya untuk ω , sehingga diperoleh persamaan untuk mendapatkan frekuensi alami DVA tersebut, yaitu:

$$\frac{\sqrt{2}\sqrt{k_{d1}m_{d1}}}{m_{d1}} = 0 \quad (3.15)$$

$$\sqrt{\frac{\sqrt{k_1^2 m_{d1}^2 - 4k_1 k_{d1} m_d m_{d1} + 4k_1 k_{d1} m_{d1}^2 + 4k_{d1}^2 m_d^2 + 4k_{d1}^2 m_{d1}^2}}{2}}}{m_d m_{d1}} + \sqrt{\frac{\frac{k_1 m_{d1}}{2} + k_{d1} m_d + k_{d1} m_{d1}}{2}}{m_d m_{d1}}} = 0 \quad (3.16)$$

Pada penelitian tugas akhir ini, ada tiga macam material yang digunakan sebagai DVA, di antaranya adalah *Natural Rubber*, *Butyl Rubber*, dan *Neoprene*.

3.5.1 *Natural Rubber*

Natural Rubber merupakan jenis karet alami yang terdiri dari senyawa organik *isoprene*. *Natural Rubber* dipilih sebagai bahan untuk DVA ini dikarenakan mampu bertahan pada cakupan temperatur yang luas, yaitu pada suhu -55 hingga 70 °C (Kalle Hanhi, 2007). Kekakuan dari *Natural Rubber* didapatkan dari perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan frekuensi alaminya. Sedangkan untuk redaman dari *Natural Rubber*, didapatkan dari Persamaan (2.5). Karakteristik dari *Natural Rubber* yang digunakan dicantumkan pada Tabel 3.1 berikut, dan perhitungannya dicantumkan pada Lampiran C.

Tabel 3.1 Karakteristik *Natural Rubber*

	DVA Utama	DVA Samping
Dimensi	1,47 m x 1,47 m x 1,47 m	1,62 m x 1,62 m x 1,62 m
Massa	3000 kg	4000 kg
Modulus Elastisitas	0,0025 GPa	
Massa Jenis	930 kg/m ³	
Loss Factor	0,15	
Kekakuan	291,77 N/m	
Konstanta Redaman	171	

3.5.2 *Butyl Rubber*

Butyl Rubber adalah karet sintesis yang dihasilkan dari proses polarisasi *isobutylene* dan *isoprene*. *Butyl Rubber* dipilih sebagai salah satu bahan untuk DVA dikarenakan material ini merupakan karet sintesis yang mampu bertahan pada temperatur ekstrem, yaitu -73 hingga 100 °C (Kalle Hanhi, 2007). Kekakuan

dari *Butyl Rubber* didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan frekuensi alaminya. Sedangkan untuk redaman dari *Butyl Rubber*, didapatkan dengan menggunakan Persamaan (2.5). Karakteristik dari *Butyl Rubber* yang digunakan tercantum pada Tabel 3.2 berikut, dan perhitungannya dicantumkan pada Lampiran C.

Tabel 3.2 Karakteristik *Butyl Rubber*

	DVA Utama	DVA Samping
Dimensi	1,47 m x 1,47 m x 1,47 m	1,62 m x 1,62 m x 1,62 m
Massa	2962,4 kg	3956 kg
Modulus Elastisitas	0,002 GPa	
Massa Jenis	920 kg/m ³	
Loss Factor	0,4	
Kekakuan	288,53 N/m	
Konstanta Redaman	450,28	

3.5.3 *Neoprene*

Neoprene adalah karet sintetis yang terbuat dari proses polarisasi *chloroprene*. *Neoprene* dipilih sebagai salah satu material DVA karena memiliki kemampuan untuk bertahan hingga temperatur tinggi yaitu 130 °C, sehingga selain sebagai isolator vibrasi, material ini biasanya juga digunakan sebagai bahan material pakaian regu penyelamat (Kalle Hanhi, 2007). Kekakuan dari *Neoprene* didapatkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan frekuensi alaminya. Sedangkan redaman dari *Neoprene*, didapatkan dengan menggunakan Persamaan (2.5). Karakteristik dari *Neoprene* yang digunakan dicantumkan pada Tabel 3.3, dan perhitungannya dilampirkan pada Lampiran C.

Tabel 3.3 Karakteristik *Neoprene*

	DVA Utama	DVA Samping
Dimensi	1,47 m x 1,47 m x 1,47 m	1,62 m x 1,62 m x 1,62 m
Massa	3960,6 kg	5289 kg
Modulus Elastisitas	0,0007 GPa	
Massa Jenis	1230 kg/m ³	
Loss Factor	0,1	
Kekakuan	387,09 N/m	
Konstanta Redaman	150,5	

3.6 Perpindahan Maksimum

Perpindahan maksimum struktur gedung yang diizinkan diatur pada SNI 03-1726-2002 pasal 8.1.1 mengenai kinerja batas layan suatu struktur bangunan. Kinerja batas layan ditentukan agar mencegah pelelehan baja, kerusakan beton kerusakan non-struktur, dan ketidak-nyamanan penghuni.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan, maka perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.17) berikut:

$$\text{Kinerja batas layan} = \frac{0,03}{R} h \quad (3.17)$$

Pada persamaan di atas, R merupakan faktor reduksi bangunan, dan h merupakan tinggi tingkat tersebut. Namun, nilai dari perhitungan tersebut tidak boleh melebihi 30 mm. Apabila melebihi 30 milimeter, maka kinerja batas layan bangunan tersebut ditetapkan 30 milimeter.

Setiap lantai pada bangunan ini memiliki tinggi yang sama yaitu 4 meter (4000 milimeter), dan faktor reduksi yang sama, yaitu sebesar 8,5. Sehingga didapatkan perhitungan batas layan untuk masing-masing tingkat adalah 14,1 milimeter.

3.7 Pemodelan Ruang Keadaan (*State Space*)

Pemodelan ruang keadaan (*state space*) digunakan untuk menentukan respons simpangan bangunan oleh gempa sebesar 6, 7, dan 8 Ms ketika sebelum dan sesudah dipasang DVA. Pemodelan ini dilakukan pada perangkat lunak Mathcad 14.

3.7.1 Sebelum dipasang DVA

Sebelum dipasang DVA, persamaan yang dimodelkan pada *state space* adalah Persamaan (3.1), Persamaan (3.2), dan Persamaan (3.3). Persamaan tersebut diubah ke dalam bentuk matriks sesuai dengan aturan pada metode ruang keadaan (*state space*).

$$\begin{array}{ll}
 x_a = x_1 & \dot{x}_a = x_b \\
 x_b = \dot{x}_1 & \dot{x}_b = \ddot{x}_1 \\
 x_c = x_2 & \dot{x}_c = x_d \\
 x_d = \dot{x}_2 & \dot{x}_d = \ddot{x}_2 \\
 x_e = x_3 & \dot{x}_e = x_f \\
 x_f = \dot{x}_3 & \dot{x}_f = \ddot{x}_3
 \end{array}$$

Menggunakan perangkat lunak Mathcad 14, nilai pemisalan di atas dimodelkan dalam bentuk matriks. Pada matriks tersebut, $A(t)$ dan $B(t)$ merupakan variabel *state*. Nilai $u(t)$ merupakan matriks *input*, dan X_0 merupakan matriks keadaan awal.

$$A(t) := \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-k_1 - k_2}{m_1} & \frac{-c_1 - c_2}{m_1} & \frac{k_2}{m_1} & \frac{c_2}{m_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_2}{m_2} & \frac{c_2}{m_2} & \frac{-k_2 - k_3}{m_2} & \frac{-c_2 - c_3}{m_2} & \frac{k_3}{m_2} & \frac{c_3}{m_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{k_3}{m_3} & \frac{c_3}{m_3} & -\frac{k_3}{m_3} & -\frac{c_3}{m_3} \end{bmatrix}$$

$$B(t) := \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$u(t) := \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{c_1 x_{0d}(t) + k_1 x_0(t)}{m_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$X0 := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.7.2 Setelah dipasang DVA

Sebelum dipasang DVA, persamaan yang dimodelkan pada *state space* adalah Persamaan (3.4), Persamaan (3.5), Persamaan (3.6), Persamaan (3.7), Persamaan (3.8), dan Persamaan (3.9). Persamaan tersebut diubah ke dalam bentuk matriks sesuai dengan aturan pada metode ruang keadaan (*state space*).

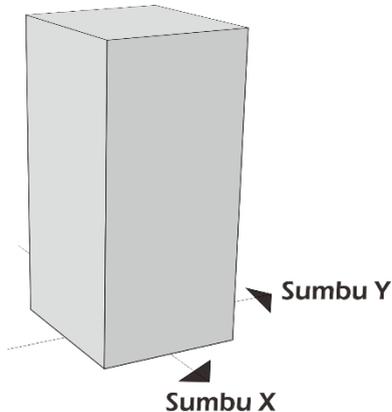
$$\begin{array}{ll} x_a = x_{g1} & \dot{x}_a = x_b \\ x_b = \dot{x}_{g1} & \dot{x}_b = \dot{x}_{g1} \\ x_c = x_{g2} & \dot{x}_c = x_d \\ x_d = \dot{x}_{g2} & \dot{x}_d = \dot{x}_{g2} \\ x_e = x_g & \dot{x}_e = x_f \\ x_f = \dot{x}_g & \dot{x}_f = \dot{x}_g \\ x_g = x_1 & \dot{x}_g = x_h \\ x_h = \dot{x}_1 & \dot{x}_h = \ddot{x}_1 \end{array}$$

Halaman ini memang dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Sinyal *Input*

Sinyal *input* yang digunakan adalah simpangan dari gempa bumi yang dipengaruhi oleh *magnitude surface* gempa. *Magnitude surface* merupakan getaran yang diterima bangunan dari permukaan tanah yang merambat pada arah sumbu x, dan y terhadap bangunan. Hal ini dapat diilustrasikan lewat Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 Arah Rambatan Gempa Terhadap Bangunan

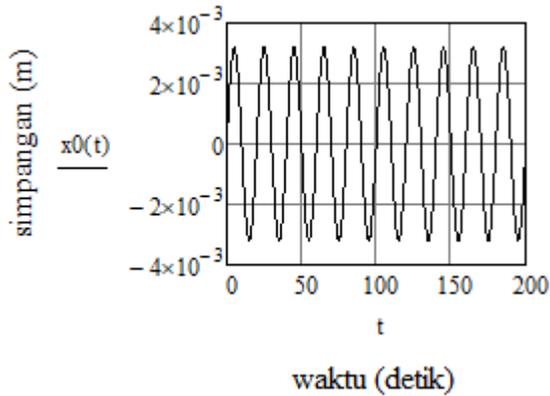
Pada tugas akhir ini, kekuatan *magnitude surface* yang digunakan adalah sebesar 6 Ms, 7 Ms, dan 8 Ms dengan masing-masing kekuatan memiliki periode 20 detik, dan nilai Δ adalah 2° . Persamaan umum simpangan dapat dituliskan sebagai berikut

$$x_0(t) = A \sin(\omega t) \quad (4.1)$$

Untuk sinyal *input* dengan kekuatan 6 Ms, 7 Ms, dan 8 Ms, grafik respons masing-masingnya digambarkan pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, dan Gambar 4.4. Pada grafik respons tersebut, sumbu

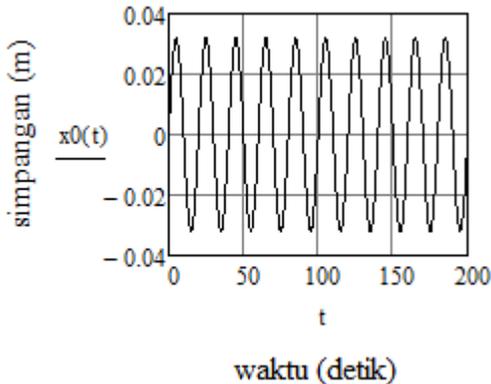
x merupakan waktu, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan. Untuk perhitungannya terdapat pada Lampiran D.

$$x_0(t) = 0,00318 \sin (0,314 t) \quad (4.2)$$



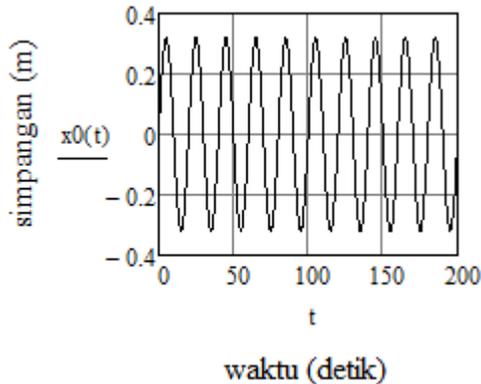
Gambar 4.2 Sinyal *Input* 6 Ms dengan Periode 20 detik

$$x_0(t) = 0,0318 \sin (0,314 t) \quad (4.3)$$



Gambar 4.3 Sinyal *Input* 7 Ms dengan Periode 20 detik

$$x_0(t) = 0,318 \sin (0,314 t) \quad (4.4)$$



Gambar 4.4 Sinyal *Input* 8 Ms dengan Periode 20 detik

4.2 Respons Bangunan Tanpa DVA

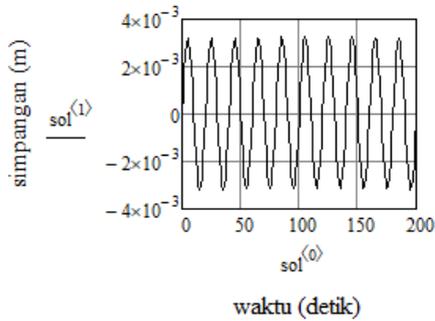
Sebelum ditambahkan DVA, pada bangunan dilakukan simulasi terlebih dahulu untuk mengetahui nilai amplitudo simpangan pada setiap lantai bangunan tersebut jika tidak menggunakan DVA. Hal ini agar dapat diketahui dalam keadaan mana saja bangunan tidak memenuhi aturan batas layan pada SNI 03-1726-2002.

4.2.1 Respons Bangunan untuk Kekuatan 6 Ms

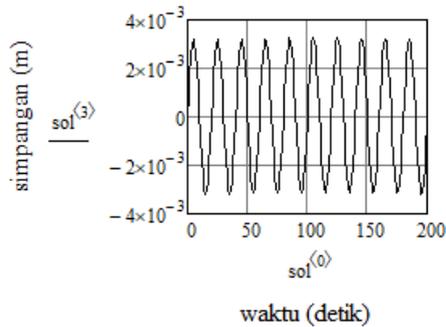
Untuk bangunan dengan kekuatan 6 Ms, nilai amplitudo dari simpangan setiap lantainya dapat dilihat pada Tabel 4.1, sedangkan grafik respons untuk setiap masing-masing lantainya dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.

Tabel 4.1 Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 6 Ms

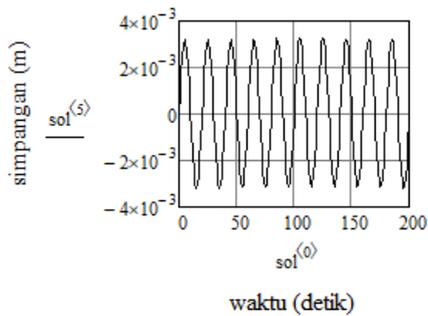
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	3,205	25
Kedua	3,202	25
Ketiga	3,2	25



Gambar 4.5 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 6 Ms



Gambar 4.6 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 6 Ms



Gambar 4.7 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 6 Ms

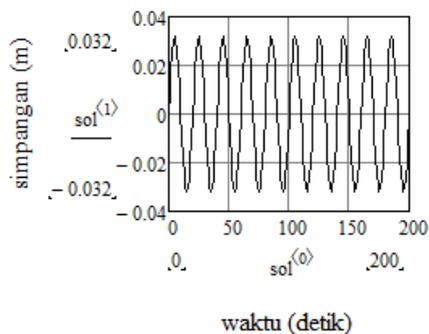
Berdasarkan syarat kinerja batas layan yang telah dihitung pada Sub-Bab 3.6, untuk bangunan ini setiap lantainya memiliki izin untuk perpindahan maksimum adalah 14,1 mm. Setelah dilakukan simulasi dengan memberi *input* berupa gempa 6 Ms pada bangunan diperoleh simpangan yang dihasilkan setiap lantai dimulai dari lantai pertama adalah sebesar 3,205 mm, 3,202 mm, dan 3,2 mm (seperti yang tertera pada Tabel 4.1). Sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan masih memenuhi kinerja batas layan yang diatur pada pasal 8.1.1 SNI 03-1726-2002.

4.2.2 Respons Bangunan untuk Kekuatan 7 Ms

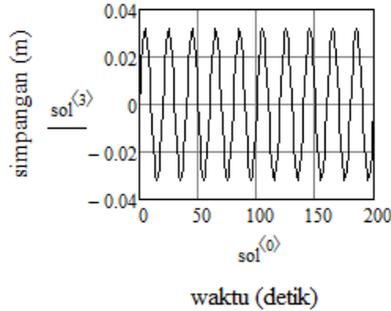
Untuk bangunan dengan kekuatan 7 Ms, nilai amplitudo dari simpangan setiap lantainya dapat dilihat pada Tabel 4.2, sedangkan grafik respons untuk setiap masing-masing lantainya dapat dilihat pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.

Tabel 4.2 Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 7 Ms

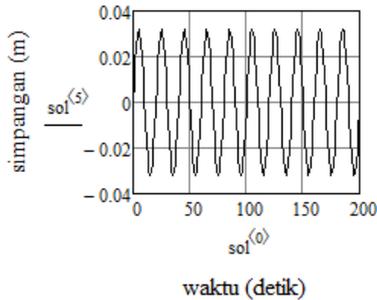
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	32	5
Kedua	32	5
Ketiga	32	5



Gambar 4.8 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 7 Ms



Gambar 4.9 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 7 Ms



Gambar 4.10 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 7 Ms

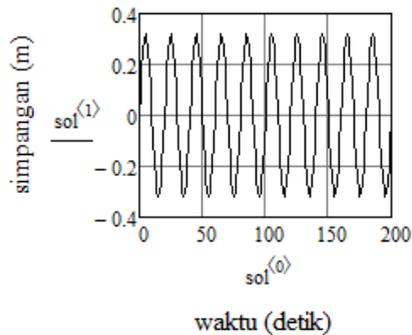
Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, untuk kekuatan gempa 7 Ms, disimpulkan bahwa bangunan tidak memenuhi syarat kinerja batas layan karena simpangan untuk masing-masing lantai diperoleh yaitu sebesar 32 mm, yang mana nilainya berada di atas standar yang telah ditentukan oleh SNI 03-1726-2002 (14,1 mm).

4.2.3 Respons Bangunan untuk Kekuatan 8 Ms

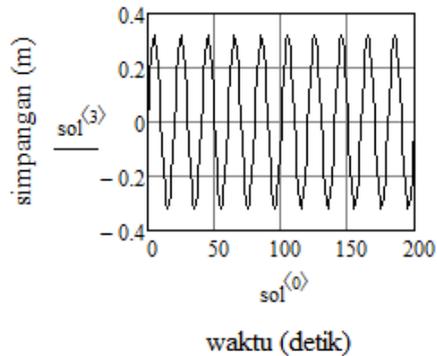
Untuk bangunan dengan kekuatan 8 Ms nilai amplitudo dari simpangan setiap lantainya dapat dilihat pada Tabel 4.3, sedangkan grafik respons untuk setiap masing-masing lantainya dapat dilihat pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.

Tabel 4.3 Nilai Amplitudo Perpindahan Setiap Lantai dengan Kekuatan Gempa 8 Ms

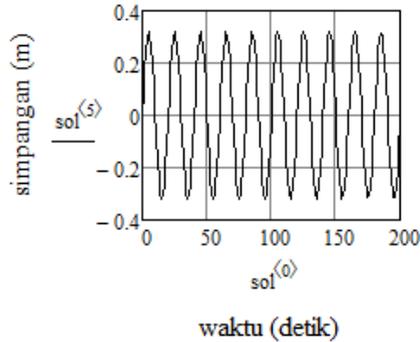
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	318	5
Kedua	317	5
Ketiga	317	5



Gambar 4.11 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Pertama dengan Kekuatan 8 Ms



Gambar 4.12 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Kedua dengan Kekuatan 8 Ms



Gambar 4.13 Respons Simpangan Tanpa DVA pada Lantai Ketiga dengan Kekuatan 8 Ms

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan untuk kekuatan gempa 8 Ms disimpulkan bahwa bangunan tidak memenuhi syarat kinerja batas layan karena simpangan untuk masing-masing lantai (dimulai dari lantai pertama) adalah sebesar 318 mm, 317 mm, dan 317 mm yang mana nilainya berada di atas standar yang telah ditentukan oleh SNI 03-1726-2002 (14,1 mm).

4.3 Respons Bangunan Setelah Diberi DVA

Pada penelitian tugas akhir ini, ada tiga jenis DVA yang digunakan, yaitu DVA dengan menggunakan material *natural rubber*, *butyl rubber*, dan juga *neoprene*. Ketiga jenis DVA di atas akan saling dibandingkan, dan masing-masing DVA memiliki dimensi yang sama.

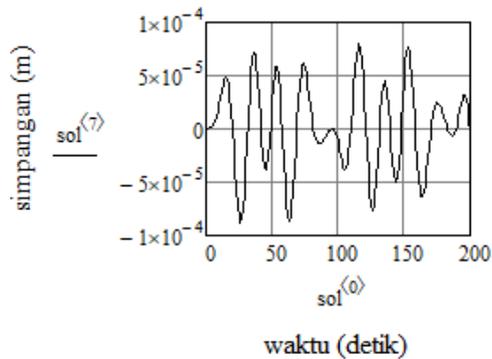
4.3.1 *Natural Rubber*

4.3.1.1 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 6 Ms

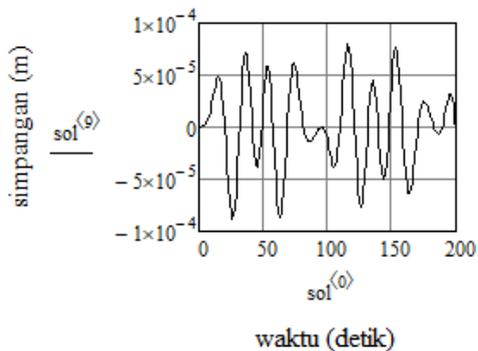
Bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *natural rubber*, dan diberi kekuatan gempa 6 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.4. Respons untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16, dimulai dari lantai pertama. Sumbu x merupakan waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan, dalam satuan mm.

Tabel 4.4 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan 6 Ms

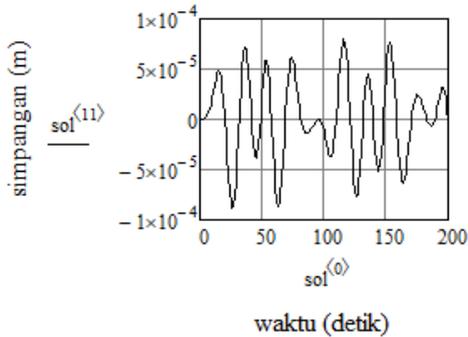
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	0,08769	26
Kedua	0,0876	26
Ketiga	0,08755	26



Gambar 4.14 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.15 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.16 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms

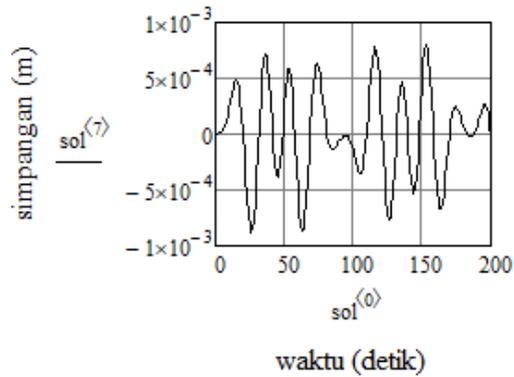
Berdasarkan Tabel 4.4, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 0,08769 mm, 0,0876 mm, dan 0,08755 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.1), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.13.

4.3.1.2 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 7 Ms

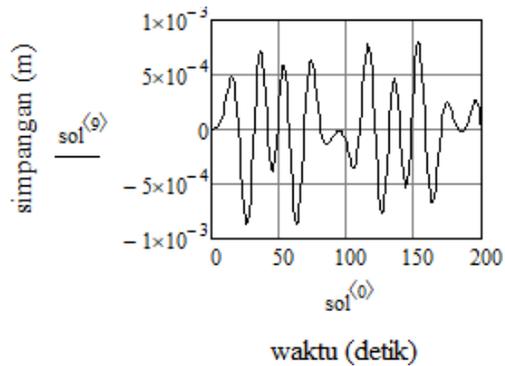
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Natural Rubber*, dan diberi kekuatan gempa 7 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.5. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan.

Tabel 4.5 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan 7 Ms

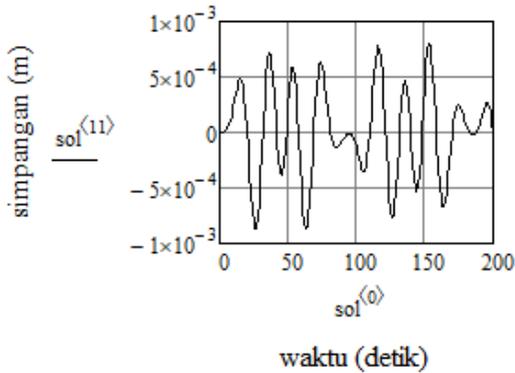
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	0,8757	26
Kedua	0,8747	26
Ketiga	0,842	26



Gambar 4.17 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.18 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.19 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms

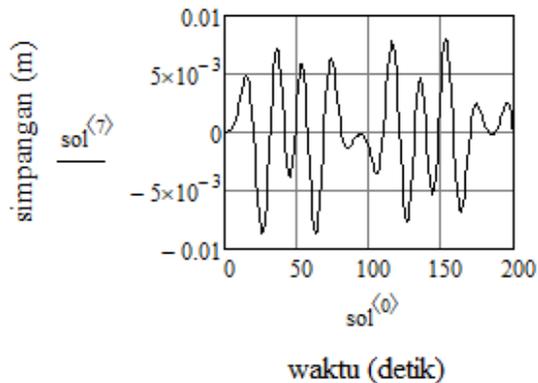
Berdasarkan Tabel 4.5, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 0,8757 mm, 0,8747 mm, dan 0,842 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.2), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA, simpangan yang dihasilkan berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.13.

4.3.1.3 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 8 Ms

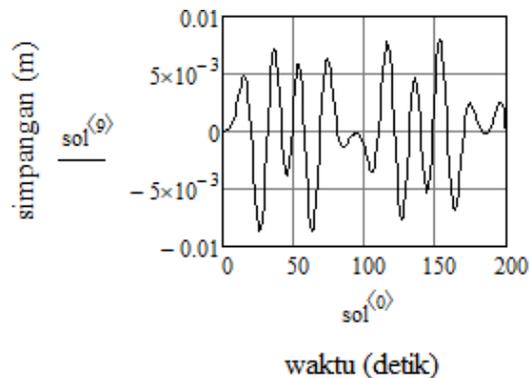
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Natural Rubber*, dan diberi kekuatan gempa 8 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.6. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.20, Gambar 4.21, dan Gambar 4.22, dimulai dari lantai pertama. Sumbu x merupakan waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan, dalam satuan mm.

Tabel 4.6 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan 8 Ms

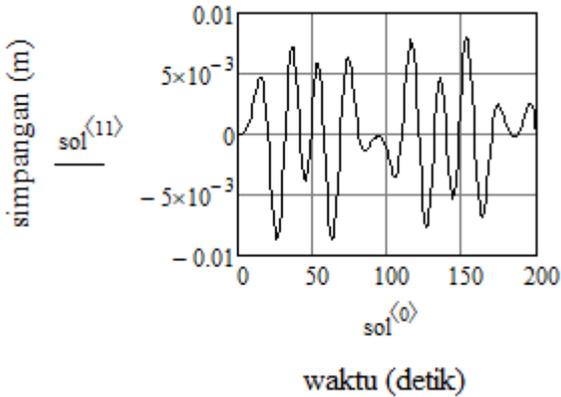
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	8,742	26
Kedua	8,733	26
Ketiga	8,727	26



Gambar 4.20 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.21 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.22 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Natural Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms

Berdasarkan Tabel 4.6, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 8,742 mm, 8,733 mm, dan 8,727 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.3), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.13.

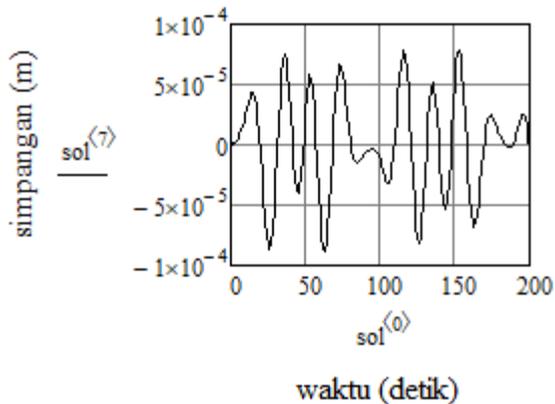
4.3.2 *Butyl Rubber*

4.3.2.1 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 6 Ms

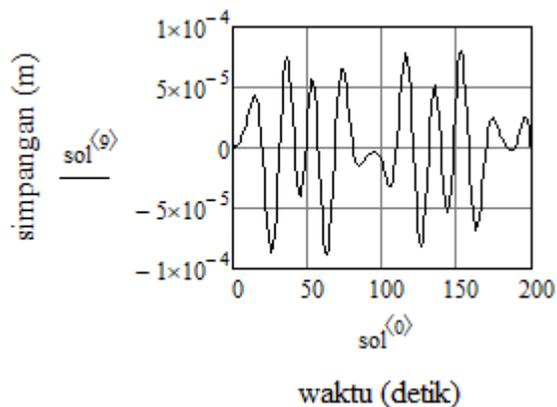
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Butyl Rubber*, dan diberi kekuatan gempa 6 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.7. Respons untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan dalam satuan milimeter.

Tabel 4.7 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan 6 Ms

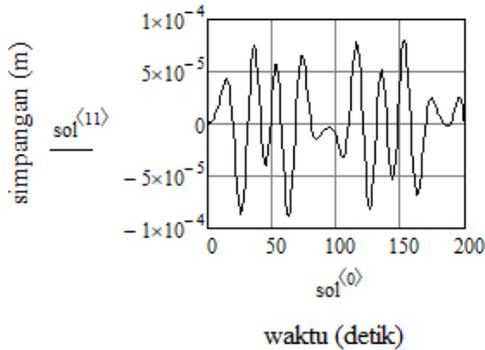
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	0,08586	26
Kedua	0,08589	26
Ketiga	0,08592	26



Gambar 4.23 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.24 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.25 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms

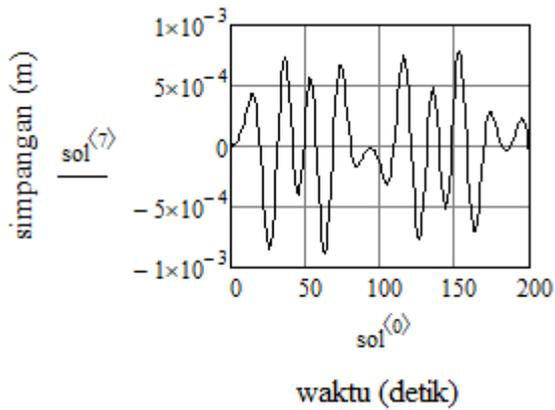
Berdasarkan Tabel 4.7, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 0,08586 mm, 0,08589 mm, dan 0,08592 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.1), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.14.

4.3.2.2 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 7 Ms

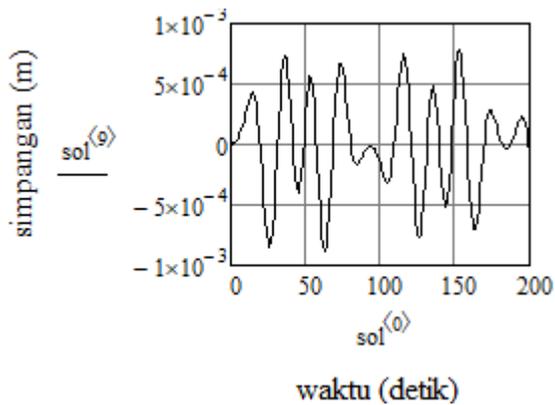
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Butyl Rubber*, dan diberi kekuatan gempa 7 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.8. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.26, Gambar 4.27, dan Gambar 4.28, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam satuan detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan dalam satuan milimeter.

Tabel 4.8 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan 7 Ms

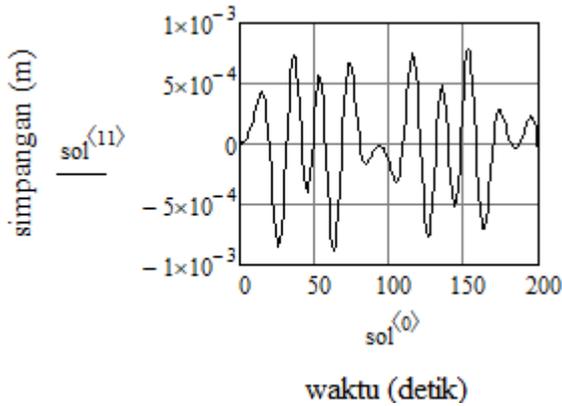
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	0,851	26
Kedua	0,851	26
Ketiga	0,851	26



Gambar 4.26 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.27 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.28 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms

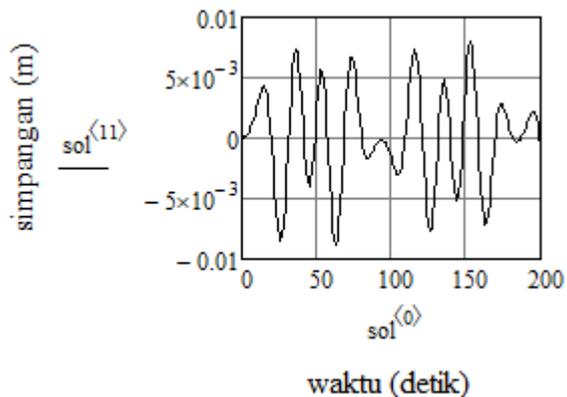
Berdasarkan Tabel 4.8, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 0,851 mm, 0,851 mm, dan 0,851 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.2), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA, berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.14.

4.3.2.3 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 8 Ms

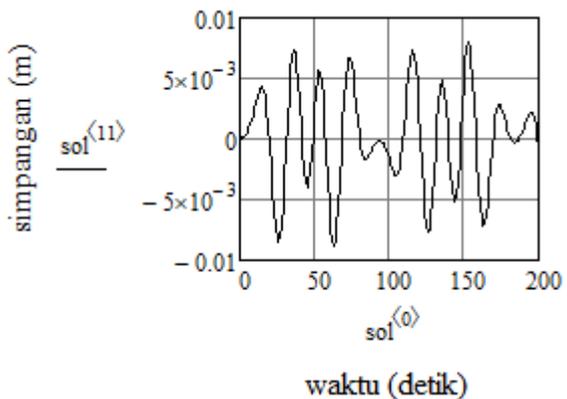
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Butyl Rubber*, dan diberi kekuatan gempa 8 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.9. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.29, Gambar 4.30, dan Gambar 4.31, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan.

Tabel 4.9 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan 8 Ms

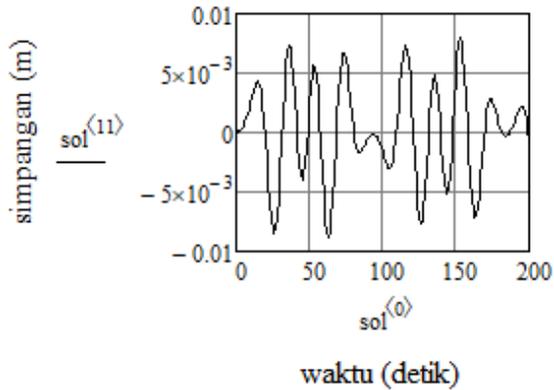
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	8,5	26
Kedua	8,5	26
Ketiga	8,5	26



Gambar 4.29 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.30 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.31 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material DVA *Butyl Rubber* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms

Berdasarkan Tabel 4.9, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 8,5 mm, 8,5 mm, dan 8,5 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.3), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.14.

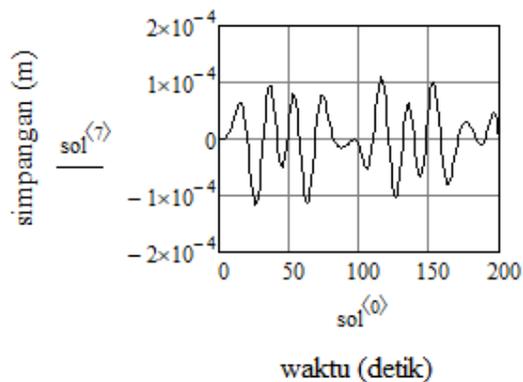
4.3.3 *Neoprene*

4.3.3.1 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 6 Ms

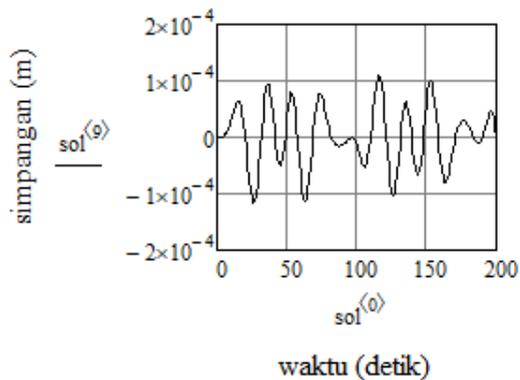
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Neoprene*, dan diberi kekuatan gempa 6 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.10. Respons untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Gambar 4.32, Gambar 4.33, dan Gambar 4.34, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan dalam satuan milimeter.

Tabel 4.10 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Neoprene* dengan Kekuatan 6 Ms

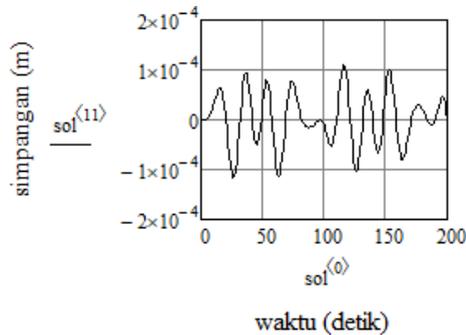
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	0,1168	26
Kedua	0,1166	26
Ketiga	0,1165	26



Gambar 4.32 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.33 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms



Gambar 4.34 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 6 Ms

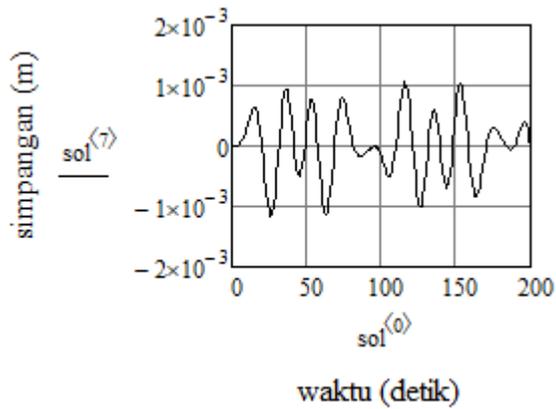
Berdasarkan Tabel 4.10, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 0,1168 mm, 0,1166 mm, dan 0,1165 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.1), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.15.

4.3.3.2 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 7 Ms

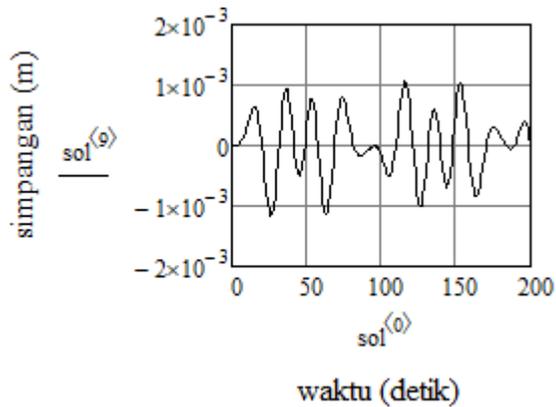
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Neoprene*, dan diberi kekuatan gempa 7 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.11. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.35, Gambar 4.36, dan Gambar 4.37, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan.

Tabel 4.11 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Neoprene* dengan Kekuatan 7 Ms

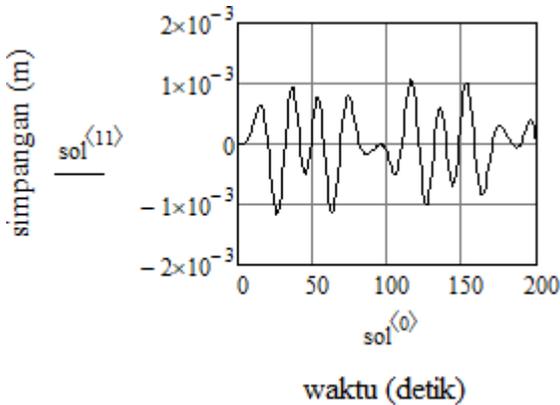
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	1,159	26
Kedua	1,158	26
Ketiga	1.157	26



Gambar 4.35 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.36 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms



Gambar 4.37 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 7 Ms

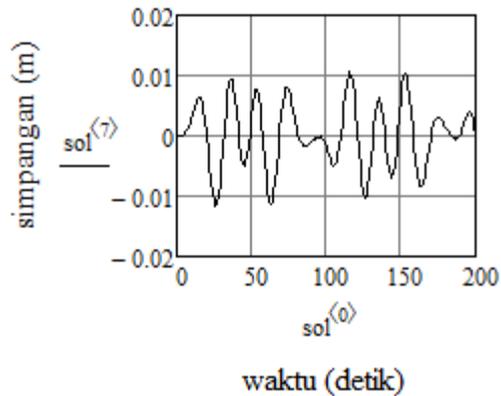
Berdasarkan Tabel 4.11, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 1,159 mm, 1,158 mm, dan 1,157 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.2), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.15.

4.3.3.3 Respons Bangunan untuk Kekuatan Gempa 8 Ms

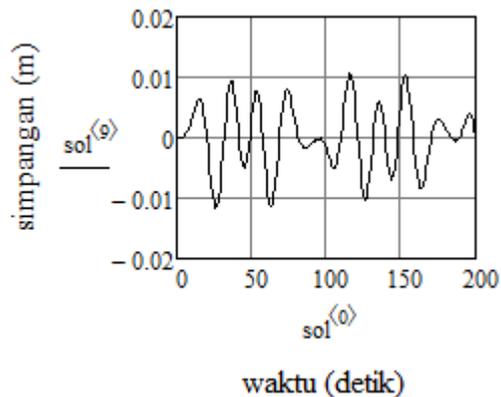
Untuk bangunan yang telah dipasang DVA dengan material *Neoprene*, dan diberi kekuatan gempa 8 Ms, nilai amplitudonya dapat dilihat pada Tabel 4.12. Respons untuk masing-masing lantai bangunan dapat dilihat pada Gambar 4.38, Gambar 4.39, dan Gambar 4.40, dimulai dari lantai pertama. Dimana sumbu x merupakan waktu dalam detik, sedangkan sumbu y merupakan simpangan yang dihasilkan dalam satuan milimeter.

Tabel 4.12 Nilai Amplitudo Perpindahan Bangunan yang dipasang DVA *Neoprene* dengan Kekuatan 8 Ms

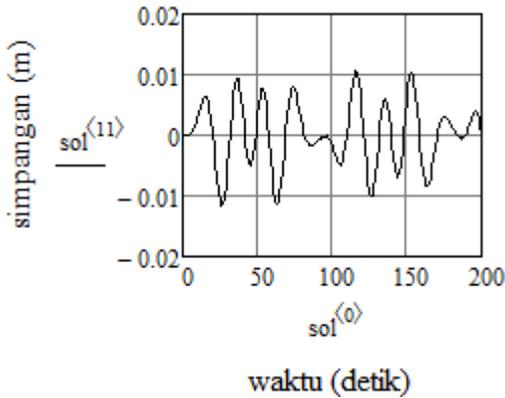
Lantai	Amplitudo (mm)	Waktu ke- (detik)
Pertama	12	26
Kedua	12	26
Ketiga	12	26



Gambar 4.38 Respons Lantai Pertama Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.39 Respons Lantai Kedua Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms



Gambar 4.40 Respons Lantai Ketiga Bangunan dengan Material *Neoprene* dengan Kekuatan Gempa 8 Ms

Berdasarkan Tabel 4.12, amplitudo simpangan terdapat pada detik 26 yaitu sebesar 12 mm, 12 mm, dan 12 mm, yang mana apabila dibandingkan dengan tanpa DVA (lihat Tabel 4.3), terjadi penurunan yang sangat signifikan pada setiap lantainya. Selain itu, simpangan bangunan yang sebelumnya berada di atas kinerja syarat batas layannya, setelah menggunakan DVA berhasil tereduksi hingga berada di bawah syarat batas layannya. Besarnya penurunan amplitudo simpangan untuk setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 4.15.

4.4 Penurunan Nilai Amplitudo

Setelah dilakukan pemasangan DVA, terjadi penurunan nilai amplitudo untuk simpangan masing-masing lantai. Besarnya nilai penurunan amplitudo tersebut didapatkan dari hasil perhitungan selisih antara simpangan bangunan saat sebelum dipasang DVA, dan setelah dipasang DVA. Berikut ini merupakan tabel penurunan nilai amplitudo masing-masing lantai dengan menggunakan DVA dengan material berbeda

Tabel 4.13 Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA *Natural Rubber*

Kekuatan	Lantai	Amplitudo Sebelum (mm)	Amplitudo Setelah (mm)	Penurunan (mm)	Persen (%)
6 Ms	1	3,205	0,08769	3,11731	97,26
	2	3,202	0,0876	3,1144	97,26
	3	3,2	0,08755	3,11245	97,26
7 Ms	1	32	0,8757	31,1243	97,26
	2	32	0,8747	31,1253	97,26
	3	32	0,842	31,158	97,36
8 Ms	1	318	8,742	309,258	97,25
	2	317	8,733	308,267	97,24
	3	317	8,727	307,273	96,93
Rata-Rata					97,23

Tabel 4.14 Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA *Butyl Rubber*

Kekuatan	Lantai	Amplitudo Sebelum (mm)	Amplitudo Setelah (mm)	Penurunan (mm)	Persen (%)
6 Ms	1	3,205	0,08586	3,11914	97,32
	2	3,202	0,08589	3,11611	97,31
	3	3,2	0,08592	3,11408	97,31
7 Ms	1	32	0,851	31,149	97,34
	2	32	0,851	31,149	97,34
	3	32	0,851	31,149	97,34
8 Ms	1	318	8,5	309,5	97,32
	2	317	8,5	308,5	97,31
	3	317	8,5	308,5	97,31
Rata-Rata					97,32

Tabel 4.15 Penurunan Nilai Amplitudo dengan Menggunakan DVA *Neoprene*

Kekuatan	Lantai	Amplitudo Sebelum (mm)	Amplitudo Setelah (mm)	Penurunan (mm)	Persen (%)
6 Ms	1	3,205	0,1168	3,0882	96,35
	2	3,202	0,1166	3,0854	96,35
	3	3,2	0,1165	3,0835	96,35
7 Ms	1	32	1,159	30,841	96,37
	2	32	1,158	30,842	96,38
	3	32	1,157	30,843	96,38
8 Ms	1	318	12	306	96,22
	2	317	12	305	96,21
	3	317	12	305	96,21
Rata-Rata					96,31

Perhitungan penurunan persentase amplitudo didapatkan dengan menggunakan Persamaan (4.5), dimana A_1 adalah amplitudo pada lantai sebelum dipasang DVA, dan A_2 adalah amplitudo pada lantai setelah dipasang DVA.

$$\text{Persentase} = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100 \% \quad (4.5)$$

Berdasarkan Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15 di atas, didapatkan bahwa presentasi penurunan amplitudo paling besar adalah dengan menggunakan material *Butyl Rubber*, yaitu sebesar 97,32 %, diikuti *Natural Rubber* sebesar 97,23 %, dan *Neoprene* sebesar 96,31 %.

4.5 Mode Shape

Mode shape adalah pola getaran tertentu yang dimiliki oleh suatu sistem pada frekuensi tertentu. *Mode shape* juga dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk membuktikan bahwa DVA mampu mereduksi getaran yang diterima bangunan. Untuk mereduksi getaran yang diterima bangunan, *mode shape* DVA

harus memiliki arah yang berlawanan dengan yang dimiliki oleh bangunan, sehingga tidak terjadi resonansi antara keduanya. Setelah dilakukan perhitungan (dilampirkan pada Lampiran G), maka didapatkan *mode shape* untuk bangunan dan DVA dengan masing-masing materialnya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.16 *Mode Shape* Bangunan, dan DVA

Bangunan	DVA		
	Natural Rubber	Butyl Rubber	Neoprene
-0.08	0.707	0.707	0.707
0.8	0.707	0.707	0.707
-0.59	0.014	0.014	0.019

Sehingga dapat disimpulkan bahwa DVA dapat mereduksi simpangan pada bangunan karena memiliki arah vektor yang berbeda dengan bangunan.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa, kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini adalah

- a. Semua jenis DVA mempunyai dimensi yang sama yaitu 1,47 m x 1,47 m x 1,47 untuk DVA utama, dan 1,62 m x 1,62 m x 1,62 m untuk DVA samping. DVA dengan material *Natural Rubber*, menggunakan DVA utama dengan massa 3000 kg, DVA samping dengan 4000 kg, nilai kekakuannya 291,77 N/m dan redamannya 171. Untuk DVA dengan material *Butyl Rubber*, menggunakan DVA utama dengan massa 2962,4 kg, DVA samping 3956 kg, nilai kekakuannya 288,53 N/m, dan redamannya 450,28. Untuk DVA dengan material *Neoprene*, menggunakan DVA utama dengan massa 3960,6 kg, DVA samping dengan 5289 kg, nilai kekakuannya 397,09 N/m, dan redamannya 150,5.
- b. Nilai persentase reduksi paling besar adalah DVA yang menggunakan material *Butyl Rubber*, yaitu 97,32 %, diikuti *Natural Rubber* sebesar 97,23 %, kemudian *Neoprene* sebesar 96,31 %.
- c. Berdasarkan SNI 03-1726-2002, bangunan ini tidak memenuhi syarat batas layan yang terdapat pada pasal 8.1.1 jika menerima *input* respons berupa *magnitude surface* dengan kekuatan 7 Ms, dan 8 Ms. Namun setelah dipasang DVA, simpangan yang dihasilkan berhasil direduksi hingga berada di bawah nilai batas layannya, yaitu 14,1 mm untuk masing-masing lantai.
- d. Salah satu parameter lain yang membuktikan bahwa DVA yang dirancang mampu mereduksi simpangan bangunan adalah *mode shape* yang berlawanan arah antara bangunan, dan DVA.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, dilakukan peredaman getaran yang disebabkan oleh gempa bumi pada bangunan dengan menggunakan *Dynamic Vibration Absorber* (DVA) yang merupakan peredam pasif, sehingga tidak mampu menyesuaikan parameter yang dimilikinya dengan kekuatan gempa yang diterima. Oleh karena itu, saran untuk penelitian selanjutnya adalah merancang peredam getaran yang bersifat aktif, sehingga mampu menyesuaikan parameter-parameter yang dimilikinya dengan kekuatan gempa yang diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2018). *BMKG Repository*. (BMKG) Dipetik Desember 28, 2018, dari <http://repogempa.bmkg.go.id/>
- Connor, J. J. (2003). *Introduction to Structural Motion Control*. New Jersey: Prentice Hall.
- FEMA. (2006). *Risk Management Series: Designing fo Earthquakes*. California: US Departement of Homeland Security.
- Firmansyah, F. (2012). *Kajian Kekakuan (Stiffness), dan Keuletan (Toughness) Beton Normal Berserat Galvalum AZ150*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknk Universitas Sebelas Maret.
- Kalle Hanhi, M. P.-M. (2007). *Elastometric Materials*. Tampere: Tampere Uniersity of Technology.
- Lumantarna, B. (2001). *Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa*. Surabaya: LPPM Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Naryanto, H. S. (2008). Analisa Potensi Kegempaan dan Tsunami di Kawasan Pantai Barat Lampung Kaitannya dengan Mitigasi dan Penataan Kawasan. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 10, 71.
- Ogata, K. (2004). *System Dynamics*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ozer, H. O., & Yagiz, N. (2012). Dynamic Absorber Design for Experimental Two Storey Building Model. *AIP* (hal. 2). Istanbul: Istanbul University.
- Rajasekaran, S. (2009). *Structural Dynamics of Earthquake Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vbrations*. New Jersey: Prentice Hall.

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN A PERHITUNGAN KEKAKUAN LANTAI

Nilai perhitungan kekakuan suatu lantai didapatkan dari nilai kekakuan kolom tersebut dikali jumlah kolom pada lantai tersebut.

Diketahui bahwa:

Mutu beton yang digunakan adalah K-250 ($f'c' = 210 \text{ kg/cm}^2$)

Dimensi kolom adalah 250 mm x 350 mm

Ketinggian lantai 4 meter

Sehingga,

$$E = 4700\sqrt{f'c'} = 4700\sqrt{210} = 68009 \text{ Mpa atau kg/cm}^2$$

$$I = \frac{1}{12}Bh^3 = \frac{1}{12}25 \times 35^3 = 89322,91 \text{ cm}^4$$

$$K = 12 \frac{EI}{L^3} = 12 \frac{68009 \times 89322,91}{400^4} = 1139,01 \text{ kg/cm}$$

Setiap lantai memiliki jumlah kolom yang sama yaitu 25, sehingga kekakuan untuk setiap lantai adalah $1139,01 \text{ kg/cm} \times 25 = 28475,448 \text{ kg/cm}$

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN REDAMAN LANTAI

Diketahui bahwa:

Nilai loss factor (μ) beton sebesar 0,15.

Massa bangunan lantai 1 sebesar 388590 kg.

Massa bangunan lantai 2 sebesar 336960 kg.

Massa bangunan lantai 3 sebesar 176690 kg.

Sehingga,

$$\xi = \frac{\mu}{2} = \frac{0,15}{2} = 0,075$$

B.1 Redaman Lantai Pertama

$$c = \xi \times 2\sqrt{km}$$
$$c = 0,075 \times 2\sqrt{28475,448 \times 388590}$$
$$c = 9835991,892$$

B.2 Redaman Lantai Kedua

$$c = \xi \times 2\sqrt{km}$$
$$c = 0,075 \times 2\sqrt{28475,448 \times 336960}$$
$$c = 8529133,091$$

B.3 Redaman Lantai Ketiga

$$c = \xi \times 2\sqrt{km}$$
$$c = 0,075 \times 2\sqrt{28475,448 \times 176690}$$
$$c = 4472378,104$$

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN C KARAKTERISTIK MATERIAL DVA

C.1 Natural Rubber

Massa DVA utama:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 930 \times 1,47 \times 1,47 \times 1,47$$

$$m = 3000 \text{ kg}$$

Massa DVA samping:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 930 \times 1,62 \times 1,62 \times 1,62$$

$$m = 4000 \text{ kg}$$

Kekakuan (perhitungan menggunakan software Mathcad 14):

$$w = \sqrt{\frac{\sqrt{k_1^2 \cdot m_{d1}^2 - 4 \cdot k_1 \cdot k_{d1} \cdot m_d \cdot m_{d1}} + 4 \cdot k_1 \cdot k_{d1} \cdot m_{d1}^2 + 4 \cdot k_{d1}^2 \cdot m_d^2 + 4 \cdot k_{d1}^2 \cdot m_{d1}^2}{2} + \frac{k_1 \cdot m_{d1}}{2} + k_{d1} \cdot m_d + k_{d1} \cdot m_{d1}}{m_d \cdot m_{d1}}}$$

Setelah meng-*input* nilai frekuensi alami (ω) sebesar 0,38, kekakuan bangunan (k_1) sebesar 28475.448, massa DVA utama (m_d) sebesar 3000, dan massa DVA samping (m_{d1}) sebesar 4000. Maka didapatkan nilai kekakuan sebesar 291,77 N/m

Redaman:

$$2\xi\omega_o = \frac{c}{m}$$

$$2 \times \frac{0,15}{2} \times 0,38 = \frac{c}{3000}$$

$$c = 171$$

C.2 Butyl Rubber

Massa DVA Utama:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 920 \times 1,47 \times 1,47 \times 1,47$$

$$m = 2962,4 \text{ kg}$$

Massa DVA samping:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 920 \times 1,62 \times 1,62 \times 1,62$$

$$m = 3956 \text{ kg}$$

Kekakuan (perhitungan menggunakan software Mathcad 14):

$$w = \sqrt{\frac{\sqrt{k_1^2 \cdot md_1^2 - 4 \cdot k_1 \cdot kd_1 \cdot md \cdot md_1 + 4 \cdot k_1 \cdot kd_1 \cdot md_1^2 + 4 \cdot kd_1^2 \cdot md^2 + 4 \cdot kd_1^2 \cdot md_1^2} + \frac{k_1 \cdot md_1}{2} + kd_1 \cdot md + kd_1 \cdot md_1}{2 \cdot md \cdot md_1}}$$

Setelah meng-*input* nilai frekuensi alami (ω) sebesar 0,38, kekakuan bangunan (k_1) sebesar 28475.448, massa DVA utama (md) sebesar 2962,4, dan massa DVA samping (md_1) sebesar 3956. Maka didapatkan nilai kekakuan sebesar 288,53 N/m

Redaman:

$$2\xi\omega_o = \frac{c}{m}$$

$$2 \times \frac{0,4}{2} \times 0.38 = \frac{c}{2962,4}$$

$$c = 450,28$$

C.3 Neoprene

Massa DVA Utama:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 1230 \times 1,47 \times 1,47 \times 1,47$$

$$m = 3960,6 \text{ kg}$$

Massa DVA samping:

$$m = \rho \times \text{volume}$$

$$m = 930 \times 1,62 \times 1,62 \times 1,62$$

$$m = 5289 \text{ kg}$$

Kekakuan (perhitungan menggunakan software Mathcad 14):

$$w = \sqrt{\frac{\sqrt{k_1^2 \cdot m d_1^2 - 4 \cdot k_1 \cdot k d_1 \cdot m d \cdot m d_1 + 4 \cdot k_1 \cdot k d_1 \cdot m d_1^2 + 4 \cdot k d_1^2 \cdot m d^2 + 4 \cdot k d_1^2 \cdot m d_1^2}}{2} + \frac{k_1 \cdot m d_1}{2} + k d_1 \cdot m d + k d_1 \cdot m d_1}}{m d \cdot m d_1}}$$

Setelah meng-*input* nilai frekuensi alami (ω) sebesar 0,38, kekakuan bangunan (k_1) sebesar 28475.448, massa DVA utama (m) sebesar 3960,6, dan massa DVA samping ($m d_1$) sebesar 5289. Maka didapatkan nilai kekakuan sebesar 387,09 N/m

Redaman:

$$2\xi\omega_o = \frac{c}{m}$$

$$2 \times \frac{0,1}{2} \times 0.38 = \frac{c}{3960,6}$$

$$c = 150,5$$

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN D
PERHITUNGAN SINYAL INPUT

$$\Delta = 2^{\circ} = 222,22 \text{ km}$$

$$T = 20 \text{ detik}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{20} = 0,314$$

D.1 Input 6 SR, Periode 20 detik

$$M_S = \log \left[\frac{A}{T} \right]_{max} + 1,656 \log(\Delta) + 3,3$$

$$6 = \log \left[\frac{A}{20} \right] + 1,656 \log 2 + 3,3$$

$$\log \left[\frac{A}{20} \right] = 2,201$$

$$\frac{A}{20} = 159,03$$

$$A = 3180,6 \mu m$$

$$A = 0,00318 \text{ m}$$

D.2 Input 7 SR, Periode 20 detik

$$M_S = \log \left[\frac{A}{T} \right]_{max} + 1,656 \log(\Delta) + 3,3$$

$$7 = \log \left[\frac{A}{20} \right] + 1,656 \log 2 + 3,3$$

$$\log \left[\frac{A}{20} \right] = 3,201$$

$$\frac{A}{20} = 1590,35$$

$$A = 31807 \mu m$$

$$A = 0,031807 m$$

D.3 Input 8 SR, Periode 20 detik

$$M_s = \log \left[\frac{A}{T} \right]_{max} + 1,656 \log(\Delta) + 3,3$$

$$8 = \log \left[\frac{A}{20} \right] + 1,656 \log 2 + 3,3$$

$$\log \left[\frac{A}{20} \right] = 4,201$$

$$\frac{A}{20} = 15903,55$$

$$A = 318071 \mu m$$

$$A = 0,318 m$$

LAMPIRAN E DATA RESPON PERPINDAHAN BANGUNAN TANPA DVA

E.1 *Input Kekuatan Gempa Sebesar 6 Ms*

	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	$8.94 \cdot 10^{-4}$	$9.579 \cdot 10^{-4}$	$8.361 \cdot 10^{-4}$	$9.631 \cdot 10^{-4}$	$7.981 \cdot 10^{-4}$
2	2	$1.79 \cdot 10^{-3}$	$8.243 \cdot 10^{-4}$	$1.739 \cdot 10^{-3}$	$8.348 \cdot 10^{-4}$	$1.707 \cdot 10^{-3}$
3	3	$2.51 \cdot 10^{-3}$	$6.106 \cdot 10^{-4}$	$2.473 \cdot 10^{-3}$	$6.254 \cdot 10^{-4}$	$2.448 \cdot 10^{-3}$
4	4	$2.991 \cdot 10^{-3}$	$3.363 \cdot 10^{-4}$	$2.97 \cdot 10^{-3}$	$3.541 \cdot 10^{-4}$	$2.957 \cdot 10^{-3}$
5	5	$3.183 \cdot 10^{-3}$	$2.842 \cdot 10^{-5}$	$3.181 \cdot 10^{-3}$	$4.734 \cdot 10^{-5}$	$3.179 \cdot 10^{-3}$
6	6	$3.065 \cdot 10^{-3}$	$-2.81 \cdot 10^{-4}$	$3.081 \cdot 10^{-3}$	$-2.63 \cdot 10^{-4}$	$3.092 \cdot 10^{-3}$
7	7	$2.649 \cdot 10^{-3}$	$-5.621 \cdot 10^{-4}$	$2.682 \cdot 10^{-3}$	$-5.466 \cdot 10^{-4}$	$2.704 \cdot 10^{-3}$
8	8	$1.973 \cdot 10^{-3}$	$-7.888 \cdot 10^{-4}$	$2.02 \cdot 10^{-3}$	$-7.771 \cdot 10^{-4}$	$2.051 \cdot 10^{-3}$
9	9	$1.103 \cdot 10^{-3}$	$-9.388 \cdot 10^{-4}$	$1.16 \cdot 10^{-3}$	$-9.322 \cdot 10^{-4}$	$1.196 \cdot 10^{-3}$
10	10	$1.206 \cdot 10^{-4}$	$-9.971 \cdot 10^{-4}$	$1.807 \cdot 10^{-4}$	$-9.964 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$
11	11	$-8.732 \cdot 10^{-4}$	$-9.577 \cdot 10^{-4}$	$-8.154 \cdot 10^{-4}$	$-9.629 \cdot 10^{-4}$	$-7.774 \cdot 10^{-4}$
12	12	$-1.779 \cdot 10^{-3}$	$-8.247 \cdot 10^{-4}$	$-1.729 \cdot 10^{-3}$	$-8.351 \cdot 10^{-4}$	$-1.696 \cdot 10^{-3}$
13	13	$-2.507 \cdot 10^{-3}$	$-6.113 \cdot 10^{-4}$	$-2.47 \cdot 10^{-3}$	$-6.258 \cdot 10^{-4}$	$-2.446 \cdot 10^{-3}$
14	14	$-2.989 \cdot 10^{-3}$	$-3.379 \cdot 10^{-4}$	$-2.968 \cdot 10^{-3}$	$-3.555 \cdot 10^{-4}$	$-2.954 \cdot 10^{-3}$
15	15	$-3.178 \cdot 10^{-3}$	$-3.138 \cdot 10^{-5}$	$-3.175 \cdot 10^{-3}$	$-5.029 \cdot 10^{-5}$	$-3.173 \cdot 10^{-3}$
16	16	$-3.055 \cdot 10^{-3}$	$2.781 \cdot 10^{-4}$	$-3.071 \cdot 10^{-3}$	$2.599 \cdot 10^{-4}$	$-3.081 \cdot 10^{-3}$
17	17	$-2.632 \cdot 10^{-3}$	$5.601 \cdot 10^{-4}$	$-2.665 \cdot 10^{-3}$	$5.447 \cdot 10^{-4}$	$-2.687 \cdot 10^{-3}$
18	18	$-1.951 \cdot 10^{-3}$	$7.878 \cdot 10^{-4}$	$-1.998 \cdot 10^{-3}$	$7.763 \cdot 10^{-4}$	$-2.029 \cdot 10^{-3}$
19	19	$-1.078 \cdot 10^{-3}$	$9.393 \cdot 10^{-4}$	$-1.134 \cdot 10^{-3}$	$9.328 \cdot 10^{-4}$	$-1.171 \cdot 10^{-3}$
20	20	$-9.56 \cdot 10^{-5}$	$9.989 \cdot 10^{-4}$	$-1.557 \cdot 10^{-4}$	$9.982 \cdot 10^{-4}$	$-1.952 \cdot 10^{-4}$
21	21	$8.969 \cdot 10^{-4}$	$9.591 \cdot 10^{-4}$	$8.39 \cdot 10^{-4}$	$9.644 \cdot 10^{-4}$	$8.009 \cdot 10^{-4}$
22	22	$1.803 \cdot 10^{-3}$	$8.265 \cdot 10^{-4}$	$1.753 \cdot 10^{-3}$	$8.368 \cdot 10^{-4}$	$1.72 \cdot 10^{-3}$
23	23	$2.533 \cdot 10^{-3}$	$6.129 \cdot 10^{-4}$	$2.495 \cdot 10^{-3}$	$6.273 \cdot 10^{-4}$	$2.471 \cdot 10^{-3}$
24	24	$3.016 \cdot 10^{-3}$	$3.391 \cdot 10^{-4}$	$2.995 \cdot 10^{-3}$	$3.567 \cdot 10^{-4}$	$2.981 \cdot 10^{-3}$
25	25	$-3.205 \cdot 10^{-3}$	$-3.256 \cdot 10^{-5}$	$-3.202 \cdot 10^{-3}$	$-5.173 \cdot 10^{-5}$	$-3.2 \cdot 10^{-3}$
26	26	$3.083 \cdot 10^{-3}$	$-2.762 \cdot 10^{-4}$	$3.099 \cdot 10^{-3}$	$-2.58 \cdot 10^{-4}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 1 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 2 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 3 adalah perpindahan pada lantai ketiga

E.2 *Input Kekuatan Gempa Sebesar 7 Ms*

	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	$8.943 \cdot 10^{-3}$	$9.571 \cdot 10^{-3}$	$8.365 \cdot 10^{-3}$	$9.617 \cdot 10^{-3}$	$7.986 \cdot 10^{-3}$
2	2	0.018	$8.242 \cdot 10^{-3}$	0.017	$8.346 \cdot 10^{-3}$	0.017
3	3	0.025	$6.1 \cdot 10^{-3}$	0.025	$6.248 \cdot 10^{-3}$	0.025
4	4	0.03	$3.362 \cdot 10^{-3}$	0.03	$3.539 \cdot 10^{-3}$	0.03
5	5	0.032	$2.949 \cdot 10^{-4}$	0.032	$4.835 \cdot 10^{-4}$	0.032
6	6	0.031	$-2.8 \cdot 10^{-3}$	0.031	$-2.619 \cdot 10^{-3}$	0.031
7	7	0.026	$-5.622 \cdot 10^{-3}$	0.027	$-5.465 \cdot 10^{-3}$	0.027
8	8	0.019	$-7.894 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-7.777 \cdot 10^{-3}$	0.02
9	9	0.011	$-9.394 \cdot 10^{-3}$	0.011	$-9.328 \cdot 10^{-3}$	0.012
10	10	$9.525 \cdot 10^{-4}$	$-9.976 \cdot 10^{-3}$	$1.553 \cdot 10^{-3}$	$-9.967 \cdot 10^{-3}$	$1.947 \cdot 10^{-3}$
11	11	$-8.908 \cdot 10^{-3}$	$-9.581 \cdot 10^{-3}$	$-8.329 \cdot 10^{-3}$	$-9.632 \cdot 10^{-3}$	$-7.949 \cdot 10^{-3}$
sol - 12	12	-0.018	$-8.25 \cdot 10^{-3}$	-0.017	$-8.354 \cdot 10^{-3}$	-0.017
13	13	-0.025	$-6.11 \cdot 10^{-3}$	-0.025	$-6.259 \cdot 10^{-3}$	-0.025
14	14	-0.03	$-3.378 \cdot 10^{-3}$	-0.03	$-3.553 \cdot 10^{-3}$	-0.03
15	15	-0.032	$-3.112 \cdot 10^{-4}$	-0.032	$-4.997 \cdot 10^{-4}$	-0.032
16	16	-0.031	$2.786 \cdot 10^{-3}$	-0.031	$2.604 \cdot 10^{-3}$	-0.031
17	17	-0.026	$5.611 \cdot 10^{-3}$	-0.027	$5.452 \cdot 10^{-3}$	-0.027
18	18	-0.019	$7.884 \cdot 10^{-3}$	-0.02	$7.767 \cdot 10^{-3}$	-0.02
19	19	-0.011	$9.388 \cdot 10^{-3}$	-0.011	$9.322 \cdot 10^{-3}$	-0.012
20	20	$-1.015 \cdot 10^{-3}$	$9.976 \cdot 10^{-3}$	$-1.615 \cdot 10^{-3}$	$9.966 \cdot 10^{-3}$	$-2.009 \cdot 10^{-3}$
21	21	$8.848 \cdot 10^{-3}$	$9.587 \cdot 10^{-3}$	$8.268 \cdot 10^{-3}$	$9.635 \cdot 10^{-3}$	$7.888 \cdot 10^{-3}$
22	22	0.018	$8.259 \cdot 10^{-3}$	0.017	$8.363 \cdot 10^{-3}$	0.017
23	23	0.025	$6.125 \cdot 10^{-3}$	0.025	$6.272 \cdot 10^{-3}$	0.024
24	24	0.03	$3.392 \cdot 10^{-3}$	0.03	$3.568 \cdot 10^{-3}$	0.03
25	25	0.032	$3.267 \cdot 10^{-4}$	0.032	$5.153 \cdot 10^{-4}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 1 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 2 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 3 adalah perpindahan pada lantai ketiga

E.3 *Input Kekuatan Gempa Sebesar 8 Ms*

	0	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0.089	0.096	0.084	0.096	0.08
2	2	0.179	0.082	0.174	0.083	0.171
3	3	0.252	0.061	0.248	0.062	0.245
4	4	0.299	0.034	0.297	0.035	0.296
5	5	0.318	$2.951 \cdot 10^{-3}$	0.317	$4.836 \cdot 10^{-3}$	0.317
6	6	0.305	-0.028	0.307	-0.026	0.308
7	7	0.263	-0.056	0.266	-0.055	0.268
8	8	0.194	-0.079	0.199	-0.078	0.202
9	9	0.107	-0.094	0.113	-0.093	0.117
10	10	$9.678 \cdot 10^{-3}$	-0.1	0.016	-0.1	0.02
11	11	-0.089	-0.096	-0.083	-0.096	-0.079
12	12	-0.179	-0.083	-0.174	-0.084	-0.171
13	13	-0.252	-0.061	-0.248	-0.063	-0.245
14	14	-0.299	-0.034	-0.297	-0.036	-0.296
15	15	-0.318	$-3.111 \cdot 10^{-3}$	-0.317	$-4.996 \cdot 10^{-3}$	-0.317
16	16	-0.305	0.028	-0.307	0.026	-0.308
17	17	-0.263	0.056	-0.266	0.055	-0.268
18	18	-0.195	0.079	-0.2	0.078	-0.203
19	19	-0.108	0.094	-0.113	0.093	-0.117
20	20	-0.01	0.1	-0.016	0.1	-0.02
21	21	0.089	0.096	0.083	0.096	0.079
22	22	0.178	0.083	0.173	0.084	0.17
23	23	0.251	0.061	0.247	0.063	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 1 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 2 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 3 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Halaman ini memang dikosongkan

LAMPIRAN F
DATA RESPON PERPINDAHAN BANGUNAN DENGAN
DVA

F.1 *Natural Rubber*

Kekuatan 6 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.247 \cdot 10^{-5}$	$3.542 \cdot 10^{-5}$	$1.247 \cdot 10^{-5}$	$3.542 \cdot 10^{-5}$
2	2	$9.133 \cdot 10^{-5}$	$1.331 \cdot 10^{-4}$	$9.133 \cdot 10^{-5}$	$1.331 \cdot 10^{-4}$
3	3	$2.886 \cdot 10^{-4}$	$2.694 \cdot 10^{-4}$	$2.886 \cdot 10^{-4}$	$2.694 \cdot 10^{-4}$
4	4	$6.27 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$6.27 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$
5	5	$1.094 \cdot 10^{-3}$	$5.155 \cdot 10^{-4}$	$1.094 \cdot 10^{-3}$	$5.155 \cdot 10^{-4}$
6	6	$1.635 \cdot 10^{-3}$	$5.475 \cdot 10^{-4}$	$1.635 \cdot 10^{-3}$	$5.475 \cdot 10^{-4}$
7	7	$2.159 \cdot 10^{-3}$	$4.78 \cdot 10^{-4}$	$2.159 \cdot 10^{-3}$	$4.78 \cdot 10^{-4}$
8	8	$2.558 \cdot 10^{-3}$	$2.969 \cdot 10^{-4}$	$2.558 \cdot 10^{-3}$	$2.969 \cdot 10^{-4}$
9	9	$2.725 \cdot 10^{-3}$	$1.432 \cdot 10^{-5}$	$2.725 \cdot 10^{-3}$	$1.432 \cdot 10^{-5}$
10	10	$2.567 \cdot 10^{-3}$	$-3.393 \cdot 10^{-4}$	$2.567 \cdot 10^{-3}$	$-3.393 \cdot 10^{-4}$
11	11	$2.037 \cdot 10^{-3}$	$-7.155 \cdot 10^{-4}$	$2.037 \cdot 10^{-3}$	$-7.155 \cdot 10^{-4}$
12	12	$1.143 \cdot 10^{-3}$	$-1.055 \cdot 10^{-3}$	$1.143 \cdot 10^{-3}$	$-1.055 \cdot 10^{-3}$
sol - 13	13	$-4.679 \cdot 10^{-5}$	$-1.299 \cdot 10^{-3}$	$-4.679 \cdot 10^{-5}$	$-1.299 \cdot 10^{-3}$
14	14	$-1.411 \cdot 10^{-3}$	$-1.397 \cdot 10^{-3}$	$-1.411 \cdot 10^{-3}$	$-1.397 \cdot 10^{-3}$
15	15	$-2.784 \cdot 10^{-3}$	$-1.314 \cdot 10^{-3}$	$-2.784 \cdot 10^{-3}$	$-1.314 \cdot 10^{-3}$
16	16	$-3.98 \cdot 10^{-3}$	$-1.042 \cdot 10^{-3}$	$-3.98 \cdot 10^{-3}$	$-1.042 \cdot 10^{-3}$
17	17	$-4.814 \cdot 10^{-3}$	$-5.97 \cdot 10^{-4}$	$-4.814 \cdot 10^{-3}$	$-5.97 \cdot 10^{-4}$
18	18	$-5.133 \cdot 10^{-3}$	$-2.445 \cdot 10^{-5}$	$-5.133 \cdot 10^{-3}$	$-2.445 \cdot 10^{-5}$
19	19	$-4.842 \cdot 10^{-3}$	$6.096 \cdot 10^{-4}$	$-4.842 \cdot 10^{-3}$	$6.096 \cdot 10^{-4}$
20	20	$-3.92 \cdot 10^{-3}$	$1.223 \cdot 10^{-3}$	$-3.92 \cdot 10^{-3}$	$1.223 \cdot 10^{-3}$
21	21	$-2.43 \cdot 10^{-3}$	$1.73 \cdot 10^{-3}$	$-2.43 \cdot 10^{-3}$	$1.73 \cdot 10^{-3}$
22	22	$-5.168 \cdot 10^{-4}$	$2.054 \cdot 10^{-3}$	$-5.168 \cdot 10^{-4}$	$2.054 \cdot 10^{-3}$
23	23	$1.602 \cdot 10^{-3}$	$2.136 \cdot 10^{-3}$	$1.602 \cdot 10^{-3}$	$2.136 \cdot 10^{-3}$
24	24	$3.67 \cdot 10^{-3}$	$1.949 \cdot 10^{-3}$	$3.67 \cdot 10^{-3}$	$1.949 \cdot 10^{-3}$
25	25	$5.418 \cdot 10^{-3}$	$1.502 \cdot 10^{-3}$	$5.418 \cdot 10^{-3}$	$1.502 \cdot 10^{-3}$
26	26	$6.603 \cdot 10^{-3}$	$8.374 \cdot 10^{-4}$	$6.603 \cdot 10^{-3}$	$8.374 \cdot 10^{-4}$
27	27	$7.045 \cdot 10^{-3}$	$3.077 \cdot 10^{-5}$	$7.045 \cdot 10^{-3}$	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$1.018 \cdot 10^{-7}$	$1.776 \cdot 10^{-7}$	$9.015 \cdot 10^{-8}$	$1.903 \cdot 10^{-7}$	$8.228 \cdot 10^{-8}$
2	$3.901 \cdot 10^{-7}$	$3.831 \cdot 10^{-7}$	$3.678 \cdot 10^{-7}$	$3.727 \cdot 10^{-7}$	$3.534 \cdot 10^{-7}$
3	$8.875 \cdot 10^{-7}$	$6.163 \cdot 10^{-7}$	$8.517 \cdot 10^{-7}$	$6.002 \cdot 10^{-7}$	$8.287 \cdot 10^{-7}$
4	$1.665 \cdot 10^{-6}$	$9.515 \cdot 10^{-7}$	$1.609 \cdot 10^{-6}$	$9.282 \cdot 10^{-7}$	$1.574 \cdot 10^{-6}$
5	$2.854 \cdot 10^{-6}$	$1.459 \cdot 10^{-6}$	$2.769 \cdot 10^{-6}$	$1.423 \cdot 10^{-6}$	$2.715 \cdot 10^{-6}$
6	$4.653 \cdot 10^{-6}$	$2.186 \cdot 10^{-6}$	$4.526 \cdot 10^{-6}$	$2.137 \cdot 10^{-6}$	$4.444 \cdot 10^{-6}$
7	$7.288 \cdot 10^{-6}$	$3.133 \cdot 10^{-6}$	$7.105 \cdot 10^{-6}$	$3.072 \cdot 10^{-6}$	$6.987 \cdot 10^{-6}$
8	$1.095 \cdot 10^{-5}$	$4.231 \cdot 10^{-6}$	$1.07 \cdot 10^{-5}$	$4.164 \cdot 10^{-6}$	$1.054 \cdot 10^{-5}$
9	$1.573 \cdot 10^{-5}$	$5.34 \cdot 10^{-6}$	$1.542 \cdot 10^{-5}$	$5.277 \cdot 10^{-6}$	$1.521 \cdot 10^{-5}$
10	$2.156 \cdot 10^{-5}$	$6.258 \cdot 10^{-6}$	$2.119 \cdot 10^{-5}$	$6.213 \cdot 10^{-6}$	$2.095 \cdot 10^{-5}$
11	$2.812 \cdot 10^{-5}$	$6.745 \cdot 10^{-6}$	$2.772 \cdot 10^{-5}$	$6.732 \cdot 10^{-6}$	$2.746 \cdot 10^{-5}$
12	$3.485 \cdot 10^{-5}$	$6.563 \cdot 10^{-6}$	$3.446 \cdot 10^{-5}$	$6.596 \cdot 10^{-6}$	$3.42 \cdot 10^{-5}$
13	$4.098 \cdot 10^{-5}$	$5.522 \cdot 10^{-6}$	$4.065 \cdot 10^{-5}$	$5.61 \cdot 10^{-6}$	$4.044 \cdot 10^{-5}$
14	$4.559 \cdot 10^{-5}$	$3.522 \cdot 10^{-6}$	$4.538 \cdot 10^{-5}$	$3.668 \cdot 10^{-6}$	$4.524 \cdot 10^{-5}$
15	$4.773 \cdot 10^{-5}$	$5.845 \cdot 10^{-7}$	$4.769 \cdot 10^{-5}$	$7.836 \cdot 10^{-7}$	$4.767 \cdot 10^{-5}$
16	$4.652 \cdot 10^{-5}$	$-3.131 \cdot 10^{-6}$	$4.67 \cdot 10^{-5}$	$-2.893 \cdot 10^{-6}$	$4.682 \cdot 10^{-5}$
17	$4.132 \cdot 10^{-5}$	$-7.327 \cdot 10^{-6}$	$4.175 \cdot 10^{-5}$	$-7.07 \cdot 10^{-6}$	$4.203 \cdot 10^{-5}$
18	$3.185 \cdot 10^{-5}$	$-1.159 \cdot 10^{-5}$	$3.253 \cdot 10^{-5}$	$-1.134 \cdot 10^{-5}$	$3.298 \cdot 10^{-5}$
19	$1.827 \cdot 10^{-5}$	$-1.543 \cdot 10^{-5}$	$1.919 \cdot 10^{-5}$	$-1.522 \cdot 10^{-5}$	$1.979 \cdot 10^{-5}$
20	$1.276 \cdot 10^{-6}$	$-1.833 \cdot 10^{-5}$	$2.37 \cdot 10^{-6}$	$-1.819 \cdot 10^{-5}$	$3.085 \cdot 10^{-6}$
21	$-1.796 \cdot 10^{-5}$	$-1.985 \cdot 10^{-5}$	$-1.678 \cdot 10^{-5}$	$-1.98 \cdot 10^{-5}$	$-1.6 \cdot 10^{-5}$
22	$-3.789 \cdot 10^{-5}$	$-1.962 \cdot 10^{-5}$	$-3.671 \cdot 10^{-5}$	$-1.969 \cdot 10^{-5}$	$-3.594 \cdot 10^{-5}$
23	$-5.662 \cdot 10^{-5}$	$-1.749 \cdot 10^{-5}$	$-5.557 \cdot 10^{-5}$	$-1.767 \cdot 10^{-5}$	$-5.488 \cdot 10^{-5}$
24	$-7.227 \cdot 10^{-5}$	$-1.349 \cdot 10^{-5}$	$-7.145 \cdot 10^{-5}$	$-1.377 \cdot 10^{-5}$	$-7.091 \cdot 10^{-5}$
25	$-8.308 \cdot 10^{-5}$	$-7.894 \cdot 10^{-6}$	$-8.259 \cdot 10^{-5}$	$-8.266 \cdot 10^{-6}$	$-8.228 \cdot 10^{-5}$
26	$-8.769 \cdot 10^{-5}$	$-1.197 \cdot 10^{-6}$	$-8.76 \cdot 10^{-5}$	$-1.618 \cdot 10^{-6}$	$-8.755 \cdot 10^{-5}$
27	$-8.531 \cdot 10^{-5}$	$5.962 \cdot 10^{-6}$	$-8.565 \cdot 10^{-5}$	$5.532 \cdot 10^{-6}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 7 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.232 \cdot 10^{-4}$	$3.557 \cdot 10^{-4}$	$1.232 \cdot 10^{-4}$	$3.557 \cdot 10^{-4}$
2	2	$9.216 \cdot 10^{-4}$	$1.338 \cdot 10^{-3}$	$9.216 \cdot 10^{-4}$	$1.338 \cdot 10^{-3}$
3	3	$2.919 \cdot 10^{-3}$	$2.707 \cdot 10^{-3}$	$2.919 \cdot 10^{-3}$	$2.707 \cdot 10^{-3}$
4	4	$6.343 \cdot 10^{-3}$	$4.113 \cdot 10^{-3}$	$6.343 \cdot 10^{-3}$	$4.113 \cdot 10^{-3}$
5	5	0.011	$5.148 \cdot 10^{-3}$	0.011	$5.148 \cdot 10^{-3}$
6	6	0.016	$5.441 \cdot 10^{-3}$	0.016	$5.441 \cdot 10^{-3}$
7	7	0.022	$4.731 \cdot 10^{-3}$	0.022	$4.731 \cdot 10^{-3}$
8	8	0.026	$2.919 \cdot 10^{-3}$	0.026	$2.919 \cdot 10^{-3}$
9	9	0.027	$1.095 \cdot 10^{-4}$	0.027	$1.095 \cdot 10^{-4}$
10	10	0.026	$-3.394 \cdot 10^{-3}$	0.026	$-3.394 \cdot 10^{-3}$
11	11	0.02	$-7.121 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-7.121 \cdot 10^{-3}$
12	12	0.011	-0.01	0.011	-0.01
sol - 13	13	$-4.175 \cdot 10^{-4}$	-0.013	$-4.175 \cdot 10^{-4}$	-0.013
14	14	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014
15	15	-0.028	-0.013	-0.028	-0.013
16	16	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
17	17	-0.048	$-6.016 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$-6.016 \cdot 10^{-3}$
18	18	-0.051	$-3.169 \cdot 10^{-4}$	-0.051	$-3.169 \cdot 10^{-4}$
19	19	-0.048	$5.997 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$5.997 \cdot 10^{-3}$
20	20	-0.039	0.012	-0.039	0.012
21	21	-0.025	0.017	-0.025	0.017
22	22	$-5.555 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-5.555 \cdot 10^{-3}$	0.02
23	23	0.016	0.021	0.016	0.021
24	24	0.036	0.02	0.036	0.02
25	25	0.054	0.015	0.054	0.015
26	26	0.066	$8.556 \cdot 10^{-3}$	0.066	$8.556 \cdot 10^{-3}$
27	27	0.07	$5.296 \cdot 10^{-4}$	0.07	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$1.01 \cdot 10^{-6}$	$1.926 \cdot 10^{-6}$	$9.014 \cdot 10^{-7}$	$1.831 \cdot 10^{-6}$	$8.314 \cdot 10^{-7}$
2	$3.882 \cdot 10^{-6}$	$3.826 \cdot 10^{-6}$	$3.661 \cdot 10^{-6}$	$3.707 \cdot 10^{-6}$	$3.519 \cdot 10^{-6}$
3	$8.817 \cdot 10^{-6}$	$6.131 \cdot 10^{-6}$	$8.46 \cdot 10^{-6}$	$5.976 \cdot 10^{-6}$	$8.23 \cdot 10^{-6}$
4	$1.653 \cdot 10^{-5}$	$9.513 \cdot 10^{-6}$	$1.598 \cdot 10^{-5}$	$9.271 \cdot 10^{-6}$	$1.562 \cdot 10^{-5}$
5	$2.845 \cdot 10^{-5}$	$1.467 \cdot 10^{-5}$	$2.759 \cdot 10^{-5}$	$1.43 \cdot 10^{-5}$	$2.704 \cdot 10^{-5}$
6	$4.658 \cdot 10^{-5}$	$2.203 \cdot 10^{-5}$	$4.53 \cdot 10^{-5}$	$2.153 \cdot 10^{-5}$	$4.448 \cdot 10^{-5}$
7	$7.318 \cdot 10^{-5}$	$3.155 \cdot 10^{-5}$	$7.134 \cdot 10^{-5}$	$3.093 \cdot 10^{-5}$	$7.015 \cdot 10^{-5}$
8	$1.101 \cdot 10^{-4}$	$4.25 \cdot 10^{-5}$	$1.076 \cdot 10^{-4}$	$4.183 \cdot 10^{-5}$	$1.06 \cdot 10^{-4}$
9	$1.581 \cdot 10^{-4}$	$5.348 \cdot 10^{-5}$	$1.55 \cdot 10^{-4}$	$5.286 \cdot 10^{-5}$	$1.529 \cdot 10^{-4}$
10	$2.163 \cdot 10^{-4}$	$6.25 \cdot 10^{-5}$	$2.126 \cdot 10^{-4}$	$6.206 \cdot 10^{-5}$	$2.103 \cdot 10^{-4}$
11	$2.816 \cdot 10^{-4}$	$6.721 \cdot 10^{-5}$	$2.777 \cdot 10^{-4}$	$6.709 \cdot 10^{-5}$	$2.751 \cdot 10^{-4}$
12	$3.485 \cdot 10^{-4}$	$6.531 \cdot 10^{-5}$	$3.447 \cdot 10^{-4}$	$6.565 \cdot 10^{-5}$	$3.421 \cdot 10^{-4}$
13	$4.095 \cdot 10^{-4}$	$5.492 \cdot 10^{-5}$	$4.062 \cdot 10^{-4}$	$5.58 \cdot 10^{-5}$	$4.04 \cdot 10^{-4}$
14	$4.553 \cdot 10^{-4}$	$3.502 \cdot 10^{-5}$	$4.532 \cdot 10^{-4}$	$3.648 \cdot 10^{-5}$	$4.518 \cdot 10^{-4}$
15	$4.765 \cdot 10^{-4}$	$5.797 \cdot 10^{-6}$	$4.761 \cdot 10^{-4}$	$7.78 \cdot 10^{-6}$	$4.759 \cdot 10^{-4}$
16	$4.644 \cdot 10^{-4}$	$-3.12 \cdot 10^{-5}$	$4.662 \cdot 10^{-4}$	$-2.882 \cdot 10^{-5}$	$4.674 \cdot 10^{-4}$
17	$4.126 \cdot 10^{-4}$	$-7.3 \cdot 10^{-5}$	$4.169 \cdot 10^{-4}$	$-7.043 \cdot 10^{-5}$	$4.197 \cdot 10^{-4}$
18	$3.183 \cdot 10^{-4}$	$-1.155 \cdot 10^{-4}$	$3.251 \cdot 10^{-4}$	$-1.13 \cdot 10^{-4}$	$3.296 \cdot 10^{-4}$
19	$1.831 \cdot 10^{-4}$	$-1.537 \cdot 10^{-4}$	$1.922 \cdot 10^{-4}$	$-1.517 \cdot 10^{-4}$	$1.982 \cdot 10^{-4}$
20	$1.385 \cdot 10^{-5}$	$-1.828 \cdot 10^{-4}$	$2.476 \cdot 10^{-5}$	$-1.814 \cdot 10^{-4}$	$3.189 \cdot 10^{-5}$
21	$-1.779 \cdot 10^{-4}$	$-1.979 \cdot 10^{-4}$	$-1.66 \cdot 10^{-4}$	$-1.975 \cdot 10^{-4}$	$-1.583 \cdot 10^{-4}$
22	$-3.763 \cdot 10^{-4}$	$-1.958 \cdot 10^{-4}$	$-3.645 \cdot 10^{-4}$	$-1.965 \cdot 10^{-4}$	$-3.569 \cdot 10^{-4}$
23	$-5.633 \cdot 10^{-4}$	$-1.748 \cdot 10^{-4}$	$-5.527 \cdot 10^{-4}$	$-1.766 \cdot 10^{-4}$	$-5.458 \cdot 10^{-4}$
24	$-7.198 \cdot 10^{-4}$	$-1.353 \cdot 10^{-4}$	$-7.116 \cdot 10^{-4}$	$-1.381 \cdot 10^{-4}$	$-7.062 \cdot 10^{-4}$
25	$-8.285 \cdot 10^{-4}$	$-7.981 \cdot 10^{-5}$	$-8.236 \cdot 10^{-4}$	$-8.351 \cdot 10^{-5}$	$-8.204 \cdot 10^{-4}$
26	$-8.757 \cdot 10^{-4}$	$-1.32 \cdot 10^{-5}$	$-8.747 \cdot 10^{-4}$	$-1.741 \cdot 10^{-5}$	$-8.742 \cdot 10^{-4}$
27	$-8.532 \cdot 10^{-4}$	$5.819 \cdot 10^{-5}$	$-8.566 \cdot 10^{-4}$	$5.39 \cdot 10^{-5}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 8 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.206 \cdot 10^{-3}$	$3.565 \cdot 10^{-3}$	$1.206 \cdot 10^{-3}$	$3.565 \cdot 10^{-3}$
2	2	$9.238 \cdot 10^{-3}$	0.013	$9.238 \cdot 10^{-3}$	0.013
3	3	0.029	0.027	0.029	0.027
4	4	0.064	0.041	0.064	0.041
5	5	0.11	0.051	0.11	0.051
6	6	0.164	0.054	0.164	0.054
7	7	0.215	0.047	0.215	0.047
8	8	0.254	0.029	0.254	0.029
9	9	0.27	$1.089 \cdot 10^{-3}$	0.27	$1.089 \cdot 10^{-3}$
10	10	0.254	-0.034	0.254	-0.034
11	11	0.202	-0.071	0.202	-0.071
12	12	0.114	-0.105	0.114	-0.105
sol - 13	13	$-4.163 \cdot 10^{-3}$	-0.129	$-4.163 \cdot 10^{-3}$	-0.129
14	14	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139
15	15	-0.276	-0.131	-0.276	-0.131
16	16	-0.395	-0.104	-0.395	-0.104
17	17	-0.478	-0.06	-0.478	-0.06
18	18	-0.511	$-3.453 \cdot 10^{-3}$	-0.511	$-3.453 \cdot 10^{-3}$
19	19	-0.483	0.059	-0.483	0.059
20	20	-0.393	0.12	-0.393	0.12
21	21	-0.246	0.171	-0.246	0.171
22	22	-0.056	0.204	-0.056	0.204
23	23	0.154	0.213	0.154	0.213
24	24	0.36	0.195	0.36	0.195
25	25	0.535	0.151	0.535	0.151
26	26	0.655	0.086	0.655	0.086
27	27	0.702	$5.931 \cdot 10^{-3}$	0.702	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$1.01 \cdot 10^{-5}$	$1.937 \cdot 10^{-5}$	$9.015 \cdot 10^{-6}$	$1.827 \cdot 10^{-5}$	$8.323 \cdot 10^{-6}$
2	$3.876 \cdot 10^{-5}$	$3.82 \cdot 10^{-5}$	$3.655 \cdot 10^{-5}$	$3.702 \cdot 10^{-5}$	$3.513 \cdot 10^{-5}$
3	$8.793 \cdot 10^{-5}$	$6.132 \cdot 10^{-5}$	$8.437 \cdot 10^{-5}$	$5.973 \cdot 10^{-5}$	$8.207 \cdot 10^{-5}$
4	$1.651 \cdot 10^{-4}$	$9.537 \cdot 10^{-5}$	$1.595 \cdot 10^{-4}$	$9.294 \cdot 10^{-5}$	$1.56 \cdot 10^{-4}$
5	$2.846 \cdot 10^{-4}$	$1.471 \cdot 10^{-4}$	$2.76 \cdot 10^{-4}$	$1.435 \cdot 10^{-4}$	$2.705 \cdot 10^{-4}$
6	$4.666 \cdot 10^{-4}$	$2.209 \cdot 10^{-4}$	$4.538 \cdot 10^{-4}$	$2.159 \cdot 10^{-4}$	$4.455 \cdot 10^{-4}$
7	$7.334 \cdot 10^{-4}$	$3.159 \cdot 10^{-4}$	$7.149 \cdot 10^{-4}$	$3.098 \cdot 10^{-4}$	$7.03 \cdot 10^{-4}$
8	$1.103 \cdot 10^{-3}$	$4.251 \cdot 10^{-4}$	$1.078 \cdot 10^{-3}$	$4.185 \cdot 10^{-4}$	$1.062 \cdot 10^{-3}$
9	$1.584 \cdot 10^{-3}$	$5.344 \cdot 10^{-4}$	$1.552 \cdot 10^{-3}$	$5.282 \cdot 10^{-4}$	$1.532 \cdot 10^{-3}$
10	$2.165 \cdot 10^{-3}$	$6.239 \cdot 10^{-4}$	$2.129 \cdot 10^{-3}$	$6.195 \cdot 10^{-4}$	$2.105 \cdot 10^{-3}$
11	$2.817 \cdot 10^{-3}$	$6.703 \cdot 10^{-4}$	$2.777 \cdot 10^{-3}$	$6.691 \cdot 10^{-4}$	$2.752 \cdot 10^{-3}$
12	$3.484 \cdot 10^{-3}$	$6.507 \cdot 10^{-4}$	$3.445 \cdot 10^{-3}$	$6.541 \cdot 10^{-4}$	$3.42 \cdot 10^{-3}$
sol - 13	$4.09 \cdot 10^{-3}$	$5.465 \cdot 10^{-4}$	$4.058 \cdot 10^{-3}$	$5.553 \cdot 10^{-4}$	$4.036 \cdot 10^{-3}$
14	$4.546 \cdot 10^{-3}$	$3.477 \cdot 10^{-4}$	$4.524 \cdot 10^{-3}$	$3.622 \cdot 10^{-4}$	$4.511 \cdot 10^{-3}$
15	$4.755 \cdot 10^{-3}$	$5.613 \cdot 10^{-5}$	$4.751 \cdot 10^{-3}$	$7.59 \cdot 10^{-5}$	$4.748 \cdot 10^{-3}$
16	$4.632 \cdot 10^{-3}$	$-3.126 \cdot 10^{-4}$	$4.65 \cdot 10^{-3}$	$-2.888 \cdot 10^{-4}$	$4.662 \cdot 10^{-3}$
17	$4.114 \cdot 10^{-3}$	$-7.29 \cdot 10^{-4}$	$4.156 \cdot 10^{-3}$	$-7.034 \cdot 10^{-4}$	$4.185 \cdot 10^{-3}$
18	$3.172 \cdot 10^{-3}$	$-1.152 \cdot 10^{-3}$	$3.24 \cdot 10^{-3}$	$-1.127 \cdot 10^{-3}$	$3.284 \cdot 10^{-3}$
19	$1.823 \cdot 10^{-3}$	$-1.533 \cdot 10^{-3}$	$1.914 \cdot 10^{-3}$	$-1.513 \cdot 10^{-3}$	$1.974 \cdot 10^{-3}$
20	$1.353 \cdot 10^{-4}$	$-1.823 \cdot 10^{-3}$	$2.44 \cdot 10^{-4}$	$-1.809 \cdot 10^{-3}$	$3.152 \cdot 10^{-4}$
21	$-1.776 \cdot 10^{-3}$	$-1.974 \cdot 10^{-3}$	$-1.658 \cdot 10^{-3}$	$-1.97 \cdot 10^{-3}$	$-1.581 \cdot 10^{-3}$
22	$-3.756 \cdot 10^{-3}$	$-1.954 \cdot 10^{-3}$	$-3.638 \cdot 10^{-3}$	$-1.96 \cdot 10^{-3}$	$-3.562 \cdot 10^{-3}$
23	$-5.621 \cdot 10^{-3}$	$-1.745 \cdot 10^{-3}$	$-5.516 \cdot 10^{-3}$	$-1.763 \cdot 10^{-3}$	$-5.447 \cdot 10^{-3}$
24	$-7.183 \cdot 10^{-3}$	$-1.351 \cdot 10^{-3}$	$-7.101 \cdot 10^{-3}$	$-1.379 \cdot 10^{-3}$	$-7.048 \cdot 10^{-3}$
25	$-8.269 \cdot 10^{-3}$	$-7.982 \cdot 10^{-4}$	$-8.22 \cdot 10^{-3}$	$-8.351 \cdot 10^{-4}$	$-8.188 \cdot 10^{-3}$
26	$-8.742 \cdot 10^{-3}$	$-1.34 \cdot 10^{-4}$	$-8.733 \cdot 10^{-3}$	$-1.759 \cdot 10^{-4}$	$-8.727 \cdot 10^{-3}$
27	$-8.521 \cdot 10^{-3}$	$5.784 \cdot 10^{-4}$	$-8.554 \cdot 10^{-3}$	$5.355 \cdot 10^{-4}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

F.2 *Butyl Rubber*

Kekuatan 6 Ms

	0	1	2	3	4
1	1	$1.649 \cdot 10^{-5}$	$3.713 \cdot 10^{-5}$	$1.649 \cdot 10^{-5}$	$3.713 \cdot 10^{-5}$
2	2	$1.019 \cdot 10^{-4}$	$1.328 \cdot 10^{-4}$	$1.019 \cdot 10^{-4}$	$1.328 \cdot 10^{-4}$
3	3	$2.98 \cdot 10^{-4}$	$2.668 \cdot 10^{-4}$	$2.98 \cdot 10^{-4}$	$2.668 \cdot 10^{-4}$
4	4	$6.281 \cdot 10^{-4}$	$4.059 \cdot 10^{-4}$	$6.281 \cdot 10^{-4}$	$4.059 \cdot 10^{-4}$
5	5	$1.082 \cdot 10^{-3}$	$5.107 \cdot 10^{-4}$	$1.082 \cdot 10^{-3}$	$5.107 \cdot 10^{-4}$
6	6	$1.61 \cdot 10^{-3}$	$5.446 \cdot 10^{-4}$	$1.61 \cdot 10^{-3}$	$5.446 \cdot 10^{-4}$
7	7	$2.131 \cdot 10^{-3}$	$4.794 \cdot 10^{-4}$	$2.131 \cdot 10^{-3}$	$4.794 \cdot 10^{-4}$
8	8	$2.538 \cdot 10^{-3}$	$3.031 \cdot 10^{-4}$	$2.538 \cdot 10^{-3}$	$3.031 \cdot 10^{-4}$
9	9	$2.714 \cdot 10^{-3}$	$2.345 \cdot 10^{-5}$	$2.714 \cdot 10^{-3}$	$2.345 \cdot 10^{-5}$
10	10	$2.57 \cdot 10^{-3}$	$-3.289 \cdot 10^{-4}$	$2.57 \cdot 10^{-3}$	$-3.289 \cdot 10^{-4}$
11	11	$2.054 \cdot 10^{-3}$	$-7.058 \cdot 10^{-4}$	$2.054 \cdot 10^{-3}$	$-7.058 \cdot 10^{-4}$
12	12	$1.172 \cdot 10^{-3}$	$-1.049 \cdot 10^{-3}$	$1.172 \cdot 10^{-3}$	$-1.049 \cdot 10^{-3}$
13	13	$-1.197 \cdot 10^{-5}$	$-1.299 \cdot 10^{-3}$	$-1.197 \cdot 10^{-5}$	$-1.299 \cdot 10^{-3}$
14	14	$-1.378 \cdot 10^{-3}$	$-1.404 \cdot 10^{-3}$	$-1.378 \cdot 10^{-3}$	$-1.404 \cdot 10^{-3}$
15	15	$-2.763 \cdot 10^{-3}$	$-1.33 \cdot 10^{-3}$	$-2.763 \cdot 10^{-3}$	$-1.33 \cdot 10^{-3}$
16	16	$-3.981 \cdot 10^{-3}$	$-1.063 \cdot 10^{-3}$	$-3.981 \cdot 10^{-3}$	$-1.063 \cdot 10^{-3}$
17	17	$-4.84 \cdot 10^{-3}$	$-6.193 \cdot 10^{-4}$	$-4.84 \cdot 10^{-3}$	$-6.193 \cdot 10^{-4}$
18	18	$-5.184 \cdot 10^{-3}$	$-4.218 \cdot 10^{-5}$	$-5.184 \cdot 10^{-3}$	$-4.218 \cdot 10^{-5}$
19	19	$-4.912 \cdot 10^{-3}$	$5.993 \cdot 10^{-4}$	$-4.912 \cdot 10^{-3}$	$5.993 \cdot 10^{-4}$
20	20	$-3.998 \cdot 10^{-3}$	$1.222 \cdot 10^{-3}$	$-3.998 \cdot 10^{-3}$	$1.222 \cdot 10^{-3}$
21	21	$-2.506 \cdot 10^{-3}$	$1.739 \cdot 10^{-3}$	$-2.506 \cdot 10^{-3}$	$1.739 \cdot 10^{-3}$
22	22	$-5.801 \cdot 10^{-4}$	$2.073 \cdot 10^{-3}$	$-5.801 \cdot 10^{-4}$	$2.073 \cdot 10^{-3}$
23	23	$1.566 \cdot 10^{-3}$	$2.165 \cdot 10^{-3}$	$1.566 \cdot 10^{-3}$	$2.165 \cdot 10^{-3}$
24	24	$3.671 \cdot 10^{-3}$	$1.984 \cdot 10^{-3}$	$3.671 \cdot 10^{-3}$	$1.984 \cdot 10^{-3}$
25	25	$5.459 \cdot 10^{-3}$	$1.536 \cdot 10^{-3}$	$5.459 \cdot 10^{-3}$	$1.536 \cdot 10^{-3}$
26	26	$6.681 \cdot 10^{-3}$	$8.632 \cdot 10^{-4}$	$6.681 \cdot 10^{-3}$	$8.632 \cdot 10^{-4}$
27	27	$7.146 \cdot 10^{-3}$	$4.292 \cdot 10^{-5}$	$7.146 \cdot 10^{-3}$	$4.292 \cdot 10^{-5}$
28	28	$6.756 \cdot 10^{-3}$	$-8.253 \cdot 10^{-4}$	$6.756 \cdot 10^{-3}$	...

	7	8	9	10	11
1	$2.781 \cdot 10^7$	$5.063 \cdot 10^{-7}$	$2.499 \cdot 10^{-7}$	$4.768 \cdot 10^{-7}$	$2.319 \cdot 10^{-7}$
2	$1.008 \cdot 10^6$	$9.544 \cdot 10^{-7}$	$9.528 \cdot 10^{-7}$	$9.286 \cdot 10^{-7}$	$9.17 \cdot 10^{-7}$
3	$2.175 \cdot 10^6$	$1.374 \cdot 10^{-6}$	$2.094 \cdot 10^{-6}$	$1.349 \cdot 10^{-6}$	$2.042 \cdot 10^{-6}$
4	$3.762 \cdot 10^6$	$1.792 \cdot 10^{-6}$	$3.657 \cdot 10^{-6}$	$1.767 \cdot 10^{-6}$	$3.589 \cdot 10^{-6}$
5	$5.79 \cdot 10^6$	$2.255 \cdot 10^{-6}$	$5.657 \cdot 10^{-6}$	$2.226 \cdot 10^{-6}$	$5.572 \cdot 10^{-6}$
6	$8.317 \cdot 10^6$	$2.802 \cdot 10^{-6}$	$8.153 \cdot 10^{-6}$	$2.767 \cdot 10^{-6}$	$8.046 \cdot 10^{-6}$
7	$1.143 \cdot 10^5$	$3.446 \cdot 10^{-6}$	$1.123 \cdot 10^{-5}$	$3.406 \cdot 10^{-6}$	$1.11 \cdot 10^{-5}$
8	$1.522 \cdot 10^5$	$4.15 \cdot 10^{-6}$	$1.497 \cdot 10^{-5}$	$4.108 \cdot 10^{-6}$	$1.482 \cdot 10^{-5}$
9	$1.97 \cdot 10^5$	$4.821 \cdot 10^{-6}$	$1.941 \cdot 10^{-5}$	$4.785 \cdot 10^{-6}$	$1.923 \cdot 10^{-5}$
10	$2.477 \cdot 10^5$	$5.299 \cdot 10^{-6}$	$2.446 \cdot 10^{-5}$	$5.279 \cdot 10^{-6}$	$2.426 \cdot 10^{-5}$
11	$3.015 \cdot 10^5$	$5.391 \cdot 10^{-6}$	$2.983 \cdot 10^{-5}$	$5.4 \cdot 10^{-6}$	$2.963 \cdot 10^{-5}$
12	$3.536 \cdot 10^5$	$4.906 \cdot 10^{-6}$	$3.507 \cdot 10^{-5}$	$4.954 \cdot 10^{-6}$	$3.488 \cdot 10^{-5}$
13	$3.974 \cdot 10^5$	$3.692 \cdot 10^{-6}$	$3.952 \cdot 10^{-5}$	$3.787 \cdot 10^{-6}$	$3.937 \cdot 10^{-5}$
sol - 14	$4.25 \cdot 10^5$	$1.672 \cdot 10^{-6}$	$4.24 \cdot 10^{-5}$	$1.816 \cdot 10^{-6}$	$4.234 \cdot 10^{-5}$
15	$4.286 \cdot 10^5$	$-1.126 \cdot 10^{-6}$	$4.293 \cdot 10^{-5}$	$-9.383 \cdot 10^{-7}$	$4.297 \cdot 10^{-5}$
16	$4.011 \cdot 10^5$	$-4.554 \cdot 10^{-6}$	$4.037 \cdot 10^{-5}$	$-4.335 \cdot 10^{-6}$	$4.055 \cdot 10^{-5}$
17	$3.37 \cdot 10^5$	$-8.344 \cdot 10^{-6}$	$3.419 \cdot 10^{-5}$	$-8.114 \cdot 10^{-6}$	$3.451 \cdot 10^{-5}$
18	$2.347 \cdot 10^5$	$-1.211 \cdot 10^{-5}$	$2.419 \cdot 10^{-5}$	$-1.189 \cdot 10^{-5}$	$2.466 \cdot 10^{-5}$
19	$9.664 \cdot 10^6$	$-1.54 \cdot 10^{-5}$	$1.058 \cdot 10^{-5}$	$-1.522 \cdot 10^{-5}$	$1.118 \cdot 10^{-5}$
20	$-7.001 \cdot 10^6$	$-1.774 \cdot 10^{-5}$	$-5.942 \cdot 10^{-6}$	$-1.763 \cdot 10^{-5}$	$-5.25 \cdot 10^{-6}$
21	$-2.537 \cdot 10^5$	$-1.872 \cdot 10^{-5}$	$-2.425 \cdot 10^{-5}$	$-1.871 \cdot 10^{-5}$	$-2.352 \cdot 10^{-5}$
22	$-4.393 \cdot 10^5$	$-1.805 \cdot 10^{-5}$	$-4.284 \cdot 10^{-5}$	$-1.814 \cdot 10^{-5}$	$-4.213 \cdot 10^{-5}$
23	$-6.094 \cdot 10^5$	$-1.558 \cdot 10^{-5}$	$-6 \cdot 10^{-5}$	$-1.578 \cdot 10^{-5}$	$-5.938 \cdot 10^{-5}$
24	$-7.462 \cdot 10^5$	$-1.139 \cdot 10^{-5}$	$-7.393 \cdot 10^{-5}$	$-1.168 \cdot 10^{-5}$	$-7.348 \cdot 10^{-5}$
25	$-8.333 \cdot 10^5$	$-5.745 \cdot 10^{-6}$	$-8.298 \cdot 10^{-5}$	$-6.116 \cdot 10^{-6}$	$-8.275 \cdot 10^{-5}$
26	$-8.586 \cdot 10^5$	$8.646 \cdot 10^{-7}$	$-8.589 \cdot 10^{-5}$	$4.524 \cdot 10^{-7}$	$-8.592 \cdot 10^{-5}$
27	$-8.154 \cdot 10^5$	$7.796 \cdot 10^{-6}$	$-8.199 \cdot 10^{-5}$	$7.383 \cdot 10^{-6}$	$-8.229 \cdot 10^{-5}$
28	$-7.041 \cdot 10^5$	$1.433 \cdot 10^{-5}$	$-7.126 \cdot 10^{-5}$	$1.396 \cdot 10^{-5}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 7 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.224 \cdot 10^{-4}$	$3.561 \cdot 10^{-4}$	$1.224 \cdot 10^{-4}$	$3.561 \cdot 10^{-4}$
2	2	$9.228 \cdot 10^{-4}$	$1.339 \cdot 10^{-3}$	$9.228 \cdot 10^{-4}$	$1.339 \cdot 10^{-3}$
3	3	$2.927 \cdot 10^{-3}$	$2.709 \cdot 10^{-3}$	$2.927 \cdot 10^{-3}$	$2.709 \cdot 10^{-3}$
4	4	$6.352 \cdot 10^{-3}$	$4.112 \cdot 10^{-3}$	$6.352 \cdot 10^{-3}$	$4.112 \cdot 10^{-3}$
5	5	0.011	$5.144 \cdot 10^{-3}$	0.011	$5.144 \cdot 10^{-3}$
6	6	0.016	$5.439 \cdot 10^{-3}$	0.016	$5.439 \cdot 10^{-3}$
7	7	0.022	$4.731 \cdot 10^{-3}$	0.022	$4.731 \cdot 10^{-3}$
8	8	0.026	$2.924 \cdot 10^{-3}$	0.026	$2.924 \cdot 10^{-3}$
9	9	0.027	$1.195 \cdot 10^{-4}$	0.027	$1.195 \cdot 10^{-4}$
10	10	0.026	$-3.381 \cdot 10^{-3}$	0.026	$-3.381 \cdot 10^{-3}$
11	11	0.02	$-7.108 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-7.108 \cdot 10^{-3}$
12	12	0.011	-0.01	0.011	-0.01
sol - 13	13	$-3.597 \cdot 10^{-4}$	-0.013	$-3.597 \cdot 10^{-4}$	-0.013
14	14	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014
15	15	-0.028	-0.013	-0.028	-0.013
16	16	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
17	17	-0.048	$-6.057 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$-6.057 \cdot 10^{-3}$
18	18	-0.051	$-3.672 \cdot 10^{-4}$	-0.051	$-3.672 \cdot 10^{-4}$
19	19	-0.048	$5.944 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$5.944 \cdot 10^{-3}$
20	20	-0.039	0.012	-0.039	0.012
21	21	-0.025	0.017	-0.025	0.017
22	22	$-5.738 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-5.738 \cdot 10^{-3}$	0.02
23	23	0.015	0.021	0.015	0.021
24	24	0.036	0.02	0.036	0.02
25	25	0.054	0.015	0.054	0.015
26	26	0.066	$8.625 \cdot 10^{-3}$	0.066	$8.625 \cdot 10^{-3}$
27	27	0.07	$5.949 \cdot 10^{-4}$	0.07	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$2.652 \cdot 10^{-6}$	$5.014 \cdot 10^{-6}$	$2.366 \cdot 10^{-6}$	$4.794 \cdot 10^{-6}$	$2.182 \cdot 10^{-6}$
2	$9.979 \cdot 10^{-6}$	$9.521 \cdot 10^{-6}$	$9.427 \cdot 10^{-6}$	$9.267 \cdot 10^{-6}$	$9.069 \cdot 10^{-6}$
3	$2.158 \cdot 10^{-5}$	$1.362 \cdot 10^{-5}$	$2.078 \cdot 10^{-5}$	$1.339 \cdot 10^{-5}$	$2.026 \cdot 10^{-5}$
4	$3.726 \cdot 10^{-5}$	$1.777 \cdot 10^{-5}$	$3.621 \cdot 10^{-5}$	$1.752 \cdot 10^{-5}$	$3.554 \cdot 10^{-5}$
5	$5.732 \cdot 10^{-5}$	$2.248 \cdot 10^{-5}$	$5.6 \cdot 10^{-5}$	$2.218 \cdot 10^{-5}$	$5.514 \cdot 10^{-5}$
6	$8.255 \cdot 10^{-5}$	$2.815 \cdot 10^{-5}$	$8.089 \cdot 10^{-5}$	$2.779 \cdot 10^{-5}$	$7.982 \cdot 10^{-5}$
7	$1.14 \cdot 10^{-4}$	$3.484 \cdot 10^{-5}$	$1.119 \cdot 10^{-4}$	$3.442 \cdot 10^{-5}$	$1.106 \cdot 10^{-4}$
8	$1.524 \cdot 10^{-4}$	$4.206 \cdot 10^{-5}$	$1.499 \cdot 10^{-4}$	$4.163 \cdot 10^{-5}$	$1.483 \cdot 10^{-4}$
9	$1.978 \cdot 10^{-4}$	$4.877 \cdot 10^{-5}$	$1.95 \cdot 10^{-4}$	$4.84 \cdot 10^{-5}$	$1.931 \cdot 10^{-4}$
10	$2.491 \cdot 10^{-4}$	$5.334 \cdot 10^{-5}$	$2.46 \cdot 10^{-4}$	$5.322 \cdot 10^{-5}$	$2.439 \cdot 10^{-4}$
11	$3.032 \cdot 10^{-4}$	$5.415 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5.415 \cdot 10^{-5}$	$2.98 \cdot 10^{-4}$
12	$3.553 \cdot 10^{-4}$	$4.932 \cdot 10^{-5}$	$3.524 \cdot 10^{-4}$	$4.927 \cdot 10^{-5}$	$3.505 \cdot 10^{-4}$
13	$3.988 \cdot 10^{-4}$	$3.451 \cdot 10^{-5}$	$3.965 \cdot 10^{-4}$	$3.841 \cdot 10^{-5}$	$3.95 \cdot 10^{-4}$
14	$4.255 \cdot 10^{-4}$	$2.153 \cdot 10^{-5}$	$4.248 \cdot 10^{-4}$	$1.502 \cdot 10^{-5}$	$4.244 \cdot 10^{-4}$
15	$4.285 \cdot 10^{-4}$	$-1.557 \cdot 10^{-5}$	$4.29 \cdot 10^{-4}$	$-8.863 \cdot 10^{-6}$	$4.292 \cdot 10^{-4}$
16	$3.995 \cdot 10^{-4}$	$-4.634 \cdot 10^{-5}$	$4.022 \cdot 10^{-4}$	$-4.418 \cdot 10^{-5}$	$4.04 \cdot 10^{-4}$
17	$3.345 \cdot 10^{-4}$	$-8.399 \cdot 10^{-5}$	$3.394 \cdot 10^{-4}$	$-8.171 \cdot 10^{-5}$	$3.427 \cdot 10^{-4}$
18	$2.317 \cdot 10^{-4}$	$-1.212 \cdot 10^{-4}$	$2.389 \cdot 10^{-4}$	$-1.19 \cdot 10^{-4}$	$2.436 \cdot 10^{-4}$
19	$9.377 \cdot 10^{-5}$	$-1.535 \cdot 10^{-4}$	$1.029 \cdot 10^{-4}$	$-1.517 \cdot 10^{-4}$	$1.089 \cdot 10^{-4}$
20	$-7.208 \cdot 10^{-5}$	$-1.763 \cdot 10^{-4}$	$-6.155 \cdot 10^{-5}$	$-1.753 \cdot 10^{-4}$	$-5.467 \cdot 10^{-5}$
21	$-2.544 \cdot 10^{-4}$	$-1.857 \cdot 10^{-4}$	$-2.433 \cdot 10^{-4}$	$-1.856 \cdot 10^{-4}$	$-2.36 \cdot 10^{-4}$
22	$-4.381 \cdot 10^{-4}$	$-1.787 \cdot 10^{-4}$	$-4.274 \cdot 10^{-4}$	$-1.796 \cdot 10^{-4}$	$-4.204 \cdot 10^{-4}$
23	$-6.061 \cdot 10^{-4}$	$-1.541 \cdot 10^{-4}$	$-5.968 \cdot 10^{-4}$	$-1.561 \cdot 10^{-4}$	$-5.907 \cdot 10^{-4}$
24	$-7.408 \cdot 10^{-4}$	$-1.125 \cdot 10^{-4}$	$-7.339 \cdot 10^{-4}$	$-1.154 \cdot 10^{-4}$	$-7.295 \cdot 10^{-4}$
25	$-8.265 \cdot 10^{-4}$	$-5.676 \cdot 10^{-5}$	$-8.229 \cdot 10^{-4}$	$-6.042 \cdot 10^{-5}$	$-8.207 \cdot 10^{-4}$
26	$-8.512 \cdot 10^{-4}$	$8.367 \cdot 10^{-6}$	$-8.516 \cdot 10^{-4}$	$4.3 \cdot 10^{-6}$	$-8.519 \cdot 10^{-4}$
27	$-8.087 \cdot 10^{-4}$	$7.666 \cdot 10^{-5}$	$-8.132 \cdot 10^{-4}$	$7.259 \cdot 10^{-5}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 8 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.201 \cdot 10^{-3}$	$3.567 \cdot 10^{-3}$	$1.201 \cdot 10^{-3}$	$3.567 \cdot 10^{-3}$
2	2	$9.234 \cdot 10^{-3}$	0.013	$9.234 \cdot 10^{-3}$	0.013
3	3	0.029	0.027	0.029	0.027
4	4	0.064	0.041	0.064	0.041
5	5	0.11	0.051	0.11	0.051
6	6	0.164	0.054	0.164	0.054
7	7	0.216	0.047	0.216	0.047
8	8	0.255	0.029	0.255	0.029
9	9	0.271	$1.155 \cdot 10^{-3}$	0.271	$1.155 \cdot 10^{-3}$
10	10	0.255	-0.034	0.255	-0.034
11	11	0.202	-0.071	0.202	-0.071
12	12	0.114	-0.105	0.114	-0.105
sol -	13	$-3.828 \cdot 10^{-3}$	-0.129	$-3.828 \cdot 10^{-3}$	-0.129
	14	-0.139	-0.139	-0.139	-0.139
	15	-0.276	-0.131	-0.276	-0.131
	16	-0.395	-0.104	-0.395	-0.104
	17	-0.479	-0.06	-0.479	-0.06
	18	-0.511	$-3.689 \cdot 10^{-3}$	-0.511	$-3.689 \cdot 10^{-3}$
	19	-0.484	0.059	-0.484	0.059
	20	-0.394	0.12	-0.394	0.12
	21	-0.247	0.171	-0.247	0.171
	22	-0.058	0.204	-0.058	0.204
	23	0.153	0.213	0.153	0.213
	24	0.359	0.195	0.359	0.195
	25	0.535	0.152	0.535	0.152
	26	0.655	0.086	0.655	0.086
	27	0.703	$6.361 \cdot 10^{-3}$	0.703	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$2.651 \cdot 10^{-5}$	$5.065 \cdot 10^{-5}$	$2.367 \cdot 10^{-5}$	$4.779 \cdot 10^{-5}$	$2.187 \cdot 10^{-5}$
2	$9.978 \cdot 10^{-5}$	$9.518 \cdot 10^{-5}$	$9.425 \cdot 10^{-5}$	$9.263 \cdot 10^{-5}$	$9.068 \cdot 10^{-5}$
3	$2.157 \cdot 10^{-4}$	$1.363 \cdot 10^{-4}$	$2.077 \cdot 10^{-4}$	$1.339 \cdot 10^{-4}$	$2.025 \cdot 10^{-4}$
4	$3.725 \cdot 10^{-4}$	$1.778 \cdot 10^{-4}$	$3.62 \cdot 10^{-4}$	$1.753 \cdot 10^{-4}$	$3.553 \cdot 10^{-4}$
5	$5.732 \cdot 10^{-4}$	$2.25 \cdot 10^{-4}$	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$2.22 \cdot 10^{-4}$	$5.514 \cdot 10^{-4}$
6	$8.257 \cdot 10^{-4}$	$2.818 \cdot 10^{-4}$	$8.092 \cdot 10^{-4}$	$2.781 \cdot 10^{-4}$	$7.985 \cdot 10^{-4}$
7	$1.14 \cdot 10^{-3}$	$3.486 \cdot 10^{-4}$	$1.12 \cdot 10^{-3}$	$3.444 \cdot 10^{-4}$	$1.106 \cdot 10^{-3}$
8	$1.525 \cdot 10^{-3}$	$4.207 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$4.165 \cdot 10^{-4}$	$1.484 \cdot 10^{-3}$
9	$1.98 \cdot 10^{-3}$	$4.875 \cdot 10^{-4}$	$1.951 \cdot 10^{-3}$	$4.84 \cdot 10^{-4}$	$1.932 \cdot 10^{-3}$
10	$2.493 \cdot 10^{-3}$	$5.334 \cdot 10^{-4}$	$2.461 \cdot 10^{-3}$	$5.316 \cdot 10^{-4}$	$2.441 \cdot 10^{-3}$
11	$3.033 \cdot 10^{-3}$	$5.397 \cdot 10^{-4}$	$3.001 \cdot 10^{-3}$	$5.408 \cdot 10^{-4}$	$2.981 \cdot 10^{-3}$
12	$3.553 \cdot 10^{-3}$	$4.879 \cdot 10^{-4}$	$3.524 \cdot 10^{-3}$	$4.929 \cdot 10^{-4}$	$3.505 \cdot 10^{-3}$
13	$3.985 \cdot 10^{-3}$	$3.633 \cdot 10^{-4}$	$3.963 \cdot 10^{-3}$	$3.729 \cdot 10^{-4}$	$3.949 \cdot 10^{-3}$
14	$4.253 \cdot 10^{-3}$	$1.588 \cdot 10^{-4}$	$4.243 \cdot 10^{-3}$	$1.732 \cdot 10^{-4}$	$4.237 \cdot 10^{-3}$
15	$4.277 \cdot 10^{-3}$	$-1.224 \cdot 10^{-4}$	$4.284 \cdot 10^{-3}$	$-1.037 \cdot 10^{-4}$	$4.288 \cdot 10^{-3}$
16	$3.988 \cdot 10^{-3}$	$-4.646 \cdot 10^{-4}$	$4.015 \cdot 10^{-3}$	$-4.429 \cdot 10^{-4}$	$4.033 \cdot 10^{-3}$
17	$3.336 \cdot 10^{-3}$	$-8.401 \cdot 10^{-4}$	$3.386 \cdot 10^{-3}$	$-8.173 \cdot 10^{-4}$	$3.419 \cdot 10^{-3}$
18	$2.309 \cdot 10^{-3}$	$-1.211 \cdot 10^{-3}$	$2.381 \cdot 10^{-3}$	$-1.19 \cdot 10^{-3}$	$2.428 \cdot 10^{-3}$
19	$9.309 \cdot 10^{-4}$	$-1.533 \cdot 10^{-3}$	$1.022 \cdot 10^{-3}$	$-1.516 \cdot 10^{-3}$	$1.082 \cdot 10^{-3}$
20	$-7.254 \cdot 10^{-4}$	$-1.76 \cdot 10^{-3}$	$-6.203 \cdot 10^{-4}$	$-1.75 \cdot 10^{-3}$	$-5.516 \cdot 10^{-4}$
21	$-2.545 \cdot 10^{-3}$	$-1.854 \cdot 10^{-3}$	$-2.434 \cdot 10^{-3}$	$-1.852 \cdot 10^{-3}$	$-2.362 \cdot 10^{-3}$
22	$-4.378 \cdot 10^{-3}$	$-1.784 \cdot 10^{-3}$	$-4.271 \cdot 10^{-3}$	$-1.793 \cdot 10^{-3}$	$-4.201 \cdot 10^{-3}$
23	$-6.053 \cdot 10^{-3}$	$-1.537 \cdot 10^{-3}$	$-5.961 \cdot 10^{-3}$	$-1.557 \cdot 10^{-3}$	$-5.9 \cdot 10^{-3}$
24	$-7.396 \cdot 10^{-3}$	$-1.122 \cdot 10^{-3}$	$-7.328 \cdot 10^{-3}$	$-1.152 \cdot 10^{-3}$	$-7.284 \cdot 10^{-3}$
25	$-8.251 \cdot 10^{-3}$	$-5.667 \cdot 10^{-4}$	$-8.216 \cdot 10^{-3}$	$-6.032 \cdot 10^{-4}$	$-8.193 \cdot 10^{-3}$
26	$-8.498 \cdot 10^{-3}$	$8.283 \cdot 10^{-5}$	$-8.502 \cdot 10^{-3}$	$4.226 \cdot 10^{-5}$	$-8.505 \cdot 10^{-3}$
27	$-8.075 \cdot 10^{-3}$	$7.64 \cdot 10^{-4}$	$-8.119 \cdot 10^{-3}$	$7.234 \cdot 10^{-4}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

F.3 Neoprene

Kekuatan 6 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.294 \cdot 10^{-5}$	$3.553 \cdot 10^{-5}$	$1.294 \cdot 10^{-5}$	$3.553 \cdot 10^{-5}$
2	2	$9.185 \cdot 10^{-5}$	$1.333 \cdot 10^{-4}$	$9.185 \cdot 10^{-5}$	$1.333 \cdot 10^{-4}$
3	3	$2.889 \cdot 10^{-4}$	$2.699 \cdot 10^{-4}$	$2.889 \cdot 10^{-4}$	$2.699 \cdot 10^{-4}$
4	4	$6.271 \cdot 10^{-4}$	$4.105 \cdot 10^{-4}$	$6.271 \cdot 10^{-4}$	$4.105 \cdot 10^{-4}$
5	5	$1.094 \cdot 10^{-3}$	$5.157 \cdot 10^{-4}$	$1.094 \cdot 10^{-3}$	$5.157 \cdot 10^{-4}$
6	6	$1.634 \cdot 10^{-3}$	$5.478 \cdot 10^{-4}$	$1.634 \cdot 10^{-3}$	$5.478 \cdot 10^{-4}$
7	7	$2.157 \cdot 10^{-3}$	$4.789 \cdot 10^{-4}$	$2.157 \cdot 10^{-3}$	$4.789 \cdot 10^{-4}$
8	8	$2.557 \cdot 10^{-3}$	$2.983 \cdot 10^{-4}$	$2.557 \cdot 10^{-3}$	$2.983 \cdot 10^{-4}$
9	9	$2.724 \cdot 10^{-3}$	$1.596 \cdot 10^{-5}$	$2.724 \cdot 10^{-3}$	$1.596 \cdot 10^{-5}$
10	10	$2.569 \cdot 10^{-3}$	$-3.378 \cdot 10^{-4}$	$2.569 \cdot 10^{-3}$	$-3.378 \cdot 10^{-4}$
11	11	$2.042 \cdot 10^{-3}$	$-7.148 \cdot 10^{-4}$	$2.042 \cdot 10^{-3}$	$-7.148 \cdot 10^{-4}$
12	12	$1.149 \cdot 10^{-3}$	$-1.056 \cdot 10^{-3}$	$1.149 \cdot 10^{-3}$	$-1.056 \cdot 10^{-3}$
sol = 13	13	$-4.221 \cdot 10^{-5}$	$-1.302 \cdot 10^{-3}$	$-4.221 \cdot 10^{-5}$	$-1.302 \cdot 10^{-3}$
14	14	$-1.409 \cdot 10^{-3}$	$-1.4 \cdot 10^{-3}$	$-1.409 \cdot 10^{-3}$	$-1.4 \cdot 10^{-3}$
15	15	$-2.785 \cdot 10^{-3}$	$-1.316 \cdot 10^{-3}$	$-2.785 \cdot 10^{-3}$	$-1.316 \cdot 10^{-3}$
16	16	$-3.981 \cdot 10^{-3}$	$-1.042 \cdot 10^{-3}$	$-3.981 \cdot 10^{-3}$	$-1.042 \cdot 10^{-3}$
17	17	$-4.813 \cdot 10^{-3}$	$-5.959 \cdot 10^{-4}$	$-4.813 \cdot 10^{-3}$	$-5.959 \cdot 10^{-4}$
18	18	$-5.132 \cdot 10^{-3}$	$-2.237 \cdot 10^{-5}$	$-5.132 \cdot 10^{-3}$	$-2.237 \cdot 10^{-5}$
19	19	$-4.846 \cdot 10^{-3}$	$6.108 \cdot 10^{-4}$	$-4.846 \cdot 10^{-3}$	$6.108 \cdot 10^{-4}$
20	20	$-3.932 \cdot 10^{-3}$	$1.224 \cdot 10^{-3}$	$-3.932 \cdot 10^{-3}$	$1.224 \cdot 10^{-3}$
21	21	$-2.45 \cdot 10^{-3}$	$1.732 \cdot 10^{-3}$	$-2.45 \cdot 10^{-3}$	$1.732 \cdot 10^{-3}$
22	22	$-5.387 \cdot 10^{-4}$	$2.058 \cdot 10^{-3}$	$-5.387 \cdot 10^{-4}$	$2.058 \cdot 10^{-3}$
23	23	$1.59 \cdot 10^{-3}$	$2.143 \cdot 10^{-3}$	$1.59 \cdot 10^{-3}$	$2.143 \cdot 10^{-3}$
24	24	$3.672 \cdot 10^{-3}$	$1.958 \cdot 10^{-3}$	$3.672 \cdot 10^{-3}$	$1.958 \cdot 10^{-3}$
25	25	$5.433 \cdot 10^{-3}$	$1.509 \cdot 10^{-3}$	$5.433 \cdot 10^{-3}$	$1.509 \cdot 10^{-3}$
26	26	$6.629 \cdot 10^{-3}$	$8.392 \cdot 10^{-4}$	$6.629 \cdot 10^{-3}$	$8.392 \cdot 10^{-4}$
27	27	$7.075 \cdot 10^{-3}$	$2.412 \cdot 10^{-5}$	$7.075 \cdot 10^{-3}$	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$8.966 \cdot 10^{-8}$	$1.661 \cdot 10^{-7}$	$7.976 \cdot 10^{-8}$	$1.645 \cdot 10^{-7}$	$7.326 \cdot 10^{-8}$
2	$3.517 \cdot 10^{-7}$	$3.51 \cdot 10^{-7}$	$3.312 \cdot 10^{-7}$	$3.435 \cdot 10^{-7}$	$3.178 \cdot 10^{-7}$
3	$8.309 \cdot 10^{-7}$	$6.127 \cdot 10^{-7}$	$7.955 \cdot 10^{-7}$	$5.939 \cdot 10^{-7}$	$7.727 \cdot 10^{-7}$
4	$1.646 \cdot 10^{-6}$	$1.037 \cdot 10^{-6}$	$1.586 \cdot 10^{-6}$	$1.006 \cdot 10^{-6}$	$1.548 \cdot 10^{-6}$
5	$3.004 \cdot 10^{-6}$	$1.722 \cdot 10^{-6}$	$2.904 \cdot 10^{-6}$	$1.673 \cdot 10^{-6}$	$2.84 \cdot 10^{-6}$
6	$5.198 \cdot 10^{-6}$	$2.726 \cdot 10^{-6}$	$5.04 \cdot 10^{-6}$	$2.66 \cdot 10^{-6}$	$4.937 \cdot 10^{-6}$
7	$8.557 \cdot 10^{-6}$	$4.053 \cdot 10^{-6}$	$8.321 \cdot 10^{-6}$	$3.965 \cdot 10^{-6}$	$8.169 \cdot 10^{-6}$
8	$1.336 \cdot 10^{-5}$	$5.59 \cdot 10^{-6}$	$1.303 \cdot 10^{-5}$	$5.501 \cdot 10^{-6}$	$1.282 \cdot 10^{-5}$
9	$1.973 \cdot 10^{-5}$	$7.194 \cdot 10^{-6}$	$1.931 \cdot 10^{-5}$	$7.072 \cdot 10^{-6}$	$1.904 \cdot 10^{-5}$
10	$2.759 \cdot 10^{-5}$	$8.51 \cdot 10^{-6}$	$2.709 \cdot 10^{-5}$	$8.424 \cdot 10^{-6}$	$2.677 \cdot 10^{-5}$
11	$3.653 \cdot 10^{-5}$	$9.315 \cdot 10^{-6}$	$3.598 \cdot 10^{-5}$	$9.205 \cdot 10^{-6}$	$3.563 \cdot 10^{-5}$
12	$4.581 \cdot 10^{-5}$	$8.94 \cdot 10^{-6}$	$4.526 \cdot 10^{-5}$	$9.171 \cdot 10^{-6}$	$4.49 \cdot 10^{-5}$
13	$5.435 \cdot 10^{-5}$	$8.038 \cdot 10^{-6}$	$5.389 \cdot 10^{-5}$	$7.825 \cdot 10^{-6}$	$5.361 \cdot 10^{-5}$
14	$6.096 \cdot 10^{-5}$	$4.756 \cdot 10^{-6}$	$6.063 \cdot 10^{-5}$	$5.456 \cdot 10^{-6}$	$6.041 \cdot 10^{-5}$
15	$6.426 \cdot 10^{-5}$	$1.297 \cdot 10^{-6}$	$6.418 \cdot 10^{-5}$	$1.466 \cdot 10^{-6}$	$6.413 \cdot 10^{-5}$
16	$6.308 \cdot 10^{-5}$	$-3.67 \cdot 10^{-6}$	$6.33 \cdot 10^{-5}$	$-3.488 \cdot 10^{-6}$	$6.345 \cdot 10^{-5}$
17	$5.655 \cdot 10^{-5}$	$-9.463 \cdot 10^{-6}$	$5.71 \cdot 10^{-5}$	$-9.046 \cdot 10^{-6}$	$5.746 \cdot 10^{-5}$
18	$4.426 \cdot 10^{-5}$	$-1.514 \cdot 10^{-5}$	$4.516 \cdot 10^{-5}$	$-1.483 \cdot 10^{-5}$	$4.575 \cdot 10^{-5}$
19	$2.646 \cdot 10^{-5}$	$-2.039 \cdot 10^{-5}$	$2.767 \cdot 10^{-5}$	$-2.011 \cdot 10^{-5}$	$2.847 \cdot 10^{-5}$
20	$4.012 \cdot 10^{-6}$	$-2.439 \cdot 10^{-5}$	$5.468 \cdot 10^{-6}$	$-2.42 \cdot 10^{-5}$	$6.419 \cdot 10^{-6}$
21	$-2.158 \cdot 10^{-5}$	$-2.656 \cdot 10^{-5}$	$-1.999 \cdot 10^{-5}$	$-2.649 \cdot 10^{-5}$	$-1.895 \cdot 10^{-5}$
22	$-4.827 \cdot 10^{-5}$	$-2.641 \cdot 10^{-5}$	$-4.669 \cdot 10^{-5}$	$-2.649 \cdot 10^{-5}$	$-4.565 \cdot 10^{-5}$
23	$-7.362 \cdot 10^{-5}$	$-2.37 \cdot 10^{-5}$	$-7.219 \cdot 10^{-5}$	$-2.394 \cdot 10^{-5}$	$-7.125 \cdot 10^{-5}$
24	$-9.499 \cdot 10^{-5}$	$-1.848 \cdot 10^{-5}$	$-9.387 \cdot 10^{-5}$	$-1.886 \cdot 10^{-5}$	$-9.313 \cdot 10^{-5}$
25	$-1.1 \cdot 10^{-4}$	$-1.108 \cdot 10^{-5}$	$-1.093 \cdot 10^{-4}$	$-1.158 \cdot 10^{-5}$	$-1.089 \cdot 10^{-4}$
26	$-1.168 \cdot 10^{-4}$	$-2.154 \cdot 10^{-6}$	$-1.166 \cdot 10^{-4}$	$-2.72 \cdot 10^{-6}$	$-1.165 \cdot 10^{-4}$
27	$-1.142 \cdot 10^{-4}$	$7.443 \cdot 10^{-6}$	$-1.146 \cdot 10^{-4}$	$6.868 \cdot 10^{-6}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 7 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.278 \cdot 10^{-4}$	$3.562 \cdot 10^{-4}$	$1.278 \cdot 10^{-4}$	$3.562 \cdot 10^{-4}$
2	2	$9.269 \cdot 10^{-4}$	$1.341 \cdot 10^{-3}$	$9.269 \cdot 10^{-4}$	$1.341 \cdot 10^{-3}$
3	3	$2.928 \cdot 10^{-3}$	$2.712 \cdot 10^{-3}$	$2.928 \cdot 10^{-3}$	$2.712 \cdot 10^{-3}$
4	4	$6.359 \cdot 10^{-3}$	$4.119 \cdot 10^{-3}$	$6.359 \cdot 10^{-3}$	$4.119 \cdot 10^{-3}$
5	5	0.011	$5.154 \cdot 10^{-3}$	0.011	$5.154 \cdot 10^{-3}$
6	6	0.016	$5.444 \cdot 10^{-3}$	0.016	$5.444 \cdot 10^{-3}$
7	7	0.022	$4.726 \cdot 10^{-3}$	0.022	$4.726 \cdot 10^{-3}$
8	8	0.026	$2.906 \cdot 10^{-3}$	0.026	$2.906 \cdot 10^{-3}$
9	9	0.027	$8.833 \cdot 10^{-5}$	0.027	$8.833 \cdot 10^{-5}$
10	10	0.025	$-3.42 \cdot 10^{-3}$	0.025	$-3.42 \cdot 10^{-3}$
11	11	0.02	$-7.145 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-7.145 \cdot 10^{-3}$
12	12	0.011	-0.011	0.011	-0.011
sol - 13	13	$-5.247 \cdot 10^{-4}$	-0.013	$-5.247 \cdot 10^{-4}$	-0.013
14	14	-0.014	-0.014	-0.014	-0.014
15	15	-0.028	-0.013	-0.028	-0.013
16	16	-0.04	-0.01	-0.04	-0.01
17	17	-0.048	$-5.919 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$-5.919 \cdot 10^{-3}$
18	18	-0.051	$-2.202 \cdot 10^{-4}$	-0.051	$-2.202 \cdot 10^{-4}$
19	19	-0.048	$6.077 \cdot 10^{-3}$	-0.048	$6.077 \cdot 10^{-3}$
20	20	-0.039	0.012	-0.039	0.012
21	21	-0.024	0.017	-0.024	0.017
22	22	$-5.129 \cdot 10^{-3}$	0.02	$-5.129 \cdot 10^{-3}$	0.02
23	23	0.016	0.021	0.016	0.021
24	24	0.036	0.019	0.036	0.019
25	25	0.054	0.015	0.054	0.015
26	26	0.065	$8.301 \cdot 10^{-3}$	0.065	$8.301 \cdot 10^{-3}$
27	27	0.07	$2.861 \cdot 10^{-4}$	0.07	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$8.915 \cdot 10^{-7}$	$1.705 \cdot 10^{-6}$	$7.95 \cdot 10^{-7}$	$1.622 \cdot 10^{-6}$	$7.329 \cdot 10^{-7}$
2	$3.483 \cdot 10^{-6}$	$3.518 \cdot 10^{-6}$	$3.281 \cdot 10^{-6}$	$3.398 \cdot 10^{-6}$	$3.15 \cdot 10^{-6}$
3	$8.206 \cdot 10^{-6}$	$6.09 \cdot 10^{-6}$	$7.854 \cdot 10^{-6}$	$5.903 \cdot 10^{-6}$	$7.628 \cdot 10^{-6}$
4	$1.625 \cdot 10^{-5}$	$1.037 \cdot 10^{-5}$	$1.566 \cdot 10^{-5}$	$1.005 \cdot 10^{-5}$	$1.527 \cdot 10^{-5}$
5	$2.983 \cdot 10^{-5}$	$1.732 \cdot 10^{-5}$	$2.883 \cdot 10^{-5}$	$1.683 \cdot 10^{-5}$	$2.819 \cdot 10^{-5}$
6	$5.196 \cdot 10^{-5}$	$2.754 \cdot 10^{-5}$	$5.037 \cdot 10^{-5}$	$2.684 \cdot 10^{-5}$	$4.934 \cdot 10^{-5}$
7	$8.591 \cdot 10^{-5}$	$4.09 \cdot 10^{-5}$	$8.353 \cdot 10^{-5}$	$4.003 \cdot 10^{-5}$	$8.199 \cdot 10^{-5}$
8	$1.344 \cdot 10^{-4}$	$5.638 \cdot 10^{-5}$	$1.311 \cdot 10^{-4}$	$5.543 \cdot 10^{-5}$	$1.29 \cdot 10^{-4}$
9	$1.987 \cdot 10^{-4}$	$7.202 \cdot 10^{-5}$	$1.944 \cdot 10^{-4}$	$7.113 \cdot 10^{-5}$	$1.917 \cdot 10^{-4}$
10	$2.775 \cdot 10^{-4}$	$8.506 \cdot 10^{-5}$	$2.725 \cdot 10^{-4}$	$8.441 \cdot 10^{-5}$	$2.692 \cdot 10^{-4}$
11	$3.668 \cdot 10^{-4}$	$9.226 \cdot 10^{-5}$	$3.613 \cdot 10^{-4}$	$9.205 \cdot 10^{-5}$	$3.578 \cdot 10^{-4}$
12	$4.591 \cdot 10^{-4}$	$9.044 \cdot 10^{-5}$	$4.537 \cdot 10^{-4}$	$9.085 \cdot 10^{-5}$	$4.502 \cdot 10^{-4}$
13	$5.439 \cdot 10^{-4}$	$7.705 \cdot 10^{-5}$	$5.393 \cdot 10^{-4}$	$7.82 \cdot 10^{-5}$	$5.363 \cdot 10^{-4}$
14	$6.089 \cdot 10^{-4}$	$5.071 \cdot 10^{-5}$	$6.058 \cdot 10^{-4}$	$5.264 \cdot 10^{-5}$	$6.038 \cdot 10^{-4}$
15	$6.411 \cdot 10^{-4}$	$1.166 \cdot 10^{-5}$	$6.403 \cdot 10^{-4}$	$1.431 \cdot 10^{-5}$	$6.398 \cdot 10^{-4}$
16	$6.287 \cdot 10^{-4}$	$-3.8 \cdot 10^{-5}$	$6.309 \cdot 10^{-4}$	$-3.48 \cdot 10^{-5}$	$6.323 \cdot 10^{-4}$
17	$5.629 \cdot 10^{-4}$	$-9.428 \cdot 10^{-5}$	$5.684 \cdot 10^{-4}$	$-9.082 \cdot 10^{-5}$	$5.721 \cdot 10^{-4}$
18	$4.397 \cdot 10^{-4}$	$-1.516 \cdot 10^{-4}$	$4.487 \cdot 10^{-4}$	$-1.483 \cdot 10^{-4}$	$4.546 \cdot 10^{-4}$
19	$2.614 \cdot 10^{-4}$	$-2.035 \cdot 10^{-4}$	$2.735 \cdot 10^{-4}$	$-2.007 \cdot 10^{-4}$	$2.814 \cdot 10^{-4}$
20	$3.674 \cdot 10^{-5}$	$-2.43 \cdot 10^{-4}$	$5.124 \cdot 10^{-5}$	$-2.411 \cdot 10^{-4}$	$6.073 \cdot 10^{-5}$
21	$-2.187 \cdot 10^{-4}$	$-2.641 \cdot 10^{-4}$	$-2.029 \cdot 10^{-4}$	$-2.635 \cdot 10^{-4}$	$-1.925 \cdot 10^{-4}$
22	$-4.84 \cdot 10^{-4}$	$-2.622 \cdot 10^{-4}$	$-4.682 \cdot 10^{-4}$	$-2.63 \cdot 10^{-4}$	$-4.579 \cdot 10^{-4}$
23	$-7.347 \cdot 10^{-4}$	$-2.349 \cdot 10^{-4}$	$-7.206 \cdot 10^{-4}$	$-2.372 \cdot 10^{-4}$	$-7.113 \cdot 10^{-4}$
24	$-9.456 \cdot 10^{-4}$	$-1.828 \cdot 10^{-4}$	$-9.345 \cdot 10^{-4}$	$-1.865 \cdot 10^{-4}$	$-9.272 \cdot 10^{-4}$
25	$-1.093 \cdot 10^{-3}$	$-1.094 \cdot 10^{-4}$	$-1.086 \cdot 10^{-3}$	$-1.143 \cdot 10^{-4}$	$-1.082 \cdot 10^{-3}$
26	$-1.159 \cdot 10^{-3}$	$-2.096 \cdot 10^{-5}$	$-1.158 \cdot 10^{-3}$	$-2.654 \cdot 10^{-5}$	$-1.157 \cdot 10^{-3}$
27	$-1.133 \cdot 10^{-3}$	$7.392 \cdot 10^{-5}$	$-1.137 \cdot 10^{-3}$	$6.821 \cdot 10^{-5}$	...

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

Kekuatan 8 Ms

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	0
1	1	$1.215 \cdot 10^{-3}$	$3.576 \cdot 10^{-3}$	$1.215 \cdot 10^{-3}$	$3.576 \cdot 10^{-3}$
2	2	$9.271 \cdot 10^{-3}$	0.013	$9.271 \cdot 10^{-3}$	0.013
3	3	0.029	0.027	0.029	0.027
4	4	0.064	0.041	0.064	0.041
5	5	0.111	0.051	0.111	0.051
6	6	0.164	0.054	0.164	0.054
7	7	0.216	0.047	0.216	0.047
8	8	0.255	0.029	0.255	0.029
9	9	0.27	$8.662 \cdot 10^{-4}$	0.27	$8.662 \cdot 10^{-4}$
10	10	0.254	-0.034	0.254	-0.034
11	11	0.201	-0.071	0.201	-0.071
12	12	0.113	-0.105	0.113	-0.105
sol - 13	13	$-5.137 \cdot 10^{-3}$	-0.129	$-5.137 \cdot 10^{-3}$	-0.129
14	14	-0.14	-0.139	-0.14	-0.139
15	15	-0.277	-0.131	-0.277	-0.131
16	16	-0.395	-0.103	-0.395	-0.103
17	17	-0.478	-0.059	-0.478	-0.059
18	18	-0.509	$-2.396 \cdot 10^{-3}$	-0.509	$-2.396 \cdot 10^{-3}$
19	19	-0.481	0.06	-0.481	0.06
20	20	-0.389	0.121	-0.389	0.121
21	21	-0.241	0.172	-0.241	0.172
22	22	-0.052	0.204	-0.052	0.204
23	23	0.158	0.212	0.158	0.212
24	24	0.363	0.193	0.363	0.193
25	25	0.536	0.149	0.536	0.149
26	26	0.654	0.083	0.654	0.083
27	27	0.698	$3.377 \cdot 10^{-3}$	0.698	...

	7	8	9	10	11
0	0	0	0	0	0
1	$8.903 \cdot 10^{-6}$	$1.706 \cdot 10^{-5}$	$7.942 \cdot 10^{-6}$	$1.617 \cdot 10^{-5}$	$7.326 \cdot 10^{-6}$
2	$3.47 \cdot 10^{-5}$	$3.505 \cdot 10^{-5}$	$3.268 \cdot 10^{-5}$	$3.386 \cdot 10^{-5}$	$3.138 \cdot 10^{-5}$
3	$8.162 \cdot 10^{-5}$	$6.079 \cdot 10^{-5}$	$7.811 \cdot 10^{-5}$	$5.89 \cdot 10^{-5}$	$7.585 \cdot 10^{-5}$
4	$1.621 \cdot 10^{-4}$	$1.039 \cdot 10^{-4}$	$1.561 \cdot 10^{-4}$	$1.007 \cdot 10^{-4}$	$1.522 \cdot 10^{-4}$
5	$2.983 \cdot 10^{-4}$	$1.737 \cdot 10^{-4}$	$2.882 \cdot 10^{-4}$	$1.687 \cdot 10^{-4}$	$2.818 \cdot 10^{-4}$
6	$5.203 \cdot 10^{-4}$	$2.76 \cdot 10^{-4}$	$5.043 \cdot 10^{-4}$	$2.69 \cdot 10^{-4}$	$4.939 \cdot 10^{-4}$
7	$8.606 \cdot 10^{-4}$	$4.095 \cdot 10^{-4}$	$8.367 \cdot 10^{-4}$	$4.008 \cdot 10^{-4}$	$8.213 \cdot 10^{-4}$
8	$1.346 \cdot 10^{-3}$	$5.641 \cdot 10^{-4}$	$1.313 \cdot 10^{-3}$	$5.546 \cdot 10^{-4}$	$1.292 \cdot 10^{-3}$
9	$1.989 \cdot 10^{-3}$	$7.2 \cdot 10^{-4}$	$1.947 \cdot 10^{-3}$	$7.111 \cdot 10^{-4}$	$1.919 \cdot 10^{-3}$
10	$2.777 \cdot 10^{-3}$	$8.497 \cdot 10^{-4}$	$2.727 \cdot 10^{-3}$	$8.432 \cdot 10^{-4}$	$2.695 \cdot 10^{-3}$
11	$3.669 \cdot 10^{-3}$	$9.211 \cdot 10^{-4}$	$3.615 \cdot 10^{-3}$	$9.19 \cdot 10^{-4}$	$3.579 \cdot 10^{-3}$
12	$4.59 \cdot 10^{-3}$	$9.026 \cdot 10^{-4}$	$4.536 \cdot 10^{-3}$	$9.067 \cdot 10^{-4}$	$4.501 \cdot 10^{-3}$
13	$5.436 \cdot 10^{-3}$	$7.688 \cdot 10^{-4}$	$5.39 \cdot 10^{-3}$	$7.803 \cdot 10^{-4}$	$5.36 \cdot 10^{-3}$
14	$6.084 \cdot 10^{-3}$	$5.057 \cdot 10^{-4}$	$6.054 \cdot 10^{-3}$	$5.25 \cdot 10^{-4}$	$6.034 \cdot 10^{-3}$
15	$6.405 \cdot 10^{-3}$	$1.158 \cdot 10^{-4}$	$6.397 \cdot 10^{-3}$	$1.423 \cdot 10^{-4}$	$6.393 \cdot 10^{-3}$
16	$6.28 \cdot 10^{-3}$	$-3.799 \cdot 10^{-4}$	$6.302 \cdot 10^{-3}$	$-3.48 \cdot 10^{-4}$	$6.317 \cdot 10^{-3}$
17	$5.623 \cdot 10^{-3}$	$-9.418 \cdot 10^{-4}$	$5.678 \cdot 10^{-3}$	$-9.073 \cdot 10^{-4}$	$5.714 \cdot 10^{-3}$
18	$4.393 \cdot 10^{-3}$	$-1.515 \cdot 10^{-3}$	$4.482 \cdot 10^{-3}$	$-1.481 \cdot 10^{-3}$	$4.541 \cdot 10^{-3}$
19	$2.612 \cdot 10^{-3}$	$-2.033 \cdot 10^{-3}$	$2.733 \cdot 10^{-3}$	$-2.004 \cdot 10^{-3}$	$2.812 \cdot 10^{-3}$
20	$3.685 \cdot 10^{-4}$	$-2.428 \cdot 10^{-3}$	$5.134 \cdot 10^{-4}$	$-2.409 \cdot 10^{-3}$	$6.081 \cdot 10^{-4}$
21	$-2.183 \cdot 10^{-3}$	$-2.639 \cdot 10^{-3}$	$-2.025 \cdot 10^{-3}$	$-2.633 \cdot 10^{-3}$	$-1.921 \cdot 10^{-3}$
22	$-4.833 \cdot 10^{-3}$	$-2.621 \cdot 10^{-3}$	$-4.676 \cdot 10^{-3}$	$-2.629 \cdot 10^{-3}$	$-4.573 \cdot 10^{-3}$
23	$-7.339 \cdot 10^{-3}$	$-2.349 \cdot 10^{-3}$	$-7.198 \cdot 10^{-3}$	$-2.372 \cdot 10^{-3}$	$-7.105 \cdot 10^{-3}$
24	$-9.448 \cdot 10^{-3}$	$-1.829 \cdot 10^{-3}$	$-9.337 \cdot 10^{-3}$	$-1.867 \cdot 10^{-3}$	$-9.265 \cdot 10^{-3}$
25	-0.011	$-1.096 \cdot 10^{-3}$	-0.011	$-1.145 \cdot 10^{-3}$	-0.011
26	-0.012	$-2.131 \cdot 10^{-4}$	-0.012	$-2.689 \cdot 10^{-4}$	-0.012
27	-0.011	$7.353 \cdot 10^{-4}$	-0.011	$6.782 \cdot 10^{-4}$	...

sol -

Keterangan:

- Kolom 0 adalah waktu
- Kolom 7 adalah perpindahan pada lantai pertama
- Kolom 9 adalah perpindahan pada lantai kedua
- Kolom 11 adalah perpindahan pada lantai ketiga

LAMPIRAN G PERHITUNGAN MODE SHAPES

Untuk mendapatkan *mode shapes*, dapat menggunakan persamaan berikut:

$$(A - \lambda I)(X) = 0$$

Dimana,

$$A = M^{-1}K$$

Keterangan:

M adalah massa

K adalah kekakuan

λ adalah *eigenvalue* (frekuensi alami)

I adalah matriks identitas

X adalah *eigenvector* (*mode shapes*)

G.1 Bangunan

$$M = \begin{pmatrix} 902000 & 0 & 0 \\ 0 & 388590 & 0 \\ 0 & 0 & 176690 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 2 * 28475.448 & -28475.448 & 0 \\ -28475.448 & 2 * 28475.448 & -28475.448 \\ 0 & -28475.448 & 28475.448 \end{pmatrix}$$

Sehingga

$$A = \begin{pmatrix} 0.063 & -0.032 & 0 \\ -0.073 & 0.147 & -0.073 \\ 0 & -0.161 & 0.161 \end{pmatrix}$$

Dengan nilai $\lambda = 0,38$ maka:

$$(A - \lambda I)(X) = 0$$

$$\left[\begin{pmatrix} 0.063 & -0.032 & 0 \\ -0.073 & 0.147 & -0.073 \\ 0 & -0.161 & 0.161 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 0.38 \end{pmatrix} \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.317 & -0.032 & 0 \\ -0.073 & 0.147 & -0.073 \\ 0 & -0.161 & 0.161 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai untuk $x_1 = -0.08$, $x_2 = 0.8$, dan $x_3 = -0.59$

G.2 DVA Material *Natural Rubber*

$$M = \begin{pmatrix} 4000 & 0 & 0 \\ 0 & 4000 & 0 \\ 0 & 0 & 3000 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 2 * 291.77 & 0 & -291.77 \\ 0 & 2 * 291.77 & -291.77 \\ -291.77 & -291.77 & 28475.448 + 2 * 291.77 \end{pmatrix}$$

Sehingga

$$A = \begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.686 \end{pmatrix}$$

Dengan nilai $\lambda = 0,38$ maka:

$$(A - \lambda I)(X) = 0$$

$$\left[\begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.686 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 0.38 \end{pmatrix} \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.234 & 0 & -0.073 \\ 0 & -0.234 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.306 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai untuk $x_1 = 0.707$, $x_2 = 0.707$, dan $x_3 = 0.014$

G.3 DVA Material *Butyl Rubber*

$$M = \begin{pmatrix} 3956 & 0 & 0 \\ 0 & 3956 & 0 \\ 0 & 0 & 2962.2 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 2 * 288.53 & 0 & -288.53 \\ 0 & 2 * 288.53 & -288.53 \\ -288.53 & -288.53 & 28475.448 + 2 * 288.53 \end{pmatrix}$$

Sehingga

$$A = \begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.807 \end{pmatrix}$$

Dengan nilai $\lambda = 0,38$ maka:

$$(A - \lambda I)(X) = 0$$

$$\left[\begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.807 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 0.38 \end{pmatrix} \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.234 & 0 & -0.073 \\ 0 & -0.234 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 9.427 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai untuk $x_1 = 0.707$, $x_2 = 0.707$, dan $x_3 = 0.014$

G.4 DVA Material Neoprene

$$M = \begin{pmatrix} 5289 & 0 & 0 \\ 0 & 5289 & 0 \\ 0 & 0 & 3960.6 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 2 * 387.09 & 0 & -387.09 \\ 0 & 2 * 387.09 & -387.09 \\ -387.09 & -387.09 & 28475.448 + 2 * 387.09 \end{pmatrix}$$

Sehingga

$$A = \begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 7.385 \end{pmatrix}$$

Dengan nilai $\lambda = 0,38$ maka:

$$(A - \lambda I)(X) = 0$$

$$\left[\begin{pmatrix} 0.146 & 0 & -0.073 \\ 0 & 0.146 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 7.385 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.38 & 0 & 0 \\ 0 & 0.38 & 0 \\ 0 & 0 & 0.38 \end{pmatrix} \right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -0.234 & 0 & -0.073 \\ 0 & -0.234 & -0.073 \\ -0.097 & -0.097 & 7.005 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Didapatkan nilai untuk $x_1 = 0.707$, $x_2 = 0.707$, dan $x_3 = 0.019$

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Lahir di Kota Bukittinggi, 31 Maret 1997. Penulis menempuh pendidikan formal di SDI Al-Ishlah pada tahun 2003-2009. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di MTs N 1 Bukittinggi pada tahun 2009-2012. Selanjutnya sekolah menengah atas di SMAN 1 Bukittinggi pada tahun 2012-2015. Setelah menyelesaikan salah satu program pemerintah yaitu wajib belajar selama 12 tahun. Penulis melanjutkan studi ke perguruan tinggi negeri, yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, pada Departemen Teknik Fisika. Semasa kuliah, penulis aktif dalam beberapa kegiatan, dan organisasi. Salah satunya menjadi asisten Laboratorium Vibrasi, dan Akustik. Bagi para pembaca yang memiliki kritik, saran, atau berkeinginan berdiskusi, dapat menghubungi penulis via email: adityayudhistira97@gmail.com.

Halaman ini memang dikosongkan