



**ANALISIS STRUKTUR PERBANDINGAN GEDUNG
MENGUNAKAN *BASE ISOLATION* TIPE *HIGH
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)* DAN *FRICTION
PENDULUM SYSTEM (FPS)***

SKRIPSI

**IKA RAHMA RIDHAWATI
NIM 20211333007**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. YUDHA LESMANA, S.ST., M.T**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
2026**



**ANALISIS STRUKTUR PERBANDINGAN GEDUNG
MENGUNAKAN *BASE ISOLATION* TIPE *HIGH
DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)* DAN *FRICTION
PENDULUM SYSTEM (FPS)***

SKRIPSI

Diajukan kepada Universitas Muhammadiyah Surabaya
Untuk memenuhi syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik

**IKA RAHMA RIDHAWATI
NIM 20211333007**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. YUDHA LESMANA, S.ST., M.T**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURABAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
2026**

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Ika Rahma Ridhawati
NIM : 20211333007
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya, dan bukan merupakan plagiasi baik sebagian atau seluruhnya.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil plagiasi, baik Sebagian atau seluruhnya, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Surabaya, 6 Februari 2026

Yang membuat pernyataan,



Ika Ridhawati
Ika Rahma Ridhawati
NIM. 20211333007

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)


Oleh:
IKA RAHMA RIDHAWATI
20211333007

Tanggal Ujian: 26 Januari 2026

Dewan Penguji,



Dr. Yudha Lesmana, S.ST., M.T
Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Mohammad Taufik, DEA
Dosen Penguji I



Rizky Tri Amalia, S.T., M.T
Dosen Penguji II



Dr. Yanisfa Septiarilia, S.ST., M.T
Dosen Penguji III



Ir. Vippy Dharmawan, M.Ars



Anna Rosvtha, S.T., M.T

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar S.T pada Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya

| No. | Dosen Pembimbing | Tanda Tangan | Tanggal |
|-----|-------------------------------|---|---------------|
| I. | Dr. Yudha Lesmana, S.ST., M.T |  | 25 - 2 - 2026 |

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Anfra Rosytha, S.T., M.T.

Halaman ini sengaja dikosongkan

*Karya ilmiah ini kutunjukkan kepada
Alm Papa dan Mama tercinta,
saudara-saudaraku yang selalu mendukungku*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis junjatkan kepada Allah SWT, sholawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, karena atas ridho dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Struktur Perbandingan Gedung Menggunakan *Base Isolation* Tipe *High Damping Rubber Bearing* dan *Friction Pendulum System*”.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini tidak akan terlaksana dan selesai tanpa bantuan dan bimbingan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Mama (Fitri Firasati) tercinta, sosok luar biasa yang dengan penuh keteguhan rela berjuang sendirian demi memenuhi kebutuhan anaknya. Di tengah keterbatasan dan lelah yang tak terhitung, Mama tetap memilih untuk kuat, memastikan Penulis dapat menempuh pendidikan yang lebih baik, disertai doa, kasih sayang, dan pengorbanan yang tak pernah terucap. Setiap pencapaian yang Penulis raih hingga saat ini merupakan buah dari perjuangan Mama yang penuh ketulusan. Terima kasih yang tak terhingga atas seluruh pengorbanan, kesabaran, kasih sayang, serta do'a yang tak pernah putus. Mama selalu menjadi tempat pulang dan sumber semangat dalam setiap keadaan; di saat lelah dan ragu, Penulis kembali menemukan kekuatan berkat cinta Mama yang luar biasa.
2. Almarhum Papa (Heri Setyawan) tercinta, meski raga tak lagi hadir, do'a, nasihat, dan nilai-nilai kehidupan yang Papa tanamkan senantiasa hidup dan menjadi penuntun langkah Penulis. Kehilangan ini menjadi luka, namun juga kekuatan untuk terus berjuang dan melangkah lebih baik, seperti yang selalu Papa harapkan.
3. Bapak Dr. Yudha Lesmana, S.ST., M.T, selaku dosen pembimbing yang tidak pernah letih untuk memberi arahan dan masukan dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Anna Rosytha, S.T., M.T., selaku kepala prodi Teknik Sipil yang selalu membantu sarana dan prasarana hingga skripsi ini selesai.
5. Bapak Ir. Bambang Kiswono, M.T., selaku dosen wali yang selalu memberi semangat untuk tidak mudah menyerah.
6. Ilham Ridhony Ekka Putra, terima kasih telah hadir dan menemani penulis dalam setiap proses hingga bisa sampai di titik ini. Terima kasih telah menjadi pendengar yang baik, tempat berbagi cerita, serta sosok yang selalu memberi dukungan dan semangat di tengah perjalanan yang tidak selalu mudah. Dalam setiap langkah yang terasa berat, kamu hadir sebagai pengingat bahwa penulis tidak berjalan sendirian, dengan ketulusan dan kehadiran yang sama hebatnya seperti Mama yang selalu ada untuk Penulis.
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2021 yang selalu mendengarkan, berdiskusi dan saling bertukar pikiran dalam penyusunan skripsi ini.
8. Last, untuk Ika Rahma Ridhawati. Terima kasih kepada diri sendiri yang telah bertahan dan tetap kuat dalam menghadapi berbagai proses dan tantangan yang ada. Terima kasih telah belajar menepikan ego, bersabar, dan terus berusaha hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Setiap langkah yang dijalani, meski tidak selalu mudah, menjadi bukti

bahwa ketekunan dan kepercayaan pada diri sendiri mampu membawa Penulis sampai pada titik ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan di dalam skripsi ini.

Surabaya, 6 Februari 2026



Ika Rahma Ridhawati

ANALISIS STRUKTUR PERBANDINGAN GEDUNG MENGUNAKAN *BASE ISOLATION HEAD DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) DAN FRICTION PENDULUM SYSTEM (FPS)*

Nama : Ika Rahma Ridhawati
NIM : 20211333007
Dosen Pembimbing : Dr. Yudha Lesmana, S.ST., M.T

ABSTRAK

Gempa bumi merupakan ancaman signifikan bagi bangunan bertingkat, sehingga evaluasi dan peningkatan kinerja seismik perlu dilakukan terutama pada gedung yang dirancang dengan standar lama. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja struktur pada gedung perkuliahan 7 lantai di Surabaya dengan Kategori Desain Seismik D (KDS-D) yang diasumsikan berdiri di Aceh, wilayah dengan intensitas kegempaan tinggi. Evaluasi dilakukan terhadap dua jenis *base isolation*, yaitu *Head Damping Rubber Bearing (HDRB)* dan *Friction Pendulum System (FPS)*, untuk menilai efektivitasnya sebagai metode retrofit. Analisis dilakukan menggunakan 11 *ground motion* dengan metode *Nonlinear Dynamic Analysis*, mencakup parameter respons seperti *base shear*, *displacement*, *ductility demand*, *story drift*, dan *residual transient drift*. Pada kondisi awal *fixed-base*, struktur menunjukkan respons gempa yang tinggi dengan gaya geser dasar maksimum sebesar 34.047,14 kN pada arah-X dan 34.207,69 kN pada arah-Y. Kondisi ini mengindikasikan tingkat kerusakan berat hingga mencapai level *collapse prevention (CP)* akibat peningkatan tuntutan seismik di Aceh. Penerapan sistem isolasi *HDRB* dan *FPS* menunjukkan reduksi signifikan terhadap respons lateral bangunan. *HDRB* mampu menurunkan gaya geser dasar sebesar 55,1% pada arah-X dan 57,4% pada arah-Y, sementara *FPS* memberikan reduksi sebesar 54,4% pada arah-X dan 57,6% pada arah-Y. Peningkatan kinerja ini menyebabkan tingkat kerusakan struktur beralih dari *collapse prevention (CP)* menjadi *life safety (LS)* hingga *immediate occupancy (IO)*. *FPS* tercatat memberikan kinerja lebih baik dalam menurunkan gaya geser dasar dibandingkan *HDRB*. Secara keseluruhan, penggunaan *base isolation* dinilai efektif meningkatkan performa seismik struktur, meskipun kombinasi dengan metode retrofit tambahan masih diperlukan untuk mencapai hasil yang lebih optimal.

Kata Kunci: Gempa, *Base Isolation*, *Nonlinear Dynamic Analysis*, *High Damping Rubber Bearing*, *Friction Pendulum System*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPARATIVE STRUCTURAL ANALYSIS OF BUILDINGS USING BASE ISOLATION TYPE HEAD DAMPING RUBBER BEARING (HDRB) AND FRICTION PENDULUM SYSTEM (FPS)

Name : Ika Rahma Ridhawati
NIM : 20211333007
Supervisor : Dr. Yudha Lesmana

ABSTRACT

Earthquakes pose a significant threat to multi-story buildings, so seismic performance evaluation and improvement are necessary, especially for buildings designed to older standards. This study aimed to analyse the comparative structural performance of a 7-story lecture building in Surabaya with a Seismic Design Category D (KDS-D), assumed to be located in Aceh, an area with high seismic intensity. The evaluation was conducted on two types of base isolation systems, the Head Damping Rubber Bearing (HDRB) and the Friction Pendulum System (FPS), to assess their effectiveness as retrofit methods. The analysis was conducted using 11 ground motions with the Nonlinear Dynamic Analysis method, including response parameters such as base shear, displacement, ductility demand, story drift, and residual transient drift. In the initial fixed-base condition, the structure showed a high earthquake response with a maximum based-shear force of 34,047.14 kN in the X-direction and 34,207.69 kN in the Y-direction. This condition indicated a severe level of damage reaching the collapse prevention (CP) level due to increased seismic demands in Aceh. The application of the HDRB and FPS isolation systems showed a significant reduction in the lateral response of the building. HDRB was able to reduce the base shear force by 55.1% in the X-direction and 57.4% in the Y-direction, while FPS provided a reduction of 54.4% in the X-direction and 57.6% in the Y-direction. This performance improvement caused the level of structural damage to shift from collapse prevention (CP) to life safety (LS) to immediate occupancy (IO). FPS was recorded to provide better performance in reducing the base shear force compared to HDRB. Overall, the base isolation was considered effective in improving the seismic performance of structures, although a combination with additional retrofit methods was still necessary to achieve more optimal results.

Keywords: *Earthquake, Base Isolation, Nonlinear Dynamic Analysis, High Damping Rubber Bearing, Friction Pendulum System.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | v |
| KATA PENGANTAR | ix |
| ABSTRAK | xi |
| <i>ABSTRACT</i> | xiii |
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Gempa | 5 |
| 2.2 Sistem Struktur Bangunan Tinggi | 5 |
| 2.3 Analisis Struktur Tahan Gempa | 9 |
| 2.3.1 Analisis Respon Spektrum | 10 |
| 2.3.2 <i>Earthquake Ground Motion</i> | 13 |
| 2.3.3 <i>Ground Motion Modification</i> | 17 |
| 2.4 Metode <i>Dynamic Analysis</i> | 20 |
| 2.4.1 <i>Fast Nonlinear Analysis (FNA)</i> | 20 |
| 2.4.2 <i>Direct Integration Time History Analysis</i> | 21 |
| 2.4.3 <i>Fast Nonlinear Analysis (FNA) vs Direct Integration Time History Analysis</i> .. | 21 |
| 2.5 Macam Alat Peredam Gempa | 22 |
| 2.6 <i>Base Isolation</i> | 26 |
| 2.6.1 <i>Head-Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 26 |
| 2.6.2 <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> | 30 |
| 2.7 Konsep Desain <i>Seismic Base Isolation</i> | 32 |
| 2.8 <i>Damage State</i> | 34 |

| | | |
|--|--|-----|
| 2.8.1 | Klasifikasi <i>Damage State</i> | 34 |
| 2.8.2 | Parameter Penentu <i>Damage State</i> | 35 |
| 2.8.3 | Pentingnya <i>Damage State</i> dalam Penelitian..... | 35 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | | 37 |
| 3.1 | Diagram Alir..... | 37 |
| 3.2 | Metode Penelitian | 38 |
| 3.2.1 | Studi Literatur..... | 38 |
| 3.2.2 | Pengumpulan Data..... | 38 |
| 3.2.3 | Pemodelan Struktur..... | 39 |
| 3.2.4 | Analisis Pembebanan | 42 |
| 3.2.5 | Analisis Struktur (<i>fixed-base</i>)..... | 45 |
| 3.2.6 | <i>Base Isolation</i> | 50 |
| 3.2.7 | Analisis Struktur (<i>Isolated-Structure</i>) | 51 |
| 3.2.8 | Kesimpulan..... | 51 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN | | 53 |
| 4.1 | Analisis Pembebanan | 53 |
| 4.1.1 | Sistem Struktur <i>Fixed-Base</i> | 53 |
| 4.1.2 | <i>Isolated Structure High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 72 |
| 4.1.3 | <i>Isolated Structure Friction Pendulum System (FPS)</i> | 80 |
| 4.2 | Pemodelan Struktur..... | 87 |
| 4.2.1 | Sistem Struktur <i>Fixed-Base</i> | 87 |
| 4.2.2 | <i>Isolated Structure High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 107 |
| 4.2.3 | <i>Isolated Structure Friction Pendulum System (FPS)</i> | 116 |
| 4.3 | Analisis Struktur | 125 |
| 4.3.1 | Sistem Struktur <i>Fixed-Base</i> | 125 |
| 4.3.2 | <i>Isolated Structure High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 137 |
| 4.3.3 | <i>Isolated Structure Friction Pendulum System (FPS)</i> | 148 |
| 4.3.4 | <i>Fixed-Base vs Isolated Structure HDRB vs Isolated Structure FPS</i> | 159 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | | 163 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 163 |
| 5.2 | Saran | 165 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 167 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Struktur <i>braced frame</i> | 6 |
| Gambar 2.2 Struktur rangka kaku..... | 6 |
| Gambar 2.3 Struktur <i>wall frame</i> | 7 |
| Gambar 2.4 Struktur <i>shear wall</i> | 7 |
| Gambar 2.5 Struktur <i>core and outrigger</i> | 8 |
| Gambar 2.6 Struktur <i>infilled frame</i> | 8 |
| Gambar 2.7 Struktur <i>flat plate</i> | 9 |
| Gambar 2.8 Struktur tabung..... | 9 |
| Gambar 2.9 Parameter gerak tanah S_S , wilayah Indonesia untuk spektrum respon 0,2 detik. . | 11 |
| Gambar 2.10 Parameter gerak tanah S_1 , wilayah Indonesia untuk spektrum respon 0,2 detik. | 12 |
| Gambar 2.11 Spektrum respon desain..... | 13 |
| Gambar 2.12 Perbandingan <i>response spectrum</i> antara <i>scaled</i> dan <i>original</i> dengan metode <i>amplitude scaled</i> | 17 |
| Gambar 2.13 Perbandingan <i>ground motion</i> antara <i>scaled</i> dan <i>original</i> dengan metode <i>amplitude scaled</i> | 18 |
| Gambar 2.14 Perbandingan <i>response spectrum</i> antara <i>matched</i> dan <i>original</i> | 19 |
| Gambar 2.15 Perbandingan <i>ground motion</i> antara <i>matched</i> dan <i>original</i> | 19 |
| Gambar 2.16 <i>Base Isolators</i> | 23 |
| Gambar 2.17 (a) <i>Viscous dampers</i> ; (b) <i>Metallic dampers</i> | 23 |
| Gambar 2.18 <i>Tuned Mass Dampers (TMD)</i> | 24 |
| Gambar 2.19 <i>Seismic bracing</i> | 24 |
| Gambar 2.20 <i>Flexible joints</i> | 25 |
| Gambar 2.21 <i>Retrofitting</i> | 25 |
| Gambar 2.22 Sistem pondasi dalam (<i>deep foundation</i>)..... | 26 |
| Gambar 2.23 (a) Perangkat HDRB; (b) kurva histeristik yang dihasilkan..... | 27 |
| Gambar 2.24 Mekanisme pergerakan dan pembentukan kurva histeristik pada perangkat <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 28 |
| Gambar 2.25 Parameter kekakuan efektif (K_{eff}) dan redaman efektif ξ_{eff} | 29 |
| Gambar 2.26 (a) Perangkat <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> ; (b) kurva histeristik yang dihasilkan..... | 30 |
| Gambar 2.27 Mekanisme pergerakan dan pembentukan kurva histeristik pada perangkat <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> | 31 |
| Gambar 2.28 Parameter kekuatan efektif (K_{eff}) dan redaman efektif (ξ_{eff})..... | 32 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... | 37 |
| Gambar 3.2 Ilustrasi pemodelan sistem <i>fixed-base</i> | 40 |
| Gambar 3.3 Detail ilustrasi sistem <i>fixed-base</i> | 40 |
| Gambar 3.4 Pemodelan sistem <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 41 |
| Gambar 3.5 Detail ilustrasi sistem <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 41 |
| Gambar 3.6 Pemodelan sistem <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> | 41 |
| Gambar 3.7 Detail ilustrasi sistem <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> | 42 |
| Gambar 3.8 <i>Ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 44 |
| Gambar 3.9 (a) Hubungan kekuatan dan daktilitas pada <i>displacement ductility</i> ; (b) Hubungan kekuatan dan daktilitas pada tingkat daktilitas..... | 46 |
| Gambar 3.10 Konsep <i>story drift ratio</i> pada struktur gedung..... | 47 |

| | |
|--|----|
| Gambar 3.11 Ilustrasi <i>overstrength factor</i> pada struktur..... | 49 |
| Gambar 3.12 Ilustrasi konsep <i>reduction factor</i> | 50 |
| Gambar 4.1 Ilustrasi beban mati tambahan pada gording..... | 54 |
| Gambar 4.2 Ilustrasi beban hidup pada gording..... | 57 |
| Gambar 4.3 Grafik <i>SE, DBE, dan MCE response spectrume</i> Aceh..... | 59 |
| Gambar 4.4 <i>Period range response spectrum</i> Aceh..... | 60 |
| Gambar 4.5 Tampilan <i>PEER Ground Motion Database</i> | 61 |
| Gambar 4.6 Tampilan menentukan model <i>response spectrum</i> | 61 |
| Gambar 4.7 Tampilan kriteria <i>ground motion</i> | 62 |
| Gambar 4.8 <i>Spectra (ERS)</i> dari <i>ground motion</i> arah-X..... | 63 |
| Gambar 4.9 <i>Spectra (ERS)</i> dari <i>ground motion</i> arah-Y..... | 64 |
| Gambar 4.10 <i>Spectra Matching</i> untuk arah-X..... | 65 |
| Gambar 4.11 <i>Spectra Matching</i> untuk arah-Y..... | 65 |
| Gambar 4.12 <i>Ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 65 |
| Gambar 4.13 <i>Ground motion Kern Country_RSN12</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 66 |
| Gambar 4.14 <i>Ground motion Kobe_RSN1100</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 66 |
| Gambar 4.15 <i>Ground motion Kobe_RSN1101</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 66 |
| Gambar 4.16 <i>Ground motion Kocaeli_RSN1176</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 66 |
| Gambar 4.17 <i>Ground motion Landers_RSN860</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 67 |
| Gambar 4.18 <i>Ground motion Morgan Hill_RSN451</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 67 |
| Gambar 4.19 <i>Ground motion Niigata_RSN4151</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 67 |
| Gambar 4.20 <i>Ground motion Northridge_RSN982</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 67 |
| Gambar 4.21 <i>Ground motion San Fernando_RSN77</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 68 |
| Gambar 4.22 <i>Ground motion Tabas_RSN141</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 68 |
| Gambar 4.23 <i>Response spectrum matched Cape mendocino_RSN825</i> | 68 |
| Gambar 4.24 <i>Response spectrume matched Kern_RSN12</i> | 69 |
| Gambar 4.25 <i>Response spectrum matcehd Kobe_RSN1100</i> | 69 |
| Gambar 4.26 <i>Response spectrum matched Kobe_RSN1101</i> | 69 |
| Gambar 4.27 <i>Response spectrum matched Kocaeli_RSN1176</i> | 70 |
| Gambar 4.28 <i>Response spectrum matched Landers_RSN 860</i> | 70 |
| Gambar 4.29 <i>Response spectrum matched Morgan Hill_RSN451</i> | 70 |
| Gambar 4.30 <i>Response spectrume matched Niigata_RSN4151</i> | 71 |
| Gambar 4.31 <i>Response spectrume matched Northridge_RSN982</i> | 71 |
| Gambar 4.32 <i>Response spectrum matched San Fernando_RSN52</i> | 71 |
| Gambar 4.33 <i>Response spectrume matched Tabas_RSN141</i> | 72 |
| Gambar 4.34 <i>Ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 72 |
| Gambar 4.35 <i>Response spectrume matched Cape Mendocino_RSN825</i> | 73 |
| Gambar 4.36 <i>Ground motion Kern_RSN12</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 73 |
| Gambar 4.37 <i>Response spectrume matched Kern_RSN12</i> | 73 |
| Gambar 4.38 <i>Ground motion Kobe_RSN1100</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 74 |
| Gambar 4.39 <i>Response spectrume matched Kobe_RSN1100</i> | 74 |
| Gambar 4.40 <i>Ground motion Kobe_RSN1101</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 74 |
| Gambar 4.41 <i>Response spectrume matched Kobe_RSN1101</i> | 75 |
| Gambar 4.42 <i>Ground motion Kocaeli_RSN1176</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 75 |
| Gambar 4.43 <i>Response spectrume matched Kocaeli_RSN1176</i> | 75 |
| Gambar 4.44 <i>Ground motion Landers_RSN860</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 76 |
| Gambar 4.45 <i>Response spectrume matched Landers_RSN860</i> | 76 |
| Gambar 4.46 <i>Ground motion Morgan Hill_RSN451</i> ; (a) arah-X; (b) arah-Y..... | 76 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.47 | <i>Response spectrume matched Morgan Hill_RSN451</i> | 77 |
| Gambar 4.48 | <i>Ground motion Niigata _RSN4151; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 77 |
| Gambar 4.49 | <i>Response spectrume matched Niigata _RSN4151</i> | 77 |
| Gambar 4.50 | <i>Ground motion Northridge_RSN982; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 78 |
| Gambar 4.51 | <i>Response spectrume matched Northridge_RSN982</i> | 78 |
| Gambar 4.52 | <i>Ground motion San Fernando_RSN52; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 78 |
| Gambar 4.53 | <i>Response spectrume matched San Fernando_RSN52</i> | 79 |
| Gambar 4.54 | <i>Ground motion Tabas_RSN141; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 79 |
| Gambar 4.55 | <i>Response spectrume matched Tabas_RSN141</i> | 79 |
| Gambar 4.56 | <i>Response spectrume matched Cape Mendocino_RSN825</i> | 80 |
| Gambar 4.57 | <i>Ground motion Cape Mendocino_RSN825; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 80 |
| Gambar 4.58 | <i>Response spectrume matched Kern_RSN12</i> | 81 |
| Gambar 4.59 | <i>Ground motion Kern_RSN12; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 81 |
| Gambar 4.60 | <i>Response spectrume matched Kobe_RSN1100</i> | 81 |
| Gambar 4.61 | <i>Ground motion Kobe_RSN1100; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 82 |
| Gambar 4.62 | <i>Response spectrume matched Kobe_RSN1101</i> | 82 |
| Gambar 4.63 | <i>Ground motion Kobe_RSN1101; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 82 |
| Gambar 4.64 | <i>Response spectrume matched Kocaeli_RSN1176</i> | 83 |
| Gambar 4.65 | <i>Ground motion Kocaeli_RSN1176; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 83 |
| Gambar 4.66 | <i>Response spectrume matched Landers_RSN860</i> | 83 |
| Gambar 4.67 | <i>Ground motion Landers_RSN860; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 84 |
| Gambar 4.68 | <i>Response spectrume matched Morgan Hill_RSN451</i> | 84 |
| Gambar 4.69 | <i>Ground motion Morgan Hill_RSN451; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 84 |
| Gambar 4.70 | <i>Response spectrume matched Niigata _RSN4151</i> | 85 |
| Gambar 4.71 | <i>Ground motion Niigata _RSN4151; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 85 |
| Gambar 4.72 | <i>Response spectrume matched Northridge_RSN982</i> | 85 |
| Gambar 4.73 | <i>Ground motion Northridge_RSN982; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 86 |
| Gambar 4.74 | <i>Response spectrume matched San Fernando_RSN52</i> | 86 |
| Gambar 4.75 | <i>Ground motion San Fernando_RSN52; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 86 |
| Gambar 4.76 | <i>Response spectrume matched Tabas_RSN141</i> | 87 |
| Gambar 4.77 | <i>Ground motion Tabas_RSN141; (a) arah-X; (b) arah-Y</i> | 87 |
| Gambar 4.78 | <i>Toolbox - Add new material property (concrete)</i> | 88 |
| Gambar 4.79 | <i>Toolbox - Material property data (concrete)</i> | 89 |
| Gambar 4.80 | <i>Toolbox - Material property design data</i> | 89 |
| Gambar 4.81 | <i>Toolbar - Nonlinear material data (concrete)</i> | 90 |
| Gambar 4.82 | <i>Toolbox - Add new material property (rebar)</i> | 91 |
| Gambar 4.83 | <i>Toolbox - Material property data (rebar)</i> | 91 |
| Gambar 4.84 | <i>Toolbox - Material property design data (rebar)</i> | 92 |
| Gambar 4.85 | <i>Toolbar - Nonlinear material data (rebar)</i> | 93 |
| Gambar 4.86 | <i>Toolbox - Frame properties</i> | 94 |
| Gambar 4.87 | <i>Frame section propery data balok</i> | 94 |
| Gambar 4.88 | <i>Frame section property reinforcement data</i> | 95 |
| Gambar 4.89 | <i>Frame section property data kolom</i> | 96 |
| Gambar 4.90 | <i>Tulangan existing pada salah satu elemen kolom</i> | 96 |
| Gambar 4.91 | <i>Frame assignement-hinges pada elemen balok</i> | 97 |
| Gambar 4.92 | <i>Auto hinge assignment data untuk balok beton</i> | 98 |
| Gambar 4.93 | <i>Proses pendefinisian plastic hinge pada balok</i> | 98 |
| Gambar 4.94 | <i>Contoh daftar hinges properties yang digunakan dalam permodelan</i> | 99 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.95 Data <i>hinge properties</i> dari elemen yang ditinjau..... | 99 |
| Gambar 4.96 <i>Auto hinge assignment</i> data untuk kolom beton..... | 100 |
| Gambar 4.97 Proses pendefinisian <i>plastic hinge</i> pada kolom..... | 101 |
| Gambar 4.98 Data <i>hinge properties</i> elemen kolom..... | 101 |
| Gambar 4.99 Detail momen <i>rotation curve</i> dari elemen kolom..... | 102 |
| Gambar 4.100 Proses input data <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> | 103 |
| Gambar 4.101 Setting fungsi ramp..... | 104 |
| Gambar 4.102 Setting tipe <i>modal case</i> menjadi <i>Ritz</i> | 104 |
| Gambar 4.103 Proses <i>setting</i> beban <i>gravity</i> sebagai beban dinamis dengan metode <i>FNA</i> | 105 |
| Gambar 4.104 Proses <i>setting</i> beban gempa untuk <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> arah-X dengan metode <i>FNA</i> | 105 |
| Gambar 4.105 Proses <i>setting</i> beban gempa untuk <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825</i> arah-Y dengan metode <i>FNA</i> | 106 |
| Gambar 4.106 <i>Toolbox set load case to run</i> | 106 |
| Gambar 4.107 Letak posisi perletakkan base isolation <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 108 |
| Gambar 4.108 Desain isolator <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 109 |
| Gambar 4.109 <i>Toolbox define link properties</i> | 114 |
| Gambar 4.110 <i>Toolbox link property data</i> | 115 |
| Gambar 4.111 <i>Link/support directional properties U2, U3</i> | 115 |
| Gambar 4.112 <i>Toolbox point spring property data</i> | 116 |
| Gambar 4.113 Perletakan base isolation <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada program <i>ETABS</i> | 116 |
| Gambar 4.114 Letak posisi perletakkan base isolation <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> | 120 |
| Gambar 4.115 <i>Toolbox define link properties</i> | 123 |
| Gambar 4.116 <i>Toolbox link property data</i> | 124 |
| Gambar 4.117 <i>Link/support directional properties U2, U3</i> | 124 |
| Gambar 4.118 <i>Toolbox point spring property data</i> | 125 |
| Gambar 4.119 Perletakan base isolation <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> pada program <i>ETABS</i> | 125 |
| Gambar 4.120 <i>Displacement ductility fixed-base ground motion</i> arah-X..... | 126 |
| Gambar 4.121 <i>Displacement ductility fixed-base ground motion</i> arah-Y..... | 127 |
| Gambar 4.122 <i>Displacement fixed-base ground motion</i> arah-X..... | 128 |
| Gambar 4.123 <i>Displacement fixed-base ground motion</i> arah-Y..... | 128 |
| Gambar 4.124 <i>Story drift ratio fixed-base ground motion</i> arah-X..... | 130 |
| Gambar 4.125 <i>Story drift ratio fixed-base ground motion</i> arah-Y..... | 130 |
| Gambar 4.126 <i>Damage state fixed-base ground motion</i> arah-X..... | 136 |
| Gambar 4.127 <i>Damage state fixed-base ground motion</i> arah-Y..... | 136 |
| Gambar 4.128 <i>Displacement ductility High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada <i>ground motion</i> arah-X..... | 137 |
| Gambar 4.129 <i>Displacement ductility High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada <i>ground motion</i> arah-Y..... | 138 |
| Gambar 4.130 <i>Displacement High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada <i>ground motion</i> arah-X..... | 139 |
| Gambar 4.131 <i>Displacement High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada <i>ground motion</i> arah-Y..... | 139 |
| Gambar 4.132 <i>Story drift ratio High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> pada <i>ground motion</i> arah-X..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.133 <i>Story drift ratio High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada ground motion arah-Y.</i> | 141 |
| Gambar 4.134 <i>Damage state High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada ground motion arah-X.</i> | 147 |
| Gambar 4.135 <i>Damage state High Damping Rubber Bearing (HDRB) pada ground motion arah-Y.</i> | 147 |
| Gambar 4.136 <i>Displacement ductility Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-X.</i> | 148 |
| Gambar 4.137 <i>Displacement ductility Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-Y.</i> | 149 |
| Gambar 4.138 <i>Displacement Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-X.</i> | 150 |
| Gambar 4.139 <i>Displacement Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-Y.</i> | 150 |
| Gambar 4.140 <i>Story drift ratio Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-X.</i> | 152 |
| Gambar 4.141 <i>Story drift ratio Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-Y.</i> | 152 |
| Gambar 4.142 <i>Damage state Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-X.</i> | 158 |
| Gambar 4.143 <i>Damage state Friction Pendulum System (FPS) pada ground motion arah-Y.</i> | 158 |
| Gambar 4.144 <i>Displacement ductility struktur fixed-base, High Damping Rubber Bearing (HDRB), dan Friction Pendulum System (FPS).</i> | 162 |
| Gambar 4.145 <i>Residual story drift ratio struktur fixed-base, High Damping Rubber Bearing (HDRB), dan Friction Pendulum System (FPS).</i> | 162 |
| Gambar Lampiran 1.1 <i>Window time history plot</i> | 169 |
| Gambar Lampiran 1.2 <i>Define plot functions.</i> | 169 |
| Gambar Lampiran 1.3 <i>Toolbox plot functions.</i> | 170 |
| Gambar Lampiran 1.4 <i>Set vertical plot functions</i> | 170 |
| Gambar Lampiran 1.5 <i>Show table</i> | 171 |
| Gambar Lampiran 1.6 <i>Hasil time history plot</i> | 171 |
| Gambar Lampiran 2.1 <i>Window time history plot</i> | 172 |
| Gambar Lampiran 2.2 <i>Define plot functions</i> | 172 |
| Gambar Lampiran 2.3 <i>Toolbox plot functions.</i> | 173 |
| Gambar Lampiran 2.4 <i>Set vertical plot functions</i> | 173 |
| Gambar Lampiran 2.5 <i>Show table</i> | 173 |
| Gambar Lampiran 2.6 <i>Hasil time history plot</i> | 174 |
| Gambar Lampiran 3.1 <i>Window time history plot</i> | 174 |
| Gambar Lampiran 3.2 <i>Define plot functions</i> | 175 |
| Gambar Lampiran 3.3 <i>Toolbox plot functions.</i> | 175 |
| Gambar Lampiran 3.4 <i>Set vertical plot functions</i> | 176 |
| Gambar Lampiran 3.5 <i>Show table</i> | 176 |
| Gambar Lampiran 3.6 <i>Hasil time history plot</i> | 176 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

| | |
|---|-----|
| Tabel 2.1 Koefisien situs, F_a . | 11 |
| Tabel 2.2 Koefisien situs, F_v . | 11 |
| Tabel 2.3 Perbandingan <i>FNA</i> dengan <i>Direct Integration Time History Analysis</i> . | 22 |
| Tabel 2.4 Nilai Faktor Reduksi (R) untuk <i>fixed-base</i> dan <i>isolated structure</i> . | 33 |
| Tabel 3.1 <i>Ground motion nonlinier time history analysis</i> . | 43 |
| Tabel 3.2 <i>Displacement ductility parameters</i> . | 46 |
| Tabel 3.3 Korelasi terhadap <i>residual story drift ratio</i> . | 48 |
| Tabel 3.4 Korelasi <i>transient story drift ratio</i> dengan <i>damage state</i> . | 48 |
| Tabel 4.1 <i>Ground motion nonlinear time history analysis</i> . | 62 |
| Tabel 4.2 Nilai <i>isolation ratio High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> . | 107 |
| Tabel 4.3 Perhitungan kekakuan struktur <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> dengan <i>isolation ratio</i> ($\alpha_1 = 2,6$). | 111 |
| Tabel 4.4 Perhitungan kekakuan struktur <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> dengan <i>isolation ratio</i> ($\alpha_1 = 2,6$) (lanjutan). | 112 |
| Tabel 4.5 Perhitungan stabilitas (<i>buckling load</i>) pada <i>High Damping Rubber Bearing</i> . | 113 |
| Tabel 4.6 Nilai <i>isolation ratio Friction Pendulum System (FPS)</i> . | 117 |
| Tabel 4.7 Spesifikasi <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> yang digunakan. | 117 |
| Tabel 4.8 Koefisien redaman B_m . | 119 |
| Tabel 4.9 Perhitungan kekakuan struktur <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> dengan <i>isolation ratio</i> ($\alpha_1 = 2,6$). | 121 |
| Tabel 4.10 Perhitungan kekakuan struktur <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> dengan <i>isolation ratio</i> ($\alpha_1=2,6$) (lanjutan). | 122 |
| Tabel 4.11 Hasil <i>drift ratio</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 129 |
| Tabel 4.12 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 131 |
| Tabel 4.13 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> (lanjutan). | 132 |
| Tabel 4.14 Hasil <i>reduction factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 133 |
| Tabel 4.15 Hasil <i>deflection amplification factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 134 |
| Tabel 4.16 Hasil <i>damage state</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 135 |
| Tabel 4.17 Hasil <i>drift ratio</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 140 |
| Tabel 4.18 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 142 |
| Tabel 4.19 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> (lanjutan). | 143 |
| Tabel 4.20 Hasil <i>reduction factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 144 |
| Tabel 4.21 Hasil <i>deflection amplification factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 145 |
| Tabel 4.22 Hasil <i>damage state</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 146 |
| Tabel 4.23 Hasil <i>drift ratio</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 151 |
| Tabel 4.24 Hasil <i>drift ratio</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> (lanjutan). | 152 |
| Tabel 4.25 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 153 |
| Tabel 4.26 Hasil <i>overstrength</i> dari seluruh <i>ground motion</i> (lanjutan). | 154 |
| Tabel 4.27 Hasil <i>reduction factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 155 |
| Tabel 4.28 Hasil <i>deflection amplification factor</i> dari seluruh <i>ground motion</i> . | 156 |
| Tabel 4.29 Hasil <i>damage state</i> dari <i>ground motion Cape Mendocino_RSN825-X</i> . | 157 |
| Tabel 4.30 Hasil nilai <i>average</i> perbandingan struktur <i>fixed-base</i> , <i>High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> , dan <i>Friction Pendulum System (FPS)</i> . | 159 |

Tabel 4.31 Hasil nilai *average* perbandingan struktur *fixed-base*, *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*, dan *Friction Pendulum System (FPS)* (lanjutan)..... 160

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1. <i>Step-step Output Overstrength (Ω)</i> | 169 |
| Lampiran 2. <i>Step-step Output Reduction Factor (R)</i> | 171 |
| Lampiran 3. <i>Step-step Output Deflection Amplification Factor (C_d)</i> | 174 |
| Lampiran 4. Perhitungan <i>Displacement Ductility Fixed-Base</i> | 178 |
| Lampiran 5. Perhitungan <i>Displacement Ductility High Damping Rubber Bearing (HDRB)</i> | 183 |
| Lampiran 6. Perhitungan <i>Displacement Ductility Friction Pendulum System (FPS)</i> | 189 |

Halaman ini sengaja dikosongkan