



**ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR GEDUNG *FIXED BASE* DAN
STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR*
DENGAN METODE *PUSHOVER*
(STUDI KASUS : APARTEMEN *DINO PARK*)**

SKRIPSI

Oleh :

Hafid Handa Yuni Aziz

NIM 151910301069

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR GEDUNG *FIXED BASE* DAN
STRUKTUR GEDUNG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATOR*
DENGAN METODE *PUSHOVER*
(STUDI KASUS : APARTEMEN *DINO PARK*)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Hafid Handa Yuniaziz

NIM 151910301069

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER**

2019

PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir Teknik Penulisan Karya Ilmiah ini. Penyusunan laporan ini berdasarkan topik yang diambil pada konsentrasi ilmu di bidang struktur. Atas terselesaikannya tugas akhir ini, penulis menyampaikan hormat dan terima kasih kepada :

1. Ayah tercinta Hardiyono S.Pd. dan Ibu tercinta Dra. Siti Sundari yang senantiasa memberikan semangat serta doa dan selalu mendukung kebahagiaan anak-anaknya. Terima kasih atas semuanya.
2. Kedua kakakku mbak Nafi Handa Yuliani dan Mas Afif terimakasih telah mensupport dan mendoakan untuk adikmu.
3. Dosen pembimbing Tugas Akhir bapak Dwi Nurtanto S.T., M.T., ibu Gati Annisa Hayu S.T., M.T., M.Sc. dan semua dosen pengajar. Terimakasih banyak atas bimbingan dan pelajaran yang tidak ternilai harganya, agar penulis selalu menjadi lebih baik.
4. Dosen Pembimbing Akademik pak Willy Kriswardhana S.T., M.T. yang selalu memotivasi dan membimbing selama kuliah sehingga IPK naik.
5. Terimakasih kepada “Single Sukses”, untuk segala motivasi, semangat, doa, dan bantuannya.
6. Guru-guruku dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi, terimakasih atas ilmu dan bimbingannya selama ini.
7. Terimakasih kepada Adit, Jossie, Hayati dan teman-teman angkatan 2015,terimakasih atas semua yang sudah dilakukan selama 4 tahun ini.
8. Almamater Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember.

MOTTO

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah melainkan orang-orang yang kufur (terhadap karunia Allah).”

(Q.S. Yusuf: 87)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya.”

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

“Hidup ini bagai skripsi, banyak bab dan revisi yang harus dilewati. Tapi akan selalu berakhir indah, bagi yang pantang menyerah”

Anonim

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Hafid Handa Yuniiaziz

NIM : 151910301069

Menyatakan dengan sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Perbandingan Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Menggunakan *Base Isolator* dengan Metode *Pushover* (Studi Kasus : Apartemen *Dino Park*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam kutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 5 Juli 2019

Yang menyatakan,

Hafid Handa Yuniiaziz

NIM 151910301069

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Perbandingan Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Menggunakan *Base Isolator* dengan Metode *Pushover* (Studi Kasus : Apartemen *Dino Park*)” karya Hafid Handa Yuniyaziz telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 10 Juli 2019

tempat : Ruang Sidang Gedung A Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing Utama,



Dwi Nurtanto, S.T., M.T.

NIP 19731015 199802 1 001

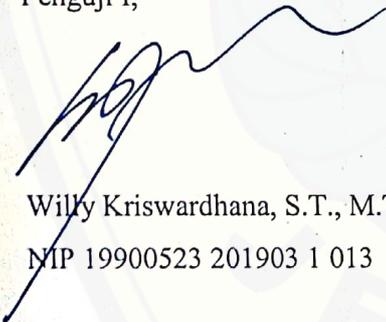
Pembimbing Anggota,



Gati Annisa Hayu, S.T., M.T., M.Sc.

NRP 760015715

Penguji I,



Willy Kriswardhana, S.T., M.T.

NIP 19900523 201903 1 013

Penguji II,



Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.

NRP 760016772

Mengesahkan

Dekan,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM.

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Perbandingan Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Menggunakan *Base Isolator* dengan Metode *Pushover* (Studi Kasus : Apartemen *Dino Park*), Hafid Handa Yuniaziz 151910301069; 2019: 159 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Gempa dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada bangunan, maka perencanaan struktur gedung tahan gempa harus diperhatikan. Salah satu metode untuk mengurangi gaya gempa yaitu dengan menambahkan peredam gempa berupa bantalan isolasi yang berfungsi untuk meredam getaran bumi selama gempa mengguncang. *Base isolator* tersebut memisahkan antara struktur bangunan atas dengan bangunan bawah yaitu diantara kolom dan pondasi sehingga jika terjadi gempa, gaya yang diterima dipondasi tidak langsung diterima oleh kolom namun diredam oleh *base isolator* ini. Ketika bangunan *Fixed Base* ditambahkan *Base Isolator* dapat memperkecil *interstory drift* tanpa harus memperkaku bangunan dalam arah lateral.

Tugas akhir ini akan membahas lebih mendalam mengenai perbandingan perilaku struktur *fixed base* dengan struktur menggunakan *base isolator* pada gedung Apartemen *Dino Park*. Tipe *base isolator* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing*, untuk mengetahui lebih lanjut kinerja struktur gedung *fixed base* dan *base isolator* dilakukan metode *pushover*. Metode *pushover* digunakan untuk mengetahui level kinerja struktur gedung saat terjadi beban gempa. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan tercapai.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh dimensi *base isolator* tipe *high damping rubber bearing* dengan diameter *rubber* 750 mm (HH075x6R) dengan total ketebalan karet 200mm. Struktur gedung yang menggunakan *Base Isolator* memiliki *displacement* lebih besar dari pada struktur gedung *fixed based* sebesar 63,59% terhadap arah x dan 57,53% terhadap arah y. Struktur gedung yang menggunakan *Base Isolator* dapat mereduksi sebesar 35,48% terhadap arah x dan

arah y sebesar 30,19% sedangkan untuk gaya geser dasar *Base isolator* mampu mereduksi sebesar 71,33% terhadap arah x dan 67,83% terhadap arah y.

Berdasarkan hasil Analisa Pushover, Level kinerja struktur gedung yang memakai *base isolator* dan *fixed based* menurut ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 adalah B (*Operational*), yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural dan gedung masih dapat dipakai secara normal.



SUMMARY

The Comparison Analysis of Fixed Base Building Structure and Base Isolator Building Structure Using Pushover Method (Case Study : Dino Park Apartment) , Hafid Handa Yuniaziz 151910301069; 2019: 159 pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Earthquakes can cause damage to buildings, so planning earthquake-resistant building structures must be considered. One of the method to reduce earthquake force is to add earthquake absorbers in the form of insulation pads that function to reduce earth vibration during an earthquake shaking. Base isolator separates the upper building structure from the lower building between columns and foundations so that if an earthquake occurs, the force received on the ground is not directly received by the column but it is muted by this base isolator. When a Fixed Base building is added by a Base Isolator it can reduce interstory drift without having to reinforce the building in the lateral direction.

This final project will discuss in more depth about The Comparison of The Structure of The Fixed Base with The Structure Using The Base Isolator in The Dino Park Apartment Building. Type of base isolator used is The High Damping Rubber Bearing, to find out more about the performance of the fixed base and base isolator building structure, a pushover analysis was performed. Pushover method is used to determine the level of performance of building structures when an earthquake loads. The analysis is done by giving a static lateral load pattern to the structure, which is then gradually increased by a multiplier until a displacement target is reached.

The results of calculations, the dimensions of high damping type insulator rubber bearings with a rubber diameter of 750 mm (HH075x6R) are obtained with a total thickness of 200mm rubber. The building structure that uses Base Isolator has a displacement is bigger than the fixed based building structure is 63.59% towards the direction of x and 57.53% towards the direction of y. The building structure that used Base Isolator can reduce of 35.48% to the direction of x and y direction of 30.19% while for the base shear force Base isolator can reduce of 35.48% towards the direction of x and for the y direction of 30.19% .

Based on the results of Pushover Analysis, the performance level of the building structure using base isolator and fixed based according to ATC-40, FEMA 356 and FEMA 440 is B (Operational), there is no significant damage in structure and non-structural and the building can still be used normally.



PRAKATA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir Teknik Penulisan Karya Ilmiah ini. Penyusunan laporan ini berdasarkan topik yang diambil pada konsentrasi ilmu di bidang struktur. Atas terselesaikannya tugas akhir ini, penulis menyampaikan hormat dan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Ir. Hernu Suyoso, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Jember.
4. Bapak Dwi Nurtanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Ibu Gati Annisa Hayu S.T., M.T., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan tugas akhir ini
6. Kedua Orang tua yang telah memberikan dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
7. Teman – teman Teknik Sipil angkatan 2015 yang telah memberikan dukungan, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penyusunan tugas akhir Teknik Penulisan Karya Ilmiah guna memenuhi persyaratan kelulusan dari mata kuliah Teknik Penulisan Karya Ilmiah sehingga dapat dijadikan bahan penyusunan tugas akhir tugas akhir. Dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan ilmu pengetahuan bagi semua pihak. Saran dan kritik sangat diharapkan demi penyempurnaan tugas akhir ini.

Jember, 5 Juli 2019

Penulis

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki intensitas gempa cukup tinggi. Penyebab utama gempa bumi adalah letak geografis dan letak geologis Indonesia berada pada titik rawan gempa. Berdasarkan letak geografis, Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia. Berdasarkan letak geologis, Indonesia dilalui oleh jalur Sirkum Pasifik dan jalur Hindia-Himalaya. Terciptanya gempa bumi disebabkan karena adanya pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba-tiba. Gempa dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada gedung berupa kerusakan elemen struktural maupun elemen non-struktural.

Menurut Teruna (2005), kerusakan bangunan akibat gempa secara konvensional dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja padanya. Hasil ini sering kali kurang memuaskan karena kerusakan elemen baik struktural maupun non-struktural umumnya disebabkan adanya *interstory drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Untuk memperkecil *interstory drift* dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral. Hal ini akan memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Salah satu teknologi gedung tahan gempa yang lebih baik adalah dengan menggunakan *base isolator*. Menurut Hendra (2017), Penggunaan *base isolator* dapat mereduksi perpindahan yang terjadi dengan rata-rata selisih perpindahan sebesar 45.48 % arah X dan 45,35% arah Y.

Base isolator atau *seismic base isolation* adalah suatu bantalan isolasi yang berfungsi untuk meredam getaran bumi selama gempa mengguncang. *Base isolator* tersebut memisahkan antara struktur bangunan atas dengan bangunan bawah yaitu diantara kolom dan pondasi sehingga jika terjadi gempa, gaya yang diterima dipondasi tidak langsung diterima oleh kolom namun diredam oleh *base isolator* ini. Perencanaan struktur gedung yang kuat dan stabil terhadap beban gempa perlu dianalisis lebih lanjut, maka diperlukan analisis *pushover* untuk mengetahui pengaruh beban gempa terhadap perilaku struktur bangunan gedung *fixed base* dan menggunakan *base isolator*.

Analisis *pushover* adalah analisa statik *nonlinear* yang memanfaatkan program komputer untuk menganalisis perilaku keruntuhan struktur bangunan terhadap gempa. Analisa dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan tercapai. Analisis *pushover* ini menghasilkan kurva *pushover*/kapasitas yang menggambarkan hubungan antara gaya geser (V) dan perpindahan pada atap (D).

Tugas akhir ini akan membahas lebih mendalam mengenai analisis perilaku struktur dengan *base isolator* terhadap gaya-gaya gempa. Tipe *base isolator* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing*. Menurut Hendra (2017), *High Damping Rubber Bearing* memanfaatkan rekayasa kimia untuk menciptakan karakteristik yang berbeda dari *Natural Rubber Bearing*. Nilai modulus geser yang berubah-ubah terhadap regangan geser yang terjadi membuat *hysteretic loop* yang gemuk sehingga menghasilkan nilai *equivalent damping ratio* yang tinggi. Objek penelitian yang diteliti adalah apartemen *Dino Park*. Pada penelitian ini, ada dua tipe struktur yang dibandingkan, yaitu struktur tidak menggunakan *base isolator* dan struktur terisolasi (dengan *base isolator*). Hasil analisis kedua model struktur tersebut digunakan untuk mengetahui kinerja struktur gedung 14 lantai pada gedung Apartemen *Dino Park* melalui analisis *pushover*. Analisis *pushover* ini diharapkan dapat mengetahui kapasitas dan kinerja struktur dari bangunan Apartemen *Dino Park*.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan dimensi *base isolator* pada gedung Apartemen *Dino Park* ?
2. Bagaimana perbandingan simpangan (*displacement*), simpangan antar tingkat (*drift*), gaya geser dasar struktur gedung 14 lantai pada gedung Apartemen *Dino Park* yang menggunakan sistem konvensional dengan gedung yang menggunakan sistem *base isolator* ?
3. Bagaimana kinerja struktur gedung yang memakai *base isolator* dan *fixed base* pada gedung Apartemen *Dino Park* menggunakan analisa *pushover*?

1.3. Tujuan Masalah

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat merencanakan dimensi *base isolator* pada gedung Apartemen *Dino Park*.
2. Mengetahui perbandingan perilaku simpangan (*displacement*), simpangan antar tingkat (*drift*), gaya geser dasar struktur gedung 14 lantai pada gedung Apartemen *Dino Park* yang menggunakan sistem konvensional dengan gedung yang menggunakan sistem *base isolator*
3. Mengetahui kinerja struktur gedung yang memakai *base isolator* dan *fixed base* pada gedung Apartemen *Dino Park* menggunakan analisa *pushover*

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kinerja struktur pada gedung menggunakan sistem konvensional dan gedung yang menggunakan sistem *base isolator*

1.5. Batasan Masalah

Untuk menghindari presepsi yang meluas dan agar memfokuskan penelitian ini, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Fungsi bangunan berupa gedung tempat tinggal.
2. Mutu beton K300
3. Mutu baja BJTP 24 untuk polos
4. Mutu baja BJTD 34 untuk *deform*
5. Membandingkan perilaku struktur gedung yang menggunakan sistem konvensional dengan gedung yang menggunakan sistem *base isolator*,
6. Jenis *Base Isolator* yang digunakan *Elastomeric Bearings* dengan tipe *High Dumping Rubber Bearing*.
7. Standar yang digunakan antara lain:
 - a) SNI 03-1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Gempa untuk Bangunan Gedung.
 - b) SNI 03-2847-2013 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

- c) Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Hasil analisis Ismail (2012), menunjukkan pemakaian *base isolator* akan memperkecil gaya dalam yang dihasilkan oleh elemen struktur, yaitu kolom dan balok. Berdasarkan perhitungan diperoleh reduksi gaya dalam sekitar 60% hingga 80%. Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa perpindahan lantai dapat direduksi hingga 30%. Adanya pengurangan gaya dalam dan perpindahan lantai dengan penggunaan *seismic isolation system* tidak dapat dijadikan dasar untuk mengurangi kekakuan struktur gedung.

Penggunaan kontrol *base isolator* menunjukkan struktur dengan *base isolator* dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi pada struktur atas sebesar 47% dan penggunaan sistem ini dapat memperkecil dimensi komponen struktur. Distribusi gaya geser maksimum yang terjadi pada lantai 5 arah x untuk struktur *fixed base* (tanpa *base isolator*) sebesar 63.724,86 kg, sedangkan pada struktur dengan *base isolator* sebesar 33.722,262 kg. Struktur dengan *base isolator* memiliki perbedaan *story drift* yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Waktu getar alami yang terjadi pada arah x untuk struktur *fixed base* yakni 1,48 detik sedangkan untuk struktur dengan *base isolator* sebesar 2,73 detik, untuk waktu getar alami pada arah y struktur *fixed base* sebesar 1,51 detik dan 2,58 detik untuk struktur dengan *base isolator* (Rahmawati, 2012).

2.2 Gempa

Secara keilmuan, gempa bumi adalah suatu peristiwa pelepasan energi gelombang *seismic* yang terjadi secara tiba-tiba. Pelepasan energi ini diakibatkan karena adanya deformasi lempeng tektonik yang terjadi pada kerak bumi (Hartuti, 2009). Ilmu yang mempelajari tentang gempa disebut dengan seismologi. Frekuensi gempa bumi suatu wilayah, mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi yang di alami selama periode waktu. Gempa bumi diukur dengan menggunakan alat Seismometer, serta skala Richter adalah skala yang dilaporkan oleh observatorium seismologi nasional.

Dalam perencanaan struktur atau bangunan yang mempunyai ketahanan terhadap gempa dengan tingkat keamanan yang memadai, struktur yang harus dirancang dapat memikul gaya horizontal atau gaya gempa yang harus diperhatikan adalah bahwa struktur dapat memberikan layanan yang sesuai dengan perencanaan. Menurut T. Paulay (1988), tingkat layanan dari struktur gaya gempa terdiri dari tiga, yaitu:

1. *Serviceability*

Jika gempa dengan intensitas percepatan tanah yang kecil dalam waktu ulang yang besar mengenai struktur, disyaratkan tidak mengganggu fungsi bangunan, seperti aktivitas normal didalam bangunan dan perlengkapan yang ada. Artinya tidak dibenarkan ada terjadi kerusakan pada struktur baik pada komponen struktur maupun dalam elemen non-struktur yang ada. Dalam perencanaan harus diperhatikan control dan batas simpangan yang dapat terjadi semasa gempa, serta menjamin kekuatan yang cukup bagi komponen struktur untuk menahan gaya gempa yang terjadi dan diharapkan struktur masih berperilaku elastis.

2. Kontrol kerusakan

Jika struktur dikenai gempa dengan waktu ulang sesuai dengan umur atau, masa rencana bangunan, maka struktur direncanakan untuk dapat menahan gempa ringan atau gempa kecil tanpa terjadi kerusakan pada komponen struktur maupun komponen non-struktur, dan diharapkan struktur dalam batas elastis.

3. *Survival*

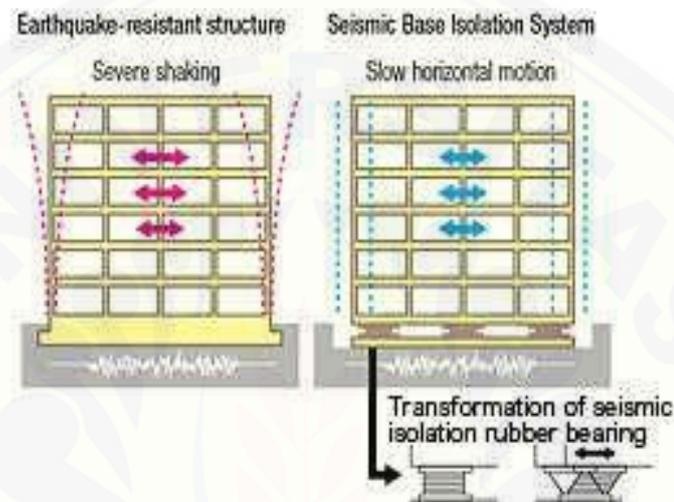
Jika gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur/ masa bangunan yang direncanakan membebani struktur, maka struktur direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang besar tanpa mengalami kerusakan dan keruntuhan (*collapse*). Tujuan utama dari keadaan batas ini adalah untuk menyelamatkan jiwa manusia.

2.3 Base Isolator

Beberapa penelitian mengenai isolasi dasar telah dilakukan sebagai upaya untuk mempelajari kinerja dan parameter desain paling menguntungkan untuk sistem isolasi dasar dengan menggunakan berbagai jenis *isolator* yang berbeda. Berbagai perangkat isolasi seperti *elastomeric bearings*, *lead rubber*

bearings, frictional/ sliding bearings juga telah dikembangkan dan digunakan dalam desain bangunan anti-seismik dan jembatan (Setio dkk., 2012).

Pada struktur gedung yang menggunakan isolasi seismik berupa *base isolator* akan menyebabkan struktur akan berdeformasi dengan tetap mempertahankan bentuknya. Sehingga gedung dengan *base isolator* akan memperlihatkan perpindahan lantai yang cukup besar. Gambar 2.1 Menunjukkan deformasi pada bangunan.



Gambar 2.1 Sketsa Perbandingan Deformasi pada Gedung *Fixed Base* dan Gedung *Isolator*
(Sumber : *Bridgestone*, 2011)

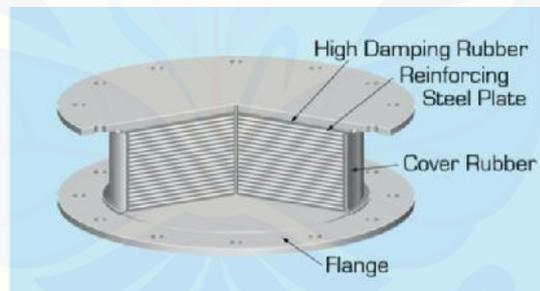
Salah satu teknik yang digunakan dalam bangunan tahan gempa adalah sistem *base isolator*. Prinsip sistem ini adalah memisahkan struktur bawah dengan struktur atas agar gaya gempa yang diterima struktur bawah (pondasi) tidak masuk ke struktur atas bangunan. Gaya gempa pada bangunan sebenarnya timbul dari hasil perkalian percepatan gempa dengan massa struktur, oleh karena itu untuk mencegah terjadinya gaya gempa, struktur bangunan dibuat tidak mengikuti percepatan gempa.

2.4 Jenis Jenis Base Isolator

Base isolator memiliki banyak tipe yang terdapat di pasaran. Secara umum *sistem isolasi seismik* terbagi dalam dua kategori yaitu *Elastomeric Rubber Bearing* dan *Sliding Bearing*. Tetapi secara umum tipe – tipe base isolation yang sering dipakai terdiri *High Damping Rubber Bearing*, *Lead Rubber Bearing*, *Natural Rubber Bearing*, *Elastic Sliding Bearing*.

2.4.1 High Damping Rubber Bearing

High Damping Rubber Bearing (HDRB) memanfaatkan rekayasa kimia untuk menciptakan karakteristik yang berbeda dari *Natural Rubber Bearing* (NRB). Nilai modulus geser yang berubah – ubah terhadap regangan geser yang terjadi membuat *hysteretic loop* yang gemuk sehingga menghasilkan nilai *equivalent damping ratio* yang tinggi. Jenis *seismic isolation* ini umumnya tidak membutuhkan damping device tambahan. Kelebihan lainnya dari *seismic isolation* tipe HDRB adalah transisi kekakuan dari linear ke nonlinear lebih halus jika dibandingkan dengan *seismic isolation* tipe Lead Rubber Bearing (LRB). Hal ini penting karena penurunan kekakuan secara tajam dapat menyebabkan efek vibrasi yang lebih besar dan merusak *equipment* yang sensitif terhadap vibrasi.

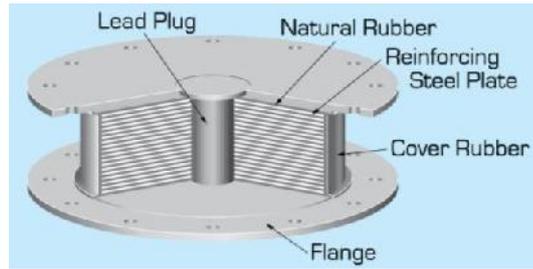


Gambar 2.2 *High Damping Bearing*

(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.3.2 Lead Rubber Bearing

Pada redaman jenis ini terdapat timah hitam (*lead*) yang dipasang pada sumbu bantalan karet. dibagian atas dan bawah diberi lempengan plat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban

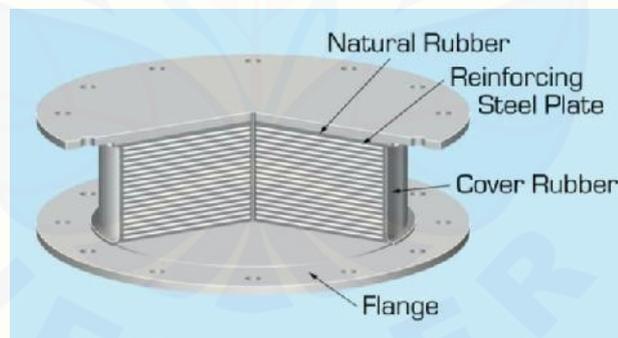


Gambar 2.3 *Lead Rubber Bearing*

(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.3.3 *Natural Rubber Bearing*

Jenis *seismic isolation* yang paling sederhana, biaya lebih murah karena menggunakan tipe karet standar. Memiliki *restoring force* yang baik. Terdapat dua jenis yaitu menggunakan inner steel plate dan yang tidak menggunakannya. Inner steel plate digunakan untuk meningkatkan kekakuan vertikal namun tetap mempertahankan kekakuan lateral. Karakteristik diagram kekakuan NRB adalah linear dengan nilai equivalent damping ratio yang rendah (2%-3%). Biasanya digunakan bersamaan dengan *damping device* atau dikombinasikan dengan *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) atau *Lead Rubber Bearing* (LRB) untuk mengurangi deformasi lateral yang berlebih.



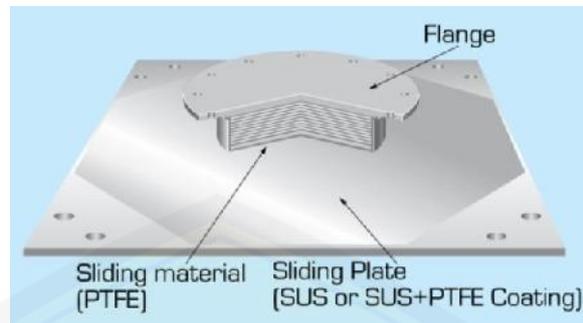
Gambar 2.4 *Natural Rubber Bearing*

(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.3.4 *Elastic Sliding Bearing*

Elastic Sliding Bearing ini terdiri dari 2 buah material yaitu bantalan karet yang diikat dengan bahan PTFE (Teflon) dan pelat geser *stainless steel*. Pemindahan kecil ini diserap oleh karet itu sendiri sementara pemindahan besar menyebabkan bantalan karet meluncur di atas pelat. Karena fungsi pemulihan akan hilang ketika geser terjadi, biasanya digunakan dalam kombinasi dengan

NRB, LRB atau HDR. Ada tiga koefisien jenis hambatan yang berbeda, jenis yang akan digunakan didasarkan pada kebutuhan redaman.



Gambar 2.5 *Elastic Sliding Bearing*

(Sumber : *Catalog Bridgestone*, 2017)

2.5 Gaya Geser (*Base Shear*)

Bila suatu bangunan bertingkat mengalami gempa, maka bangunan tersebut akan bergerak baik dalam arah vertikal maupun arah horisontal (bolak-balik). Kedua bentuk gerak tersebut, yang paling membahayakan (penyebab terjadinya kegagalan pada struktur) adalah gerak horisontal, gerak ini menyebabkan struktur mengalami deformasi horisontal atau simpangan.

Pada struktur bangunan gempa pengaruh gempa dapat dimodelkan terjadinya Gaya geser yang bekerja pada dasar bangunan disebut gaya geser dasar (*base shear*). Pada struktur bangunan terjadinya gaya geser dasar di pengaruhi oleh intensitas gempa. Menghitung distribusi beban geser atau base shear dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan analisa statik untuk gedung beraturan dan analisa dinamik untuk gedung tidak beraturan.

2.6 Konsep Pembebanan

Pembebanan adalah beban yang bekerja pada struktur suatu gedung. Struktur gedung tinggi harus kuat menahan semua beban yang bekerja pada strukturnya. Untuk itu, kita harus mengetahui macam-macam beban yang bekerja pada struktur gedung yang akan kita rencanakan. Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, struktur gedung harus direncanakan terhadap pembebanan sebagai berikut:

2.6.1 Beban Mati (*Dead Load/DL*)

Beban mati merupakan beban seluruh unsur konstruksi bangunan gedung yang bersifat tetap, serta peralatan tetap yang tidak terpisahkan dari gedung, termasuk lantai, dinding, tangga, atap, plafon, finishing, klading gedung dan komponen arsitektur dan struktural lainnya (SNI-1727-2013).

Tabel 2.1 Beban Mati Pada Struktur

Beban Mati	Besar Beban (kg/m ³)
Baja	7.850
Beton Bertulang	2.400
Dinding pasangan ½ bata	250
Langit-langit + penggantung	18
Lantai ubin semen portland	24
Spesi per cm tebal	21

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983)

2.6.2 Beban Hidup (*Life Load /LL*)

Beban hidup merupakan semua beban yang diakibatkan oleh penghuni dan pengguna suatu bangunan atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan seperti beban hujan, beban gempa, beban angin. Misalnya beban-beban pada lantai yang berasal dari peralatan yang merupakan bagian dari gedung dan dapat dipindahkan, sehingga mengakibatkan perubahan pada pembebanan gedung. Termasuk beban lingkungan seperti beban hujan, beban angin, beban gempa (SNI-1727-2013).

Tabel 2.2 Beban Hidup Merata Minimum

Hunian atau penggunaan	Beban merata (kg/m ²)
Gedung Perkantoran	
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan huninan	
Lobi dan kooridor lantai pertama	100(4,79)
Kantor	50(2,40)
Koridor diatas lantai pertama	80(3,83)

(Sumber : SNI 1727-2013)

2.6.3 Beban Angin

Beban angin merupakan semua beban yang bekerja pada struktur gedung yang disebabkan oleh tekanan-tekanan dari gerakan angin.

2.6.4 Beban Air Hujan (*Rain Load/RL*)

Setiap bagian suatu atap harus direncanakan mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul. Berdasarkan SNI 1727-2013 beban air hujan pada atap struktur gedung dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$R = 0,0098 \cdot (ds + dh) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ds = Kedalaman air pada atap yang meningkat ke lubang sistem drainase sekunder.

dh = Tambahan kedalaman air pada atap diatas lubang masuk sistem drainase sekunder.

2.6.5 Beban Gempa (*Earthquake Load/EL*)

Beban gempa merupakan beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang bergerak sesuai dengan arah gerakan tanah akibat gempa bumi.

2.6.6 Kategori Resiko Beban Gempa

Kategori resiko struktur bangunan sangat dipengaruhi oleh fungsi bangunan tersebut. Berdasarkan SNI 1726-2012 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Kategori Resiko Beban Gempa Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki nsiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	
<ul style="list-style-type: none"> • Fasilitas pertanian, perkebunan, pertemakan, dan perikanan • Fasilitas sernentara • Gudang penyimpanan • Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katekon nsiko I,II,III,dan IV termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Perumahan
- Rumah toko dan rumah kantor
- Pasar
- Gedung perkantoran
- Gedung apartemen/ rumah susun
- Pusat perbelanjaan mall
- Bangunan industri
- Fasilitas manufaktur
- Pabrik

II

Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:

- Pusat pembangkit listrik biasa
- Fasilitas penanganan air
- Fasilitas penanganan Iimbah
- Pusat telekomunikasi

III

Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, Iimbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peiedak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakatjika terjadi kebocoran.

Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:

- Bangunan-bangunan monumental
- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan
- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat
- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat
- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya
- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat
- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat

IV

Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kateogon risikoIV.

(Sumber : SNI 1726-2012)

2.6.7 Kategori Risiko Faktor Keutamaan Gempa Ie

Berdasarkan SNI 1726-2012 untuk mencari Ketegori resiko faktor keutamaan gempa Ie pada struktur bangunan gedung dan non gedung, seperti pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Kategori Resiko Gempa

Kategori Resiko Banguan	I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726-2012)

2.7 Menentukan Percepatan Respons Spektral MCE dari Peta Gempa

Pada langkah ini adalah menentukan nilai parameter percepatam spectral desain. S1 untuk parameter respons percepatan spectral MCE dari peta pada periode 1 detik dan SS untuk parameter respons percepatan spectral MCE dari periode 0,2 detik. Peta gempa yang dipertimbangkan memiliki dua variabel yaitu S1 dan SS, seperti dibawah ini:

kelas situs *SE* dapat digunakan kecuali jika pemerintah/dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs *SF* (SNI-1726-2012)

2.7.2 Menentukan Parameter Percepatan Gempa (SM1 dan SMS)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots\dots\dots (2.2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- S_s = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek
- S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Tabel 2.5 Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek $T=0,2$ detik, S_s				
	S_s 0,25	S_s 0,5	S_s 0,75	S_s 1,0	S_s 1,25
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

SF	SS ^M
----	-----------------

(Sumber:SNI 1726-2012)

Tabel 2.6 Koefisien situs Fv

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek T=0,2 detik, S _s				
	S ₁ ≤ 0,1	S ₁ = 0,2	S ₁ = 0,3	S ₁ = 0,4	S ₁ ≥ 0,1
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

(Sumber:SNI 1726-2012)

2.7.3 Parameter percepatan spektral desain

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek, S_{DS} dan pada perioda 1 detik, S_{D1}, harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.5)$$

2.7.4 Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T₀ , spektrum respons percepatan desain, S_a, harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (2.6)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_S , spektrum respons percepatan desain S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk perioda lebih besar dari T_S , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

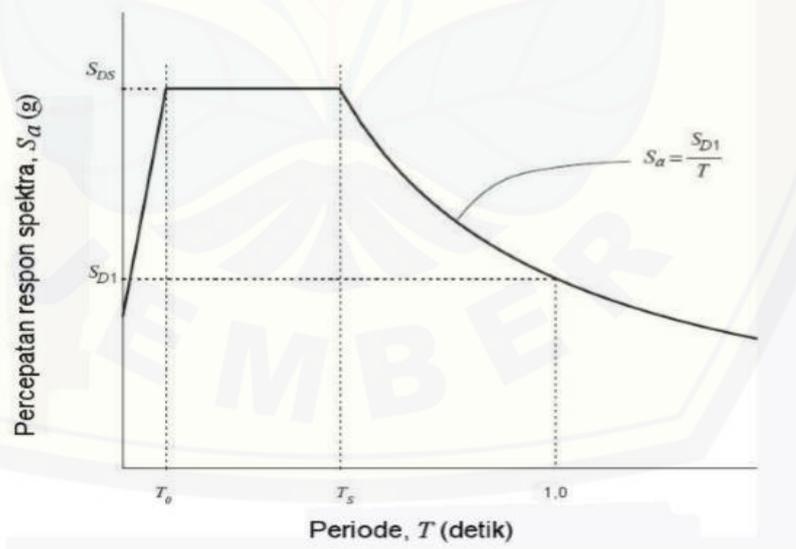
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.8 Spektrum Respons Desain

(Sumber: SNI 1726-2012 hal 23)

2.8 Kombinasi Pembebanan

Struktur baja harus mampu menahan semua beban kombinasi berdasarkan peraturan SNI 1727-2013 yang berlaku tentang beban minimum perencanaan bangunan gedung dan struktur lain, maka digunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut :

$$1,4 \text{ DL}$$

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + 0,5 \text{ RL}$$

$$1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ RL} + 0,5 \text{ WL}$$

$$1,2 \text{ DL} + 1,0 \text{ WL} + \text{L} + 0,5 \text{ RL}$$

$$1,2 \text{ DL} + 1 \text{ EL} + \text{LL}$$

$$0,9 \text{ DL} + \text{WL}$$

$$0,9 \text{ DL} + \text{EL}$$

Keterangan :

DL = beban mati

EL = beban gempa

LL = beban hidup

RL = beban hujan

WL = beban angin

2.9 Simpangan Antar Lantai

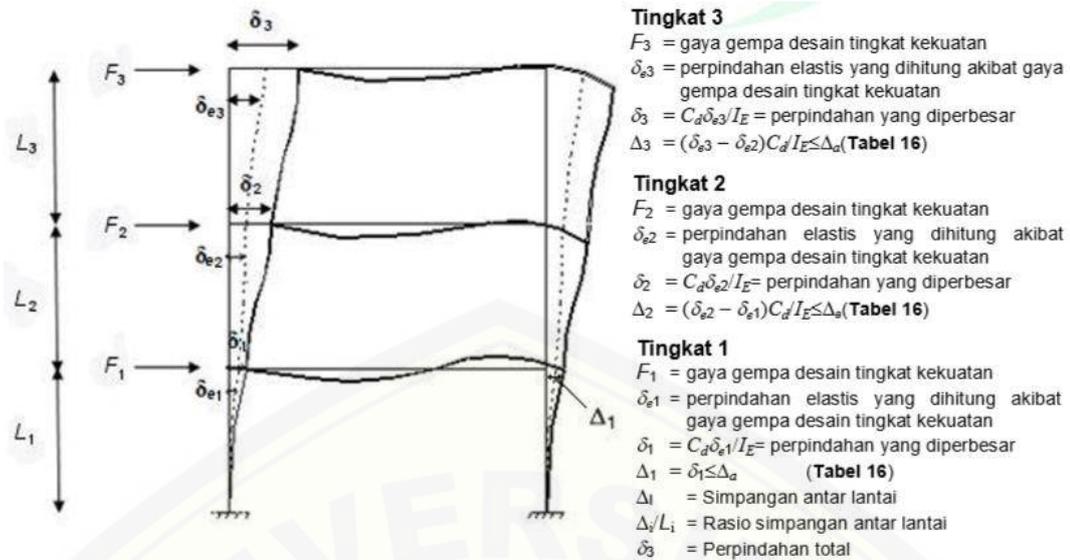
Simpangan antar lantai (*interstory drift*) merupakan perbedaan defleksi antara pada struktur di tingkat atas dan bawah dari tingkat yang ditinjau. Defleksi pada pusat massa suatu tingkat dihitung dengan menggunakan persamaan,

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana : δ_{xe} = defleksi hasil analisis elastis

C_d = faktor pembesaran defleksi

I_e = faktor keutamaan gempa



Gambar 2.15 Penentuan simpangan antar lantai (Sumber: SNI 1726-2012)

Nilai simpangan antar lantai harus memenuhi simpangan antar lantai izin, a , yang diperoleh dari Tabel 16 SNI 1726-2012.

Tabel 2.7 Simpangan antar lantai izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan anatar lantai tingkat	0.025hsxc	0.020hsx	0.015hsx
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0.010hsx	0.010hsx	0.010hsx
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0.007hsx	0.007hsx	0.007hsx
Semua struktur lainnya	0.025hsx	0.015hsx	0.010hsx

(Sumber: Tabel 16 SNI 1726-2012)

2.10 Analisa Respon Struktur

Struktur gedung saat menerima beban gempa, maka akan mengalami *base shear*. *Base shear* tiap lantai merupakan fungsi dari massa (m) dan kekakuan (k) dari tiap lantai tersebut. *Base shear* mengakibatkan tiap lantai bergeser / *displacement* dari kedudukan semula. Apabila sifat geometri struktur simetris maka simpangan yang terjadi hanya pada satu bidang (2-dimensi) yaitu simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi / ordinat tunggal sehingga dapat dianggap sebagai satu kesatuan *Single Degree of Freedom* (SDOF) dengan parameter *displacement* yang diukur adalah pada atap. Saat gaya gempa bekerja, maka gedung akan merespon beban gempa tersebut dengan memberikan gaya-gaya dalam. Apabila gaya-gaya dalam tersebut melebihi kemampuan/kapasitas gedung, maka gedung akan berperilaku inelastis apabila sifat struktur cukup daktail tetapi langsung hancur apabila kurang daktail (Afandi,2010).

2.11 Kinerja Bangunan

Tingkat kinerja sebuah bangunan menunjukkan kondisi bangunan setelah mengalami gempa. Kondisi ini dijelaskan melalui deskripsi kerusakan fisikal yang dialami bangunan, tingkat bahaya akibat kerusakan yang terjadi terhadap pengguna bangunan, dan kemampuan layan bangunan pasca gempa. Dalam dokumen ATC 40, tingkat kinerja bangunan diklasifikasikan menjadi beberapa kategori (*Applied Tecnology Council*, 1996):

- 1) *Immediate Occupancy*, SP-1: Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
- 2) *Damage Control*, SP-2: Dalam kategori ini, pemodelan bangunan baru dengan beban gempa rencana dengan nilai beban gempa yang peluang dilampauinya dalam rentang masa layan gedung 50 tahun adalah 10%.
- 3) *Life Safety*, SP-3: Bila terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, akan tetapi struktur masih dapat menahan gempa. Komponen-komponen struktur utama tidak runtuh. Bangunan dapat

dipakai kembali jika sudah dilakukan perbaikan, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.

- 4) *Limited Safety*, SP-4: Kondisi bangunan tidak sebaik level life safety dan tidak seburuk level structural stability, termasuk ketika level life safety tidak efektif atau ketika hanya beberapa kerusakan struktur kritis yang dapat dikurangi.
- 5) *Structural Stability*, SP-5: Level ini merupakan batas dimana struktur sudah mengalami kerusakan yang parah. Terjadi kerusakan pada struktur dan nonstruktur. Struktur tidak lagi mampu menahan gaya lateral karena penurunan.
- 6) *Not Considered*, SP-6: Pada kategori ini, struktur sudah dalam kondisi runtuh, sehingga hanya dapat dilakukan evaluasi seismik dan tidak dapat dipakai lagi.

2.12 Analisa Pushover

Analisis *pushover* adalah analisis statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi plastis (Yosafat A.P,2006).

2.13 Target Perpindahan

Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap “perpindahan tertentu” di titik kontrol yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana. Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coefficient Method* atau Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 356 dan ATC 40) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metoda Spektrum Kapasitas (FEMA 356 dan ATC 40).

2.13.1 Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA 356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 dan C_3 sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 \cdot g \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana :

δ_t = targetperpindahan

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spectralmenjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi untuk menghubungkan perpindahan inelastic maksimum dengan perpindahan respons elastik linier. Nilai $C_1 = 1,0$ untuk $T_e \geq T_s$ dan untuk $T_e < T_s$

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek Pdelta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca- lelehnegatif,

$$C_3 = 1,0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \dots\dots\dots (2.12)$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastisefektif.

R = rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat lelehterhitung”.

- S_a = akselerasi respon spektrum yang bekesesuaian dengan waktu getaralami efektif pada arak yangditinjau.
 V_y = gaya geser dasar pada saatleleh.
 W = total beban mati dan beban hidup yang dapatdireduksi.
 C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA356
 g = percepatan gravitasi 9,81 m/det²

2.13.2 Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode Spektrum Kapasitas atau *Capacity Spectrum Method* (CSM) merupakan salah satu cara untuk mengetahui kinerja suatu struktur. Dalam analisis statik *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas kemudian diolah lebih lanjut dengan metode Spektrum Kapasitas (ATC-40). Metode ini telah *build-in* dalam program SAP 2000 yang akan digunakan. Hasil analisis statis *pushover* nonlinier adalah kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). Hubungan tersebut dinamakan kurva kapasitas struktur. Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respon *inelastic* bangunan. Kurva Kapasitas hasil *pushover* diubah menjadi kapasitas spektum seperti pada gambar 3 melalui persamaan:

$$S_a = \frac{v}{\alpha_1} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1\phi_{roof.1}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$PF = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g}}{\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g}} \right] \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{g} \right] \left[\sum_{i=1}^n \frac{(w_i \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana:

Sa = Spectral acceleration

Sd = Spectral displacement

PF1 = modal participation untuk modal pertama

α_1 = modal mass coefficient untuk modal pertama

ϕ_{i1} = amplitude of first untuk leveli

V = gaya geserdasar

W = berat mati bangunan ditambah beban atap

Δ_{roof} = roof displacement

w_i/g = massa pada leveli

2.13.3 Metoda Koefisien Perpindahan Yang Diperbaiki (FEMA 440)

Metode Koefisien Perpindahan atau *Displacement Coefficient Method* (DCM) merupakan metode yang terdapat dalam FEMA untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respon elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C₀, C₁, C₂ dan C₃ sehingga dapat dihitung target perpindahan (δ_t),

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_g}{2\pi} \right)^2 \cdot g \dots\dots\dots (2.17)$$

2.14 Langkah-langkah Perencanaan Isolator:

1. Kekakuan horisontal

$$KH = \frac{W}{g} \left(\frac{2}{TD} \right)^2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

KH = Kekakuan Horisontal

W = Gaya Aksial

g = Percepatan Gravitasi

TD = Waktu Periode Renacana

2. Design displacement

$$D_D = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \times \frac{S_D \times T_D}{B_D} \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

g = Percepatan Gravitasi

S_D = Koefisien Gempa

B_D = Koefisien Damping

TD = Waktu Periode Rencana

3. Waktu Periode Rencana

$$T_D = 3 \times T_{\text{FixedBase}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

T_D = Waktu Periode Rencana

4. Short term yield force

$$Q_d = \frac{W_D}{4 \times D_D} = \frac{\pi}{4} \times K_H \times \xi_{eff} \times D_D \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan:

g = Percepatan Gravitasi

S_D = Koefisien Gempa

B_D = Koefisien Damping

TD = Waktu Periode Rencana

5. Mencari Luasan Base Isolator

$$A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

KH = Kekakuan Horisontal

t_r = Ketebalan Rubber

G_t = Modulus Shear

6. Mencari Diameter Base Isolator

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Keterangan:

A = Luas Base Isolator



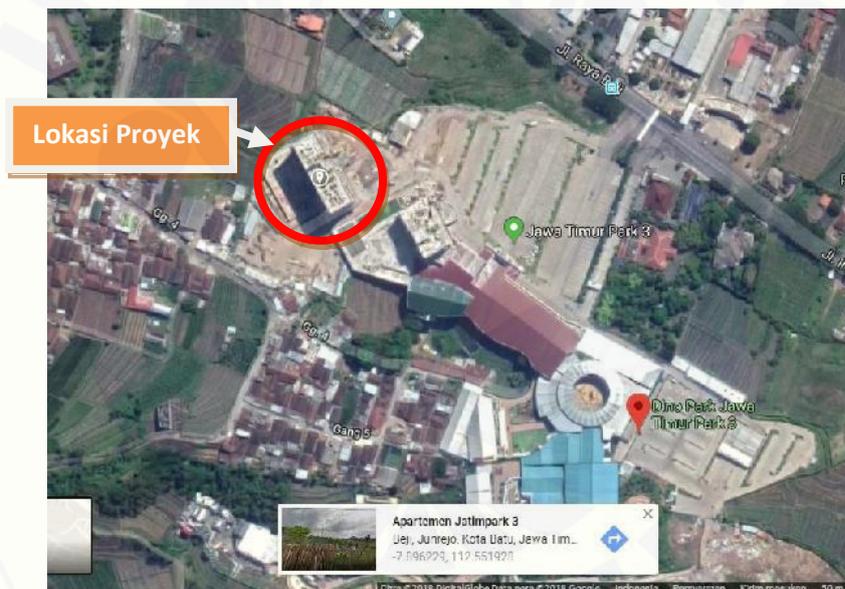
Tabel 3.2 Dimensi Balok

Kode Balok	Dimensi	Kode Balok	Dimensi
B1	150cm x 300cm	B7	250cm x 600cm
B2	150cm x 400cm	B8	300cm x 600cm
B3	150cm x 500cm	BX	400cm x 600cm
B4	200cm x 300cm	S1	500cm x 600cm
B5	250cm x 400cm	BLX	200cm x 400cm
B6	250cm x 500cm		

(Sumber: PT SBPI)

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi kajian dalam penelitian ini adalah bangunan Apartemen Dino Park yang berada di Jl. Ir. Soekarno No. 112 Beji, Kota Batu, Jawa Timur.

**Gambar 3.2** Lokasi Proyek Apartemen Dino Park(Sumber: <http://maps.google.com>)

Lokasi proyek pembangunan Apartemen Dino Park, Batu berbatasan dengan beberapa wilayah, yaitu :

- | | |
|--------------------|----------------------------------|
| a. Sebelah Utara | : Jalan Raya Ir. Soekarno |
| b. Sebelah Timur | : Taman Wisata Jawa Timur Park 3 |
| c. Sebelah Barat | : Tanah Penduduk |
| d. Sebelah Selatan | : Rumah Penduduk |

3.3. Waktu

Penelitian dimulai pada bulan Desember 2018 sampai Mei 2018. Berikut ini adalah tabel jadwal pelaksanaan penelitian :

Tabel 3.3 Jadwal Pengerjaan

No	Uraian Kegiatan	Bulan																							
		Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Menentukan Permasalahan	x																							
2	Studi Literatur & Konsultasi Dosen		x	x																					
3	Pengerjaan Proposal		x	x	x																				
4	Konsultasi Proposal				x	x	x	x	x	x															
5	Seminar Proposal									x	x														
6	Revisi Proposal											x	x												
7	Pengumpulan & Pengolahan Data													x	x	x	x								
8	Bimbingan Penelitian																x	x	x						
9	Seminar Hasil																			x	x				
10	Revisi Hasil																					x	x	x	
11	Sidang Tugas Akhir																								x

(Sumber: Data Pribadi)

3.4. Tahap Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi pengumpulan data dan pengelolaan data dari apartemen *Dino Park*. Metode penelitian ini menggunakan analisis *pushover* dengan program komputer

3.4.1. Pengumpulan Data

Dalam hal ini data yang diperoleh berasal dari data Perusahaan terkait yaitu PT SBPI. Data skunder dalam penelitian ini antara lain :

- a. Gambar Denah Rencana
- b. Detail Kolom dan Balok
- c. Mutu Beton
- d. Data Sondir

3.4.2. Preliminary Desain

Tahap kedua yaitu perencanaan kolom, balok dan pelat. Perencanaan tersebut harus disesuaikan dengan perhitungan SNI 03-2847-2013 mengenai Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung.

3.4.3. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan sesuai dengan peraturan pada SNI 03-2847-2013 tentang Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung, dan SNI 1727-2013 tentang Pedomannya Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Pembebanan yang digunakan meliputi:

- a. Beban Mati Tahap pembebanan ini untuk menghitung nilai beban-beban yang akan dipikul oleh struktur berdasarkan SNI 1727-2013.
- b. Beban Hidup Tahap pembebanan ini diakibatkan oleh penggunaan dalam gedung atau barang-barang yang sifatnya dapat berpindah tempat. Beban tersebut akan dimasukkan diperhitungan struktur berdasarkan SNI 1727-2013.
- c. Beban Gempa Beban ini diperhitungkan sesuai SNI 1726-2012, selain itu analisis beban gempa dihitung dengan metode analisis respon spektrum.

3.4.4. Analisa Gaya Gempa Menggunakan *Respon Spectrum*

Menganalisa menggunakan Respon Spectrum ditentukan jenis tanah dahulu berdasarkan data sondir. Jenis tanah yang sudah ditentukan kemudian dicari data Respon Spectrum dari www.puskim.pu.go.id

3.4.5. Premodelan dengan Bantuan Program Bantu Analisis Struktur

Tahap berikutnya pemodelan dua struktur gedung yaitu struktur gedung fixed base dan struktur gedung menggunakan base isolator dengan bantuan program bantu analisa struktur. Pemodelan yang sudah jadi, kemudian dimasukan beban mati, beban hidup dan beban gempa.

3.4.6. Penentuan Dimensi *Base Isolator*

Menganalisis pemodelan yang telah dibuat pada program bantu analisa struktur dan mencari gaya aksial yang digunakan untuk menentukan dimensi *base isolator*. Dimensi *base isolator* disesuaikan dengan *catalog Bridgestone*. Dimensi

3.4.7. Kontrol Pemodelan

Tahap kontrol pemodelan merupakan tahap paling penting yang menentukan hasil dari perencanaan gedung menggunakan *base isolator*. Apabila hasil kontrol simpangan, perpindahan base isolator dan nilai akhir respon spectrum tidak memenuhi syarat, maka perencanaan struktur gedung menggunakan *base isolator* harus diulang ketahap penentuan dimensi *base isolator*. Jika hasil kontrol desain memenuhi syarat, maka perencanaan dilanjutkan ke tahap analisis kekuatan struktur.

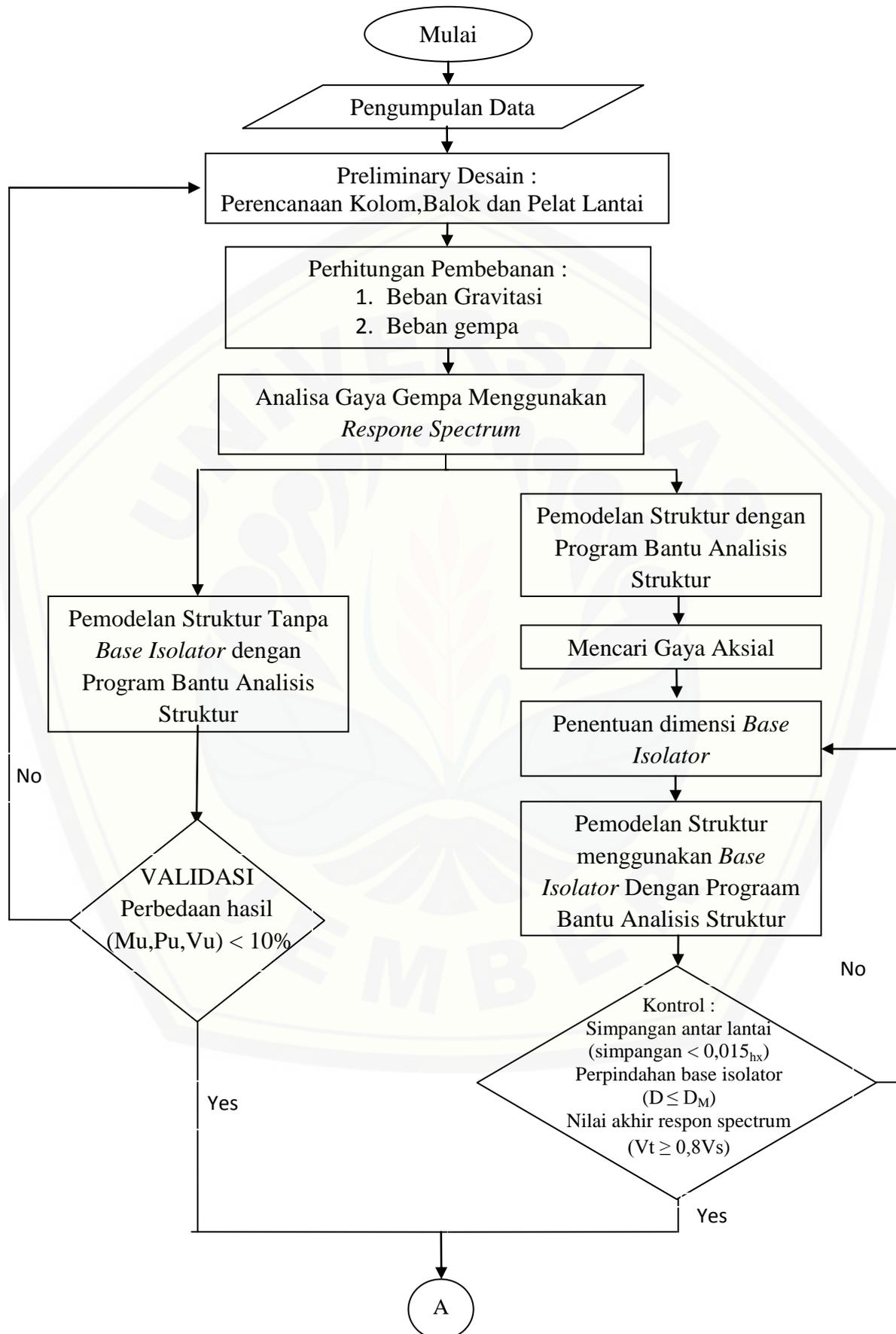
3.4.8. Analisis Kekuatan Struktur

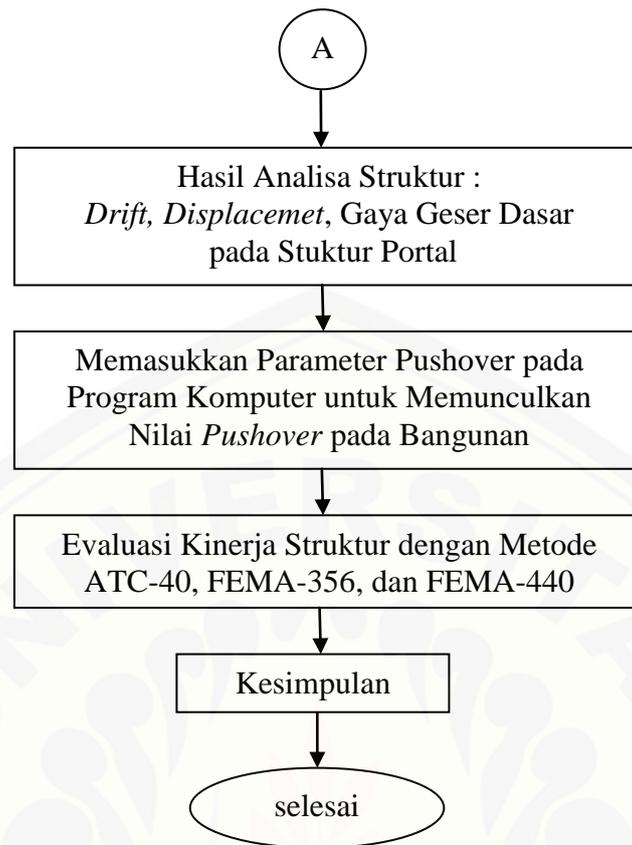
Tahap berikutnya yaitu melakukan analisis struktur gedung terhadap *Drift, Displacemet, Gaya Dalam* pada Stuktur Portal. Selanjutnya dilanjutkan dengan memasukkan parameter pushover pada komputer.

3.4.9. Evaluasi Kinerja Struktur

Melakukan evaluasi kinerja struktur dengan metode ATC-40, FEMA-356, dan SNI 1726-2012.

3.4.10. Bagan Alur Penelitian (Flowchart)





BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi *base isolator* tipe *high damping rubber bearing* yang sesuai menurut brosur *bridgestone* untuk kolom interior dan kolom eksterior dengan diameter *rubber* 750 mm (HH075x6R) dan total ketebalan karet 200mm dari brosur *bridgestone*.
2. Perbandingan *displacement*, *Drift* pada gedung yang ditinjau menggunakan *base isolator* tipe HDRB dengan fixed base adalah :
 - a. Struktur gedung yang ditinjau menggunakan *Base Isolator* memiliki *displacement* lebih besar dari pada struktur gedung *fixed based*. Pada kasus yang ditinjau, peningkatan *displacement* gedung yang menggunakan *Base Isolator* dibandingkan dengan *fixed based* terhadap beban gempa yang terjadi adalah sebesar 63,59 % terhadap arah x dan 57,53% terhadap arah y
 - b. Struktur gedung yang ditinjau menggunakan *Base Isolator* mampu mengurangi *Drift* terhadap struktur gedung *fixed based*. Reduksi *Base isolator* sebesar 35,48% % terhadap arah x sedangkan untuk arah y sebesar 30,19 %
 - c. *Base isolator* dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser dasar sebesar 71,33% arah x dan 67,83% arah y.
3. Level kinerja struktur gedung yang memakai *base isolator* dan fixed based menurut ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 adalah B (*Operational*), yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih mendalam mengenai perencanaan struktur dengan menggunakan *base isolator* tipe *high damping rubber bearing* (HDRB) berdasarkan SNI 1726 2012 dan peraturan-peraturan lainnya, agar dapat diketahui

kelebihan bangunan menggunakan *base isolator* tipe HDRB dengan bangunan *fixed base* dalam meredam gaya gempa



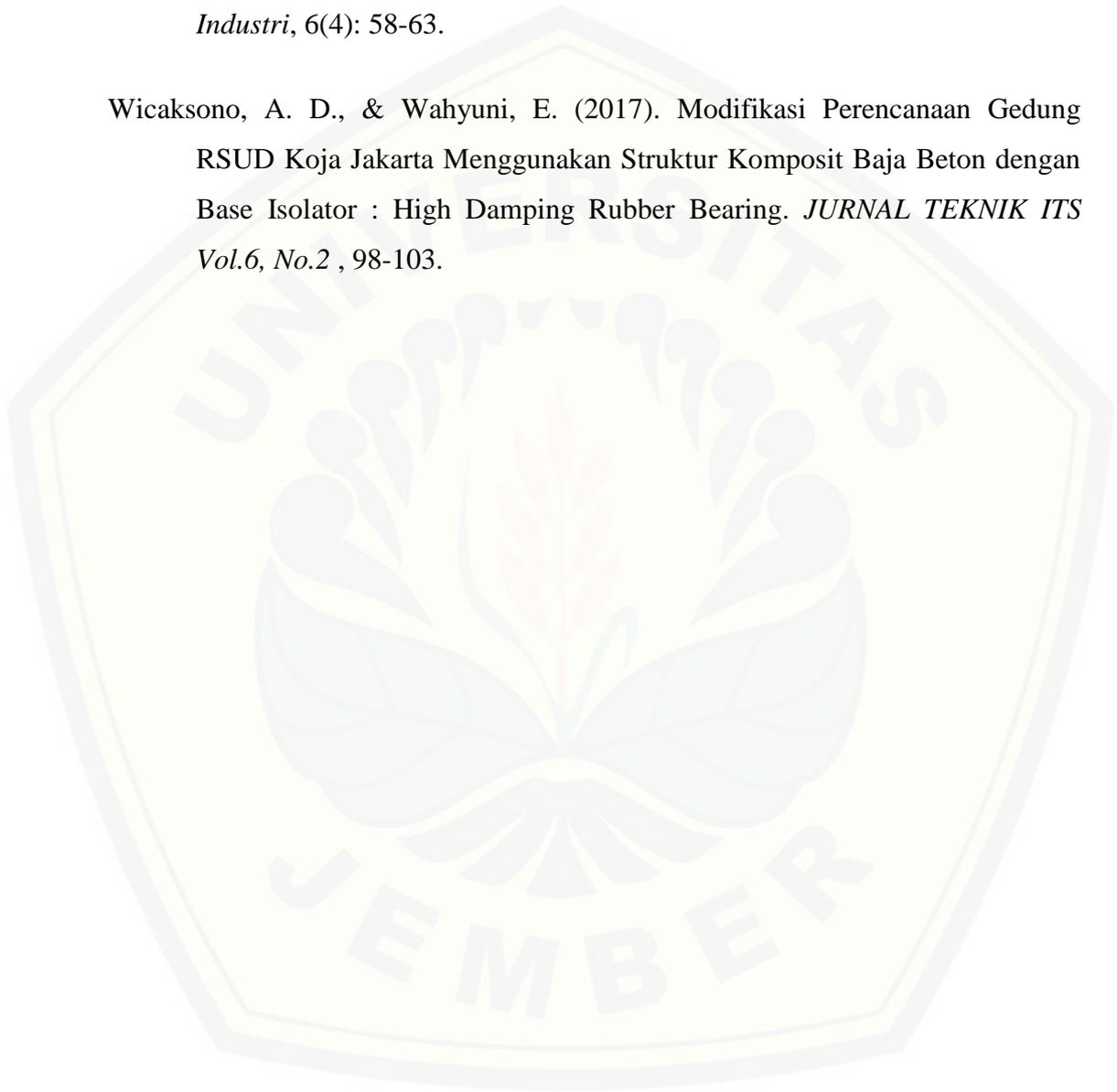
DAFTAR PUSTAKA

- Andrian, W., Wahyuni, E., & Faimun. (2017). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J -Tos Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover. *Teknik ITS*, 6(2): 624-629.
- Hazmi, M., P., R. M., & Sugiyatno, A. (2011). Perbandingan Kinerja Struktur Yang Menggunakan Base Isolator Dengan Tanpa Menggunakan Base Isolator Dengan Analisis Beban Dorong(Pushover). *ProceedinPgESAT (Psikolog,Ekonomi,Sastra,Arsitektur&Sipil)*, 4: 13-19.
- Hendra, Suryanita, R., & Ridwan. (2017). Penggunaan High Damping Rubber Bearing System pada Struktur Bangunan Gedung Dengan Analisis Time History . *Prosiding 4th Andalas Civil Engineering* , 627-636.
- Ismail, F. A. (2012). Pengaruh Penggunaan Seismic Base Isolation System. *Rekayasa Sipil*, 8(1): 45-60.
- Muliadi, Afifuddin, M., dan Aulia, T. B. (2016). ANALISIS RESPON BANGUNAN MENGGUNAKAN BASE ISOLATOR SEBAGAI PEREDUKSI BEBAN GEMPA. *Teras*, 6(1): 1-10.
- Pranata, Y.A. 2006. Studi Perencanaan Berbasis Kinerja pada Rangka Beton Bertulang dengan Metode Direct Displacement-Based Design. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.3, No.2
- Rahmawati, D. dan Sulardi., (2012).*Sistem Kontrol Base Isolation Untuk Perencanaan Gedung Tahan Gempa. Jurnal Teknik Sipil*

Setio, H. D., Kusumastuti , D., Setio , S., Siregar , P. H., & Hartanto, A. (2012). Pengembangan Sistem Isolasi Seismik pada Struktur Bangunan yang Dikenai Beban Gempa sebagai Solusi untuk Membatasi Respon Struktur . *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, Vol. 19, No. 1.

Teruna, D. (2005). Analisis Respon Banguna Dengan Base isolator. *Sistem Teknik Industri*, 6(4): 58-63.

Wicaksono, A. D., & Wahyuni, E. (2017). Modifikasi Perencanaan Gedung RSUD Koja Jakarta Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton dengan Base Isolator : High Damping Rubber Bearing. *JURNAL TEKNIK ITS Vol.6, No.2* , 98-103.

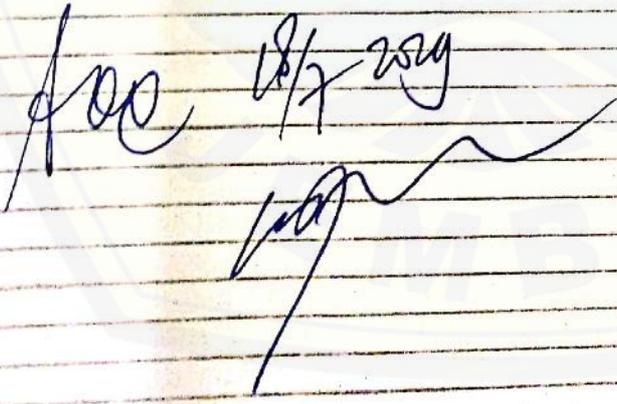


KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
Jl. Kalimantan 37 Kampus Tegalboto
Telp. (0331)-484977 Fax (0331)-484977
Jember (68111)

LEMBAR EVALUASI UJIAN TUGAS AKHIR

Identitas Mahasiswa

Nama : HAFID HANDA YUNIAZIZ
NIM : 151910301069
Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Tgl Pelaksanaan : 10 Juli 2019
Tahun/Smt Akademik : 2018/2019 Semester Genap
Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Struktur Gedung Fixed Base dan Struktur Gedung Menggunakan Base Isolator dengan Metode Pushover (Studi Kasus : Apartemen Dino Park)

1	Gambarkan hasil perencanaan bangunan yg dgn base isolator
2	Berikan jumlah span tulangan yang diperlukan (b6t)
3	Berikan gambar posisi gaya dsd terbesar
	

Jember, 10 Juli 2019

NIP. WILLY KRISWARDHANA

LEMBAR EVALUASI UJIAN TUGAS AKHIR

Identitas Mahasiswa

Nama : HAFID HANDA YUNIAZIZ
 NIM : 151910301069
 Program Studi : Strata Satu (S1) Teknik Sipil
 Fakultas : Teknik
 Tgl Pelaksanaan : 10 Juli 2019
 Tahun Smt Akademik : 2018/2019 Semester Genap
 Judul Tugas Akhir : Analisis Perbandingan Struktur Gedung Fixed Base dan Struktur Gedung Menggunakan Base Isolator dengan Metode Pushover (Studi Kasus : Apartemen Dino Park)

1.	Cek ulang periode utama fundamental ?
2.	Cek ulang ketahanan ? Ketahanan horizontal ?
3.	Redaman efektif ? → ?
4.	Cek penulangan.
5.	Base isolator → cek redaman
6.	Push over di detailkan.
Acc 18/07 <i>[Signature]</i>	

Jember, 10 Juli 2019

[Signature]
 NIP