

PENGARUH PENGGUNAAN *BASE ISOLATOR* SYSTEM TERHADAP RESPONS STRUKTUR BANGUNAN DENGAN ANALISIS *TIME HISTORY*

Hendra¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Ridwan²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : hendra.h@student.unri.ac.id

Abstract

Indonesia is prone to seismic hazard load due to its location situated on a meeting point of four tectonic plates. Therefore design of the building is necessary to include the earthquake load in order to minimize the damage of the buildings and also to avoid casualties resulted from collapsed structures. Several methods had been developed to eliminate the risk affected by the earthquake load to the buildings. One of them is the use of seismic isolator. This research aimed to identify the responses of the building structure with and without base isolator. Responses of the structure were gained from time history analysis using finite element software conducted on the 25-storey reinforced concrete building. The selected building was located in an area with high earthquake load intensity on sumatra island namely Banda Aceh, Padang and Bengkulu and constructed on layer of soil with moderate condition. At one of the building analyzed in this research was provided with high damping rubber bearing (HDRB) base isolator. This base isolator was modeled as link element. This element connected the foundation and the upper structure. Then the building was loaded with the Cape Mendocino earthquake loads that were modified and adjusted to comply with SNI 03-1726-2012 building code. The results showed that the reduction of the velocity and acceleration of the building with HDRB ranged from 50% - 52% and 22% - 23,5%, respectively, compared to that of the building without HDRB. Thus the study is expected useful for engineers of high rise buildings in planning a stable structure in receiving earthquake loading. Thus the study is expected useful for designers of high rise buildings in planning a stable structure in receiving earthquake loading.

Keywords: base isolator, earthquake load, high damping rubber bearing, structure responses, time history analysis.

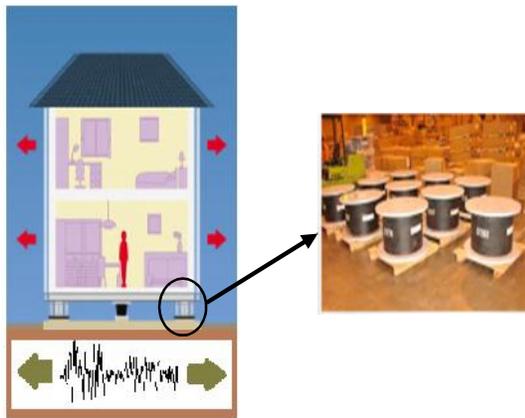
A. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan bencana alam yang sangat sulit diprediksi kapan dan di mana lokasi kejadiannya, proses terjadinya relatif singkat akan tetapi akibat yang ditimbulkan dapat merusak infrastruktur dan bahkan memakan korban jiwa. Oleh karena itu, desain bangunan tahan gempa menjadi suatu hal yang harus diperhitungkan secara matang agar dapat meminimalisir kerusakan pada struktur gedung, menghindari korban jiwa dan resiko kejadian lainnya.

Dengan kemajuan teknologi yang terus berkembang dengan pesat, di dalam hal perencanaan struktur gempa peneliti telah mengembangkan suatu pendekatan desain alternatif yang mampu mengurangi resiko kerusakan bangunan dan tetap mempertahankan integritas komponen struktural dan non struktural terhadap gempa kuat (Saloma, 2015). Pendekatan desain tidak dilakukan dengan cara memperkuat struktur bangunan akan tetapi dengan mereduksi gaya gempa yang bekerja pada

bangunan tersebut yang dikenal dengan nama sistem isolasi gempa (*seismic isolation*).

Sistem ini biasanya diterapkan pada bangunan bertingkat dan jembatan yang rentan terhadap beban gempa, dengan menambahkan *base isolator* pada bagian bawah struktur bangunan seperti yang terlihat pada Gambar 1. *Base isolation* merupakan suatu sistem yang berguna sebagai pasif kontrol yang akan bekerja sewaktu-waktu saat terjadi gempa.



Gambar 1: *Base Isolation*

Ada dua pendekatan yang digunakan untuk memperhitungkan beban gempa yang bekerja pada suatu struktur bangunan yaitu dengan analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (respons spektra atau *time history*). Analisis riwayat waktu (*time history*) sangat cocok digunakan untuk analisis struktur yang tidak beraturan terhadap pengaruh gempa rencana. Mengingat gerakan tanah akibat gempa di suatu lokasi sulit diperkirakan dengan tepat, maka analisis beban gempa dapat didekati dengan gerakan tanah yang disimulasikan. Dalam analisis ini digunakan hasil rekaman akselerogram gempa sebagai input data percepatan gerakan tanah akibat gempa. Dari hasil analisis ini dapat dilihat pengaruh beban gempa per interval waktu selama durasi gempa yang terjadi terhadap struktur bangunan tanpa *base isolator* dan struktur

bangunan yang menggunakan *base isolator*. Dalam penelitian ini, jenis *base isolator* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).

Berdasarkan hal tersebut maka studi ini menganalisis perbandingan perilaku perilaku bangunan gedung dengan dan tanpa menggunakan sistem *seismic isolation*. Perilaku struktur bangunan dianalisis dengan menggunakan metode analisis riwayat waktu dengan bantuan aplikasi elemen hingga terhadap daerah yang memiliki intensitas beban gempa tinggi di Pulau Sumatera yaitu Kota Banda Aceh, Kota Padang dan Kota Bengkulu. Perilaku struktur yang diamati adalah kecepatan dan percepatan struktur. Diharapkan studi ini dapat memberikan manfaat bagi perencana bangunan dengan memberikan gambaran kinerja *base isolator* dalam meredam gaya gempa, serta memperkaya literatur untuk pengembangan struktur tahan gempa dan pemanfaatan *base isolator system*.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu peristiwa pelepasan energi gelombang seismik yang terjadi secara tiba tiba akibat dari pecah atau slipnya massa batuan di lapisan kerak bumi (Hartuti, 2009). Bumi kita walaupun padat, namun selalu bergerak, gerakan bumi ini akan menimbulkan suatu tekanan. Apabila tekanan yang terjadi sudah terlalu besar untuk dapat ditahan oleh lempeng tektonik, maka gempa bumilah yang akan terjadi. Proses pelepasan energi ini berupa gelombang elastis, yaitu gelombang seismik atau gempa yang sampai ke permukaan bumi dan menimbulkan getaran sehingga menimbulkan kerusakan pada benda-benda atau bangunan di permukaan bumi.

Besarnya kerusakan sangat bergantung dengan besar dan lamanya getaran yang sampai ke permukaan bumi.

Rusaknya bangunan akibat gempa juga sangat bergantung dengan kekuatan struktur bangunan itu sendiri.

Pengukuran besar kekuatan gempa bumi biasanya menggunakan 3 skala, yaitu:

1. Berdasarkan energi yang dilepaskan di pusat gempa.

Magnitude menunjukkan besaran atau jumlah energi yang dilepaskan pada suatu hipocentrum yang dapat diukur dengan *seismograf*. *Magnitude* pertama kali dikemukakan oleh Charles Richter tahun 1935, maka dari itu hingga kini dikenal sebagai Skala Richter.

2. Berdasarkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa.

Intensitas biasanya digunakan untuk menentukan kuatnya getaran tanah akibat suatu gempa. Salah satu skala intensitas yang dikenal adalah MMI (*Modified Mercalli Intensity*) digunakan sejak tahun 1956.

3. Berdasarkan Percepatan batuan dasar maksimum / Peak Ground Acceleration (PGA).

Dalam mendesain suatu struktur, data gempa yang diperlukan adalah berupa data PGA ini. Besarnya PGA dapat dihitung dari besarnya *magnitude* dan kedalaman gempa.

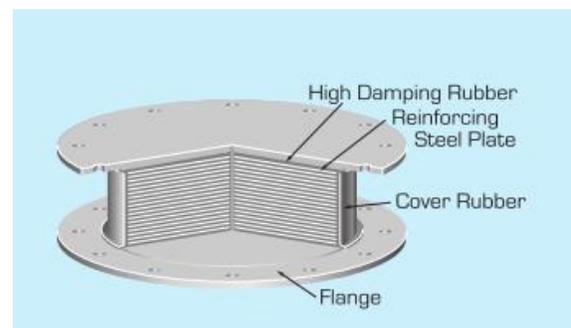
B.2 Seismic Isolation

Prinsip dari *base isolation* pertama sekali dikemukakan oleh Johannes Avetican Calantarients tahun 1909, seperti yang tertulis dalam buku Naeim dan Kelly tahun 1999. Calantarients adalah seorang dokter medis dari sebelah utara Inggris. Calantarients berpendapat bahwa beban gempa yang mengenai bangunan dapat direduksi dengan memasang *free joint* di antara struktur atas dan bawah sehingga bangunan dapat bergerak horizontal pada *free joint* tersebut. Pada saat itu, Calantarients

menyarankan bahan yang digunakan bisa berupa pasir halus, mika atau sejenisnya (Ismail, 2012).

Pada saat terjadi gempa, masing-masing struktur bangunan akan bergetar akibat pergerakan tanah yang mempengaruhi pondasi bangunan. Oleh karena pergerakan tanah yang terjadi bersifat acak maka getaran yang memasuki struktur juga bersifat kaku dan mudah runtuh. Pada bangunan yang menggunakan *base isolator*, getaran yang terjadi pada pondasi akan melewati bantalan karet terlebih dahulu sebelum memasuki sistem struktur bangunan. Hal ini disebabkan karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi *base isolator*, sedangkan struktur di atasnya akan bergerak sebagai satu kesatuan struktur (Pratiwi & Teruna).

Ada berbagai jenis *base isolator*, diantaranya adalah jenis *High Damping Rubber Bearings* (HDRB). HDRB merupakan bahan anti seismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan horizontal yang relatif kecil dan dicampur dengan *extra fine carbon block*, *oil* atau resin, serta bahan isian lain sehingga meningkatkan *damping* antara 10% sampai 20% pada *shear strain* 100% .



Gambar 2. *High Damping Rubber Bearings* (Bridgestone, 2015)

Material ini bersifat *non-linier* apabila kondisi regangan berada di bawah 20% karena dipengaruhi oleh redaman yang

tinggi dan kekakuan yang bertujuan untuk mengurangi respon akibat beban angin dan beban gempa yang kecil. Pada kondisi regangan 20%-120% material ini bersifat *linier* yang disebabkan oleh modulus gesernya konstan dan rendah.

Kelebihan lainnya dari *seismic isolation* tipe HDRB adalah transisi kekakuan dari *linear* ke *nonlinear* lebih halus jika dibandingkan dengan *sesimic 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

B.4 Tingkat Kinerja Struktur

Berdasarkan FEMA 356, tingkat kinerja struktur bangunan harus berada pada enam tingkat kinerja struktur, yaitu:

1. *Immediate Occupancy* (IO) (S-1), yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur yang kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.
2. *Damage Control* (S-2), pada keadaan ini struktur berada pada level keselamatan pada struktur.
3. *Life Safety* (LS) (S-3), pada keadaan ini terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang tetapi belum mengalami keruntuhan. Struktur yang berada pada keadaan ini masih dapat dipakai bila telah dilakukan perbaikan.
4. *Limited Safety* (S-4), keadaan ini didefinisikan struktur berada diantara keselamatan penghuni (S-3) struktur dengan pencegahan keruntuhan (S-5). Dalam keadaan ini sudah terjadi banyak kerusakan struktur, karena itu sudah tidak aman lagi untuk dihuni sebab kekuatan struktur sudah terbatas.
5. *Collapse Prevention* (CP) (S-5), Didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pasca mengalami keruntuhan.

Kerusakan terjadi pada komponen struktur maupun nonstruktur.

6. *Structural Performance not Considered* (S-6), bangunan yang mengalami kerusakan pada bagian non strukturalnya diklasifikasikan pada tingkat kinerja ini.

C. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat tiga daerah tinjauan dengan intensitas beban gempa yang berbeda, tiga daerah tersebut ialah Kota Banda Aceh, Kota Padang dan Kota Bengkulu. Struktur bangunan ini difungsikan sebagai gedung perhotelan dengan material beton bertulang.

C.1 Data Material Struktur

Data struktur gedung yang digunakan pada penelitian ini adalah struktur beton bertulang dengan propertis material sebagai berikut :

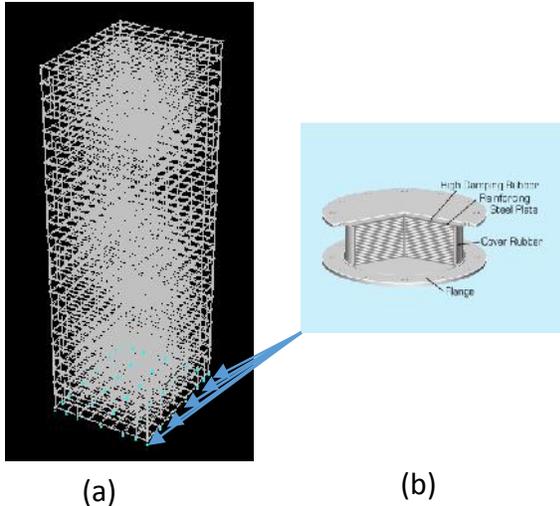
1. Mutu Beton f_c' 24,9 MPa
2. Tegangan Leleh Utama f_y 400 MPa
3. Tegangan Leleh Geser f_y 240 MPa

C.2 Data Geometri Struktur

Struktur bangunan yang ditinjau adalah struktur beton bertulang 25 lantai dengan bentuk struktur beraturan dengan panjang 30 m dan lebar 24 m, seperti terlihat pada Gambar 3a. Ketinggian antar lantai 4 m untuk lantai dasar dan 3,5 m untuk lantai selanjutnya.

Tabel 1. Data Struktur Bangunan

No.	Komponen Struktur	Dimensi	Satuan
1	Balok	Induk	600/400 mm
		Anak	400/300 mm
2	Pelat Lantai		150 mm
		K1	100/100 cm
3	Kolom	K2	80/80 cm
		K3	70/70 cm
		K4	50/50 cm
4	Dinding Geser	20/300	cm



Gambar 3. (a) Bentuk geometri struktur dan (b) *base isolator* yang digunakan

Jenis HDRB yang digunakan tipe MVBR-0514 (X0.6R), *Rubber code* : X0.6R, dengan klasifikasi *Shear Modulus* (G): 0.62 N/mm², *Equivalent Damping Ratio*: 0.24, *Rubber Thickness* (tr): 200 mm, TD = 3 x Tc = 7,6 detik (sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 12.4.1), T = 0,5 TD = 3,2 detik (sesuai dengan SNI 1726-2012 Pasal 12.3.2). Perhitungan untuk mendesain diameter *base isolation* dengan tipe *High Damping Rubber Bearing* dilakukan dengan menghitung berat bangunan pada masing-masing reaksi perletakan bangunan yang kemudian di hitung berdasarkan rumus dari (Naeim & Kelly, 1999).

$$F_z = W = 11.395,52 \text{ KN dan}$$

$$W = 6.136,79 \text{ KN}$$

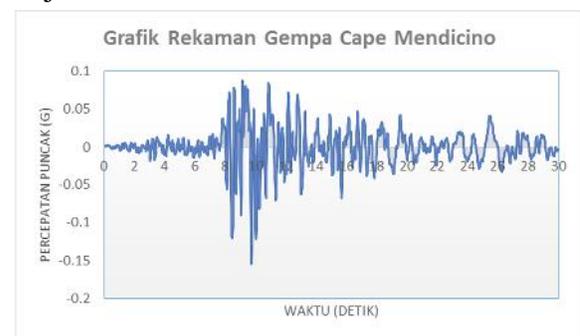
Berdasarkan hasil perhitungan dengan metoda Naeim & Kelly didapatkan diameter HDRB sebesar 1200 mm dan 850 mm dengan tipe HH120X6R dan HH085X6R.

C.3 Data Beban

Pembebanan diambil dari ketentuan yang tercantum dalam SNI 1727-2013, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung PPIUG-1983 dan Standar Nasional Indonesia SNI 1726-2012 tentang Tata Cara

Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Beban gempa yang digunakan adalah berupa catatan respon riwayat waktu (*time history*) yang berupa rekaman gempa Cape Mendocino (PGA = 0,154g). Penyesuaian skala yang digunakan ditentukan berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa Indonesia SNI 1726-2012 pada kondisi tanah sedang. Data Gempa Cape Mendocino dapat dilihat pada Gambar 4. Gempa Cape Mendocino ini akan diskalakan ke daerah tinjauan di Pulau Sumatera.



Gambar 4. Gempa Cape Mendocino

Sebagai contoh berdasarkan SNI 1726-2012 nilai PGA Banda Aceh yang berada pada 0,6-0,7 g. sedangkan menurut data Puskim.pu., data gempa untuk kota Banda Aceh jenis tanah sedang sebesar 0,621 g. maka diambil 0,621 g dan nilai F_{PGA} diperoleh dari SNI 1726-2012. Untuk kelas situs SD dan nilai PGA 0,621g maka didapatkan nilai F_{PGA} sebesar 1,000. Sehingga selanjutnya dapat dihitung skala gempa Cape Mendocino untuk kemudian di *input* dalam program elemen hingga

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA$$

$$PGA_M = 1,000 \times 0,621$$

$$PGA_M = 0,621 \text{ g}$$

Gempa Cape Mendocino

$$PGA_{Gempa} = 0,154 \text{ g}$$

$$PGA_M = 0,621 \text{ g}$$

SNI-1726-2012 pada Pasal 11.1.4, mengenai parameter respon menetapkan

setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan dengan I/R, sesuai konsep desain kapasitas untuk gempa rencana. Berdasarkan SNI-1726-2012 tersebut didapatkan nilai faktor keutamaan gempa (I) untuk kategori gedung perhotelan/apartemen sebesar 1 dan nilai koefisien modifikasi respon (R) untuk struktur dengan dinding geser beton bertulang khusus sebesar 8.

$$\begin{aligned} PG_{AM} \text{ Banda Aceh} & \text{ yang diskalakan} \\ & = PG_{AM} \text{ Banda Aceh} \times (I/R) \\ & = 0,621 \text{ g} \times (1/8) \\ & = 0,078 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,078}{0,154} = 0,504 \text{ g}$$

Input skala pada program elemen hingga sebesar = 0,504 x 9,81 = 4,94

Tabel 2. Data Skala Gempa Rencana di Setiap Daerah Tinjauan

Daerah Tinjauan	Nilai PGA (g)	Skala Gempa PG _{AM}	Skala Gempa Rencana (m/s ²)
Banda Aceh	0,621	0,078	4,94
Padang	0,515	0,064	4,10
Bengkulu	0,519	0,065	4,13

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis Ragam

Analisis ragam harus dilakukan terlebih dahulu untuk memperoleh periode getar struktur dan partisipasi massa struktur.

D.1.1 Periode fundamental

Periode fundamental getaran (*fundamental period of vibration*) adalah periode pada ragam pertama dari hasil analisis ragam karena nilainya yang paling besar. Analisis dilakukan dengan pemeriksaan periode getaran bebas struktur (T) yang merupakan produk dari massa struktur dan kekakuan struktur. Berdasarkan SNI 1726-2012 periode fundamental pendekatan dihitung dengan Persamaan (26)

Pasal 7.8.2.1 SNI 1726-2012. Periode struktur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Persyaratan Periode Fundamental pada Struktur Tanpa *Base Isolator*

Daerah Tinjauan	Periode Getaran Bebas Struktur Terbesar	Syarat SNI 1726-2012 < C _u T _a	Keterangan
Banda Aceh	0,891	< 3,54	Memenuhi
Padang	0,891	< 3,54	Memenuhi
Bengkulu	0,891	< 3,54	Memenuhi

Dari Tabel diatas dapat diketahui bahwa periode getaran bebas struktur bangunan *fixed base* tersebut telah memenuhi syarat periode berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1.

D.1.1 Partisipasi massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90% dari massa aktual di setiap arah horizontal orthogonal dari stuktur (SNI 1726-2012 Pasal 7.9.1). Dari hasil analisis elemen hingga menunjukkan bahwa struktur sudah memenuhi ketentuan tersebut dengan patisipasi massa lebih dari 90% massa aktual pada modal ke 10 (struktur *fixed base*) dan pada modal ke 2 pada struktur dengan *base isolator*.

Tabel 4. Partisipasi Massa Ragam Struktur Tanpa *Base Isolator*

Daerah Tinjauan	Partisipasi Massa Ragam (%)		Syarat SNI 1726-2012	Keterangan
	Arah X	Arah Y		
Banda Aceh	91,03	90,40	90	Memenuhi
Bengkulu	91,03	90,40	90	Memenuhi
Padang	91,03	90,40	90	Memenuhi

Tabel 5. Partisipasi Massa Ragam Struktur dengan *Base Isolator*

Daerah Tinjauan	Partisipasi Massa Ragam (%)		Syarat SNI 1726-2012	Keterangan
	Arah X	Arah Y		
	Banda Aceh	91,03		
Bengkulu	91,03	90,40	90	Memenuhi
Padang	91,03	90,40	90	Memenuhi

D.2 Analisis Dinamik Riwayat Waktu

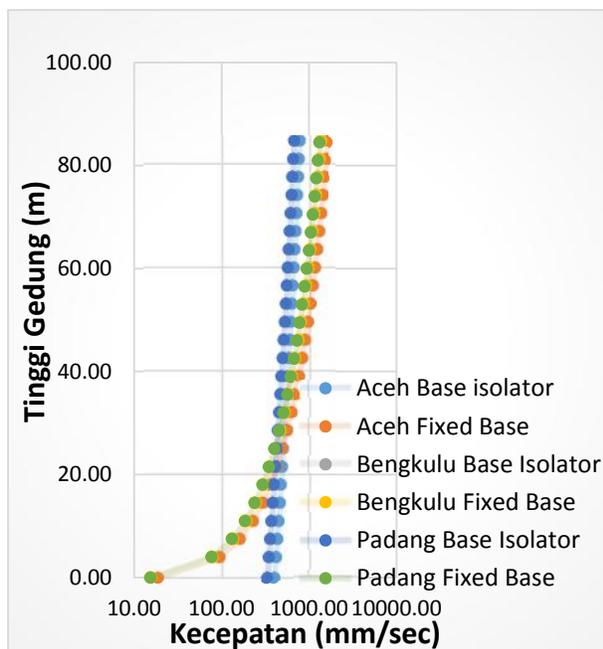
Setelah dilakukan proses analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) sehingga didapatkan respons dinamik kecepatan (*velocity*) dan percepatan (*acceleration*) struktur bangunan.

D.2.1 Respons Dinamik Kecepatan

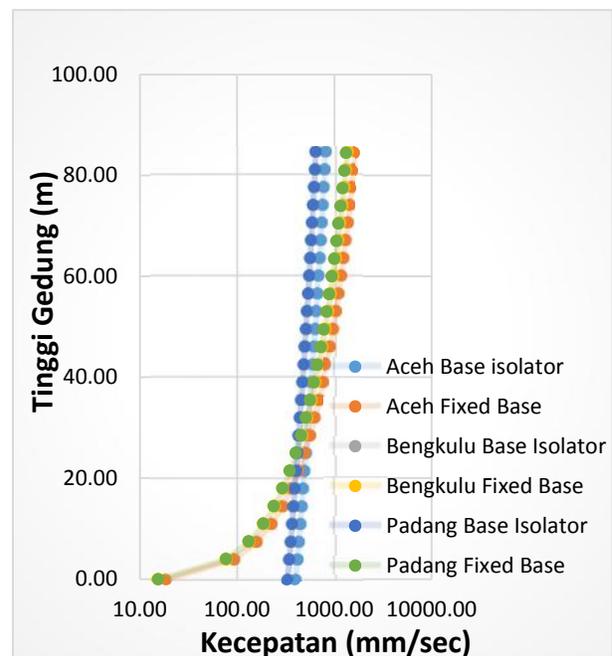
Berdasarkan hasil analisis, besarnya kecepatan yang terjadi tergantung besarnya beban gempa yang diberikan. Diantara semua nilai respons kecepatan yang terjadi respons

kecepatan struktur konvensional (*fixed base*) memiliki respons maksimum dibandingkan dengan struktur dengan *base isolator*. Misalnya respons kecepatan di Kota Banda Aceh sebesar 1584,90 mm/det atau 1,6 m/det. Hal ini dikarenakan nilai PGA daerah tersebut lebih besar dibandingkan dengan daerah lain. Kemudian disusul struktur konvensional di Kota Bengkulu dan Padang.

Dengan memanfaatkan *base isolator* sebagai pereduksi beban gempa, hal tersebut membuktikan bahwa *base isolator* dapat meminimalisir besarnya kecepatan yang terjadi. Misalnya struktur bangunan di Kota Banda Aceh, dari Kecepatan maksimum sebesar 1,58 m/det dapat direduksi sebesar 0,75 m/det. Jika dipersentasekan, *base isolator* dapat mereduksi kecepatan sebesar 52,43% pada lantai atas dan secara keseluruhan *base isolator* mampu mereduksi 52% - 53% respons kecepatan. Pada Gambar 5. dapat dilihat pola besaran kecepatan disetiap lantai struktur bangunan.



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik Kecepatan Struktur Dengan Dan Tanpa *Base Isolator*
(a) Arah X dan (b) Arah Y

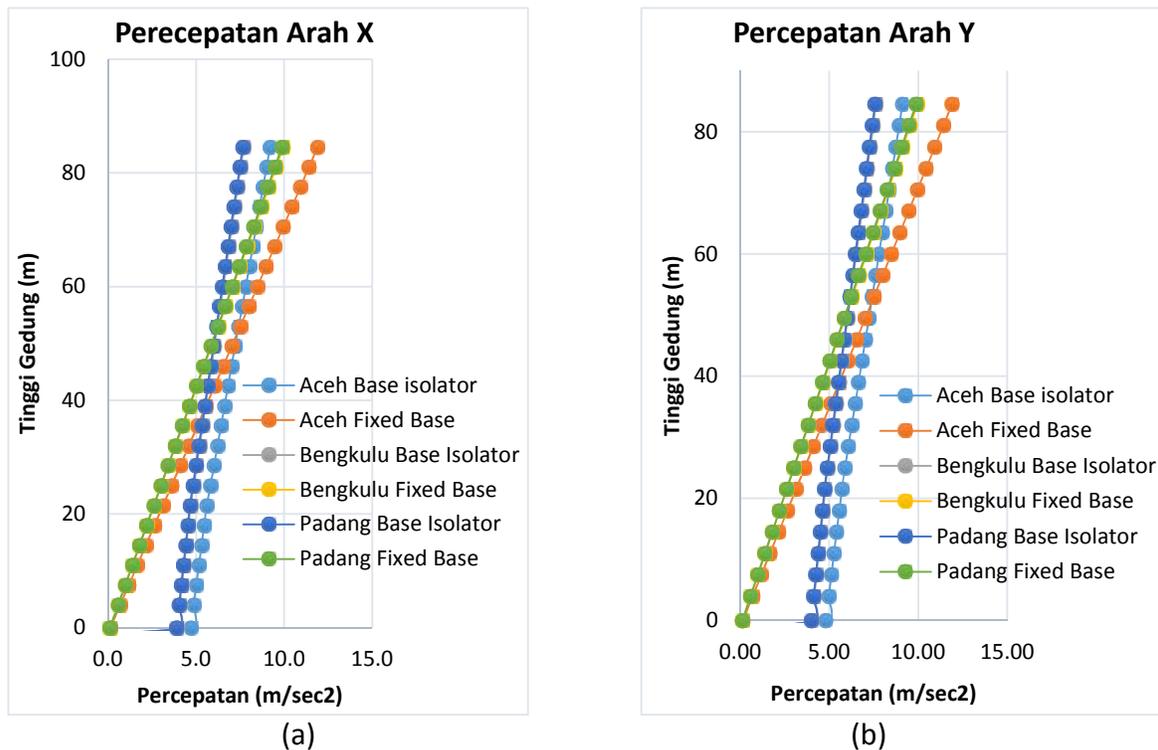
D.2.2 Respons Dinamik Percepatan

Nilai percepatan dari analisis struktur terhadap beban gempa riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 6. pada masing masing daerah tinjauan dalam arah X dan Y.

Berdasarkan grafik dan gambar diatas, secara keseluruhan menunjukkan bahwa dengan memanfaatkan *base isolator* dapat meminimalisir besarnya percepatan yang terjadi.

E. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *base isolator* mampu mereduksi 50% - 52% besarnya respons kecepatan pada struktur tanpa *base isolator*. Begitu juga dengan respons percepatan yang dapat direduksi sebesar 22% - 23,5%.



Gambar 6. Grafik Percepatan Struktur Dengan Dan Tanpa *Base Isolator*
(a) Arah X dan (b) Arah

Misalnya struktur bangunan di Kota Banda Aceh, dari percepatan 11,90 m/det² direduksi sebesar 9,20 m/det². Jika dipersentasikan *base isolator* dapat mereduksi kecepatan sebesar 22,65% pada lantai atas dan secara keseluruhan besarnya reduksi percepatan dalam setiap arah tinjauan sebesar antara 22% - 23,5%.

F. Saran

Diharapkan kepada peneliti selanjutnya agar teliti dalam memasukkan propertis dari *base isolator* kedalam elemen hingga.

G. Daftar Pustaka

Bridgestone, 2015. Seismic Isolation Product Line-Up. , 1, P.75.

- Hartuti, E.R., 2009. *Buku Pintar Gempa* E. Syahriyanti, Ed., Yogyakarta: DIVA Press.
- Ismail, F.A, 2012. Pengaruh Penggunaan Seismic Base Isolation System Terhadap Respons Struktur Gedung Hotel Ibis Padang. , 8(1), Pp.45–60.
- Naeim, F. & Kelly, J.M., 1999. *Design Of Seismic Isolated Structures: From Theory To Practice.* ., United States Of Anmerica: John Wiley & Sons, Inc.,.
- PPIUG-1983, 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.Pdf.
- Pratiwi, E.D. & Teruna, D.R., Kajian Pengaruh Karakteristik Mekanik Damper Leleh Baja Terhadap Respon Bangunan Akibat Gaya Gempa Dengan Menggunakan Analisis Riwayat Waktu.
- Puskim.Pu. 2011. Nilai Spektral Percepatan Di Permukaan Dari Gempa Risk-Targeted Maximum Consider Earthquake Dengan Probabilitas Keruntuhan Bangunan 1% Dalam 50.
- Saloma, 2015. Analisis Struktur Rangka Baja Menggunakan Base Isolation Dengan Time History Analysis. , 4(1), Pp.20–26.
- SNI 1726-2012, 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung.
- SNI 1727:2013, 2013. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.