

ANALISIS KINERJA SEISMIK STRUKTUR BANGUNAN BETON BERTULANG 10 LANTAI DENGAN METODE RESPONS SPEKTRUM DAN *TIME HISTORY*

(Seismic Performance Analysis of 10 Stories Reinforced Concrete Building Using Spectrum Response and Time History Methods)

Andina Prima Putri¹, M.Ricky Reinaldy Afdar Fadilah¹, Christianto Credidi Septino Khala¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan

E-mail: andina@lecturer.itk.ac.id

Diterima 22 Maret 2021, Disetujui 23 Juni 2021

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada dalam kawasan lempeng tektonik teraktif di bumi. Kondisi tersebut menjadikan Indonesia rawan terhadap gempa bumi. Sehingga pertimbangan beban akibat gempa bumi dalam perencanaan struktur menjadi sangat penting untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan. Oleh karena itu dilakukan analisis kinerja struktur bangunan beton bertulang 10 lantai dengan metode respons spektrum dan time history yang bertujuan untuk mengetahui nilai base shear, displacement, drift, dan kinerja struktur berdasarkan ATC-40. Desain struktur menggunakan contoh gedung beton bertulang 10 lantai dengan lokasi di Aceh. Pembebanan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Nilai base shear maksimum yang diperoleh yaitu sebesar 116357.777 kN. Nilai displacement maksimum yang diperoleh yaitu sebesar 363.841 mm. Nilai drift tidak memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1. Kinerja struktur adalah IO (Immediate Occupancy). Karena nilai drift tidak memenuhi persyaratan maka dilakukan evaluasi struktur dengan menggunakan base isolator HDRB HH075X4S. Hasil analisis menunjukkan bahwa base isolator dapat mereduksi nilai base shear struktur hingga 73%. Nilai displacement maksimum setelah evaluasi struktur sebesar 877.394 mm dengan sebagian besar deformasi terjadi pada isolator sehingga struktur atasnya lebih sedikit berdeformasi dan dapat memperkecil nilai simpangan antar lantai. Nilai drift setelah evaluasi struktur telah memenuhi persyaratan sehingga struktur lebih aman. Kinerja struktur setelah dilakukan evaluasi struktur diperoleh kinerja yang sama, yaitu IO (*Immediate Occupancy*).

Kata Kunci: Gempa Bumi, Evaluasi Struktur, Base Isolator, Kinerja Struktur.

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries located in the most active tectonic plate area on earth. These conditions make Indonesia prone to earthquakes. So that the consideration of the load due to earthquakes in structural planning is very important to minimize the impact. Therefore, analysis of the performance of the 10-story reinforced concrete building structure using the response spectrum method and time history aims to determine the basic values of shear, displacement, deviation, and structure performance based on ATC-40. The structural design uses the example of a 10-story reinforced concrete building located in Aceh. The loads refers to SNI 1726:2019 and SNI 1727:2020. The maximum base shear value obtained is 116357.777 kN. The maximum displacement value obtained is 363.841 mm. The drift value does not meet the requirements according to SNI 1726:2019 Article 7.12.1. The structural performance is IO (Immediate Occupancy). Because the drift value does not meet the requirements, a structure evaluation was carried out using the base isolator HDRB HH075X4S. The analysis results show that the base isolator can reduce the base shear value of the structure by up to 73%. The value of displacement value after structural evaluation is 877.394 mm with most of the deformation occurring in the isolation plane so that the structure deforms less and can reduce the drift between floors. The drift value after the evaluation of the structure has met the requirements so that the structure is safer. Structure performance after the same performance evaluation, namely IO (*Immediate Occupancy*).

Keywords: Earthquake, Structural Evaluation, Base Isolator, Structure Performance.

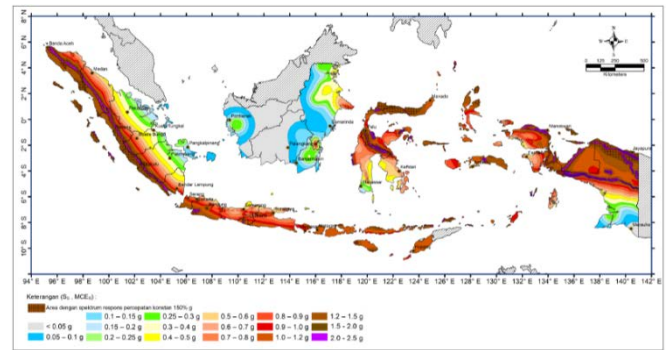
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara di Asia Tenggara yang wilayahnya berada dalam kawasan *ring of fire* yang merupakan daerah dengan pergerakan lempeng tektonik teraktif di bumi. Negara Indonesia sendiri dikelilingi oleh beberapa lempeng seperti Lempeng Benua Eurasia, Lempeng Benua Indo-Australia, dan Lempeng Samudra Pasifik. Kondisi geografis tersebut menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan gunung meletus. Berdasarkan data yang diambil dari situs *United States Geological Survey* (USGS) gempa bumi yang terjadi di Indonesia sebanyak 10.979 kali dalam kurun waktu 5 tahun terakhir.

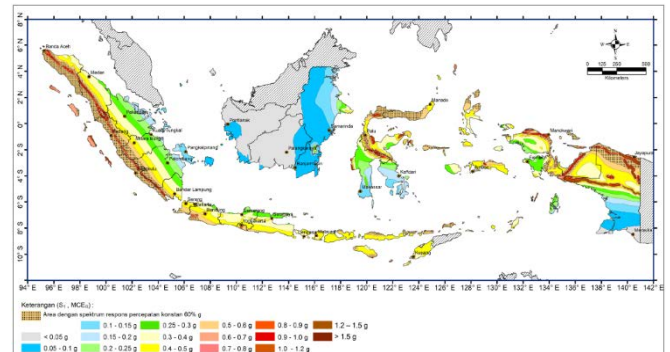
Hal tersebut menjadikan betapa pentingnya pertimbangan beban akibat gempa bumi dalam perencanaan struktur sebuah bangunan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan akibat bencana alam tersebut, terutama pada struktur bangunan berlantai tinggi. Dalam merencanakan ketahanan struktur terhadap gempa bumi dibutuhkan suatu pedoman agar perencanaannya dapat menjadi efektif dan efisien. Dalam hal ini pemerintah melalui Badan Standarisasi Nasional (BSN) telah menerbitkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 tentang “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung” yang merupakan revisi dari SNI yang diterbitkan sebelumnya pada tahun 2012.

Pada penelitian ini menggunakan metode respons spektrum dan time history. Kedua metode analisis dinamik tersebut sangat disarankan untuk diaplikasikan pada struktur yang bersifat tidak simetris. Selain itu karena pergerakan tanah di suatu lokasi tidak dapat diprediksi dengan tepat, maka pendekatan secara dinamik diharapkan dapat menghasilkan respons struktur yang sebenarnya. Desain struktur bangunan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan contoh dari struktur gedung 10 lantai dengan lokasi yang digunakan adalah Aceh. Untuk tujuan desain dan evaluasi seismik, penting untuk memperkirakan bahaya yang akan dihadapi sebuah struktur selama umur pemakaiannya (Karimzadeh et al., 2017).

Berdasarkan SNI 1726:2019 dalam menentukan respons spektrum perlu diketahui kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung yang dikalikan dengan suatu faktor keutamaan. Parameter S_s dan S_7 harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan dalam peta gerak tanah seismik dapat ditentukan dari peta gempa Indonesia (Gambar 1 dan Gambar 2). Kedua parameter tersebut harus disesuaikan kembali dengan masing-masing koefisien situs untuk mendapatkan kurva respons spektrum.



Gambar 1. Peta Parameter Gerak Tanah S_s
Sumber: (SNI 1726:2019)



Gambar 2. Peta Parameter Gerak Tanah S_7
Sumber: (SNI 1726:2019)

Waktu gerakan tanah ketika terjadi gempa berpengaruh besar terhadap respon struktur. Ketika gempa memasuki waktu elastis, struktur akan mengalami retak mikro, menghasilkan tegangan, dan kemudian retakan akan membesar di bawah kondisi tegangan konstan hingga mencapai kondisi plastis (Zhou et al., 2019)

Pada analisis *Time history* suatu model struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan sebelumnya. Data percepatan permukaan tanah berupa akselerogram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah terhadap waktu. Data akselerogram ini akan menjadi parameter gempa masukan untuk suatu perencanaan atau analisis struktur.

Riwayat gerakan tanah harus dikalikan dengan suatu faktor skala yang konstan, sehingga spektrum respons masing-masing dan spektrum respons target bertepatan pada periode getaran tertentu dan tercocokkan dalam rentang periode tertentu dengan toleransi (Lombardi et al., 2019).

Base isolator merupakan sebuah sistem bantalan karet yang dipasang di antara pondasi dan struktur atas. Prinsip utama dari base isolator adalah bangunan dimodifikasi dengan cara memisahkannya dari permukaan tanah sehingga tanah mampu bergerak tanpa meneruskan gerakan minimal atau tidak sama sekali ke struktur atasnya (Gupta, 2020).

Menurut Andrian (2017), ketika terjadi gempa bumi getaran akan melewati sistem bantalan karet sebelum

memasuki struktur atas. Karena sifat elastisitas karet maka getaran yang acak hanya akan mempengaruhi *base isolator* saja, sedangkan struktur di atasnya akan berdeformasi sebagai satu kesatuan sehingga bangunan tidak mudah runtuh.

Kemampuan struktur berdeformasi di bawah aksi horizontal tanpa runtuh adalah persyaratan utama yang harus dimiliki oleh struktur yang akan dibangun di daerah rawan gempa dengan mengesampingkan material bangunannya. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, struktur modern ini dituntut untuk bersifat daktail, yaitu mampu mengalami deformasi yang besar tanpa mengalami penurunan kekuatan yang signifikan (Porcu et al., 2018).

Sebagian besar peraturan desain seismik untuk sistem bangunan saat ini mengklaim bahwa desain struktur bangunan berdasarkan persyaratannya mengarah ke Life Safety (LS) sebagai kinerja maksimumnya (Hosseini et al., 2017). Menurut ATC-40, kinerja struktur bangunan gedung dapat dibagi menjadi:

1. *Immediate Occupancy (IO)* yaitu kriteria yang paling banyak digunakan untuk fasilitas penting. Ruang dan sistem gedung diharapkan dapat digunakan secara wajar dengan kerusakan yang sangat terbatas. Risiko yang mengancam korban jiwa akibat kegagalan struktur dapat diabaikan
2. *Damage Control (DC)* yaitu kerusakan pasca gempa yang terjadi bervariasi dari *Immediate Occupancy* hingga *Life Safety*
3. *Life Safety (LS)* yaitu Keadaan pasca gempa di mana kerusakan signifikan pada struktur mungkin telah terjadi, tetapi belum mencapai keruntuhan sebagian atau total
4. *Structural Stability (SS)* yaitu Kategori pasca gempa di mana sistem struktur bangunan berada di ambang kehancuran sebagian atau total. Rentang level kinerja tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

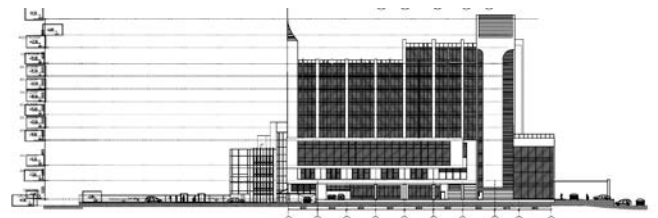
Tabel 1. Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40.

Parameter	IO	DC	LS	SS
Maximum Drift Ratio	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33

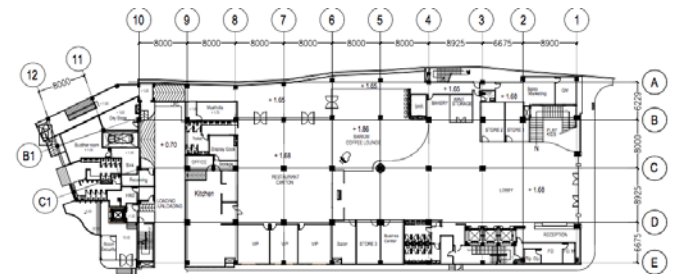
Sumber: (ATC-40)

METODE

Studi literatur pada penelitian ini dilakukan dari jurnal, peraturan, dan buku yang terkait dengan analisis. Pengumpulan data terdiri dari data primer yang digunakan sebagai contoh untuk pemodelan struktur (Gambar 3 dan Gambar 4), dan data sekunder yang diperoleh berupa data pembebanan dan akselerogram Gempa Mentawai. Pemodelan struktur bangunan sesuai dengan data dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000.



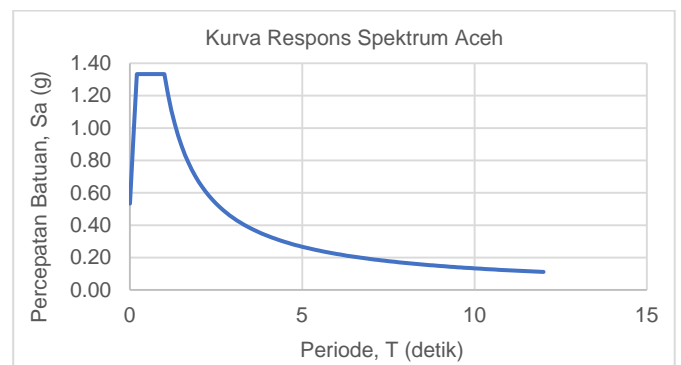
Gambar 3. Tampak Depan Bangunan



Gambar 4. Denah Bangunan

Kondisi tanah diasumsikan adalah tanah lunak (SE) dengan wilayah di Aceh sesuai dengan peta gempa Indonesia. Bangunan difungsikan sebagai hotel 10 lantai dengan material yang digunakan terdiri dari beton bertulang mutu K-300, K-350, K-400, tulangan polos BJTP 24 dan tulangan ulir BJTD 40. Elemen penyusun seperti kolom dan balok dimodelkan sebagai elemen *frame*, sedangkan pelat dimodelkan sebagai elemen *area*.

Diperoleh kurva respons spektrum sesuai dengan SNI 1726:2019 untuk wilayah Aceh seperti pada Gambar 5 berikut:



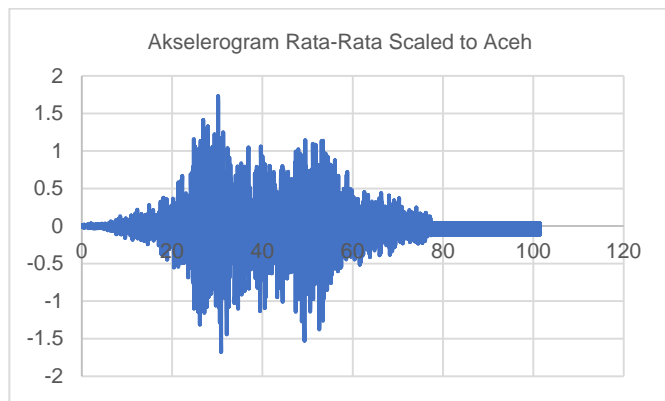
Gambar 5. Kurva Respons Spektrum Aceh

Tipe kombinasi respons spektrum dipilih CQC *modal combination* karena merupakan perkembangan dari metode SRSS dan diharapkan mereduksi tingkat kesalahan dalam kombinasi modal.

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 6.5, struktur dengan Risiko I, II, atau III yang berada di mana S_1 lebih dari atau sama dengan 0,75 ditetapkan sebagai struktur Kategori Desain Seismik E. Untuk struktur beton bertulang dengan Kategori Desain Seismik E pada penelitian ini tetap menggunakan sistem pemikul berupa Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Biasa karena diharapkan gaya gempa dapat disipasi melalui base isolator.

Pada analisis *time history* menggunakan data akselerogram gempa Mentawai, Sumatera Barat berkekuatan 8.4 SR tahun 2007 sebanyak 3 (tiga) stasiun yang diperoleh dari situs Strong Motion Center sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.3 bahwa riwayat percepatan tanah yang digunakan untuk analisis linier terdiri tidak kurang dari tiga pasang. Dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.9.2.3.1 dinyatakan bahwa setiap data akselerogram harus dicocokkan secara spektral dalam rentang $0,8T_{lower}$ sampai dengan $1,2T_{upper}$.

Bentuk data akselerogram yang telah diskalakan sesuai dengan Kalkan (2010) dapat dilihat seperti pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Akselerogram Diskalakan ke Aceh

Tipe analisis *time history* dipilih *linear modal analysis* karena dengan analisis tersebut sudah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai, yaitu memperoleh nilai *base shear*, *displacement*, *drift*, dan level kinerja struktur. Untuk *number of time steps* disesuaikan dengan panjang data akselerogram yang digunakan.

Setelah analisis respons spektrum dan *time history* selesai dilakukan maka berikutnya dilakukan evaluasi struktur dengan menggunakan *base isolator high damping rubber bearings (HDRB)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan *time history* gempa Mentawai yang telah diskalakan, diperoleh nilai *base shear* seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Nilai *Base Shear* Maksimum.

Load Case	Base Shear Maksimum (kN)
Aceh X	66588.12
Aceh Y	116357.777

Berikutnya dilakukan perhitungan gaya geser dasar statik ekuivalen dan kontrol terhadap syarat sesuai dengan Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019 seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Kontrol Terhadap *Base Shear*.

Load Case	Base Shear (kN)		Keterangan
	V_t	V	
Aceh X	66588.12	38632.990	$V_t > V$
Aceh Y	116357.777		$V_t > V$

Berdasarkan tabel di atas, baik pada *base shear* arah X maupun arah Y menghasilkan $V_t > V$, maka dapat disimpulkan bahwa *base shear* yang dihasilkan dari analisis *time history* memenuhi persyaratan.

Untuk nilai *displacement* diperoleh seperti pada Tabel 4 berikut

Tabel 4. Hasil *Displacement*

Tingkat	Displacement (mm)	
	X	Y
Atap	324.27	363.841
Lantai 10	302.452	338.764
Lantai 9	282.472	311.416
Lantai 8	256.43	281.316
Lantai 7	229.709	260.209
Lantai 6	208.2	232.6
Lantai 5	183.078	202.805
Lantai 4	155.069	169.927
Lantai 3	75.183	84.622
Lantai 2	37.264	43.174
Lantai 1	0	0

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa nilai *displacement* terbesar terjadi di lantai atap.

Hasil *drift* pada struktur dihitung menggunakan persamaan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan batas simpangan antar tingkat izin mengacu pada persamaan Pasal 7.12.1, diperoleh nilai simpangan antar lantai pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil *Drift*

Tingkat	Drift, Δ_x (m)		Δ_a (m)	Keterangan
	X	Y		
Atap	0.054	0.062	0.07	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 10	0.050	0.068	0.07	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 9	0.0651	0.075	0.07	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 8	0.066	0.052	0.07	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 7	0.053	0.069	0.07	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 6	0.062	0.074	0.07	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 5	0.070	0.082	0.07	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 4	0.199	0.213	0.136	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 3	0.094	0.103	0.084	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 2	0.093	0.107	0.106	$\Delta_x > \Delta_a$
Lantai 1	0	0	0.106	$\Delta_x < \Delta_a$

Berdasarkan tabel di atas terdapat hasil yang tidak memenuhi syarat sehingga perlu dilakukan suatu evaluasi struktur agar nilai *drift* dapat memenuhi persyaratan sesuai dengan Pasal 7.12.1 SNI 1726:2019.

Untuk penentuan kinerja struktur mengacu pada ATC-40 ditentukan dari besarnya *maximum total drift*.

Berdasarkan parameter pada Tabel 1, kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Level Kinerja Struktur

Load Case	D_t (mm)	Maximum Total Drift	Level Kinerja
Aceh X	324.27	0.0072	IO
Aceh Y	363.841	0.0081	IO

Berdasarkan tabel di atas diperoleh kinerja struktur *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti kategori ini sesuai dengan kriteria yang paling banyak digunakan untuk fasilitas penting. Ruang dan sistem gedung diharapkan dapat digunakan secara wajar dengan kerusakan yang sangat terbatas. Risiko yang mengancam korban jiwa akibat kegagalan struktur dapat diabaikan.

Evaluasi Struktur

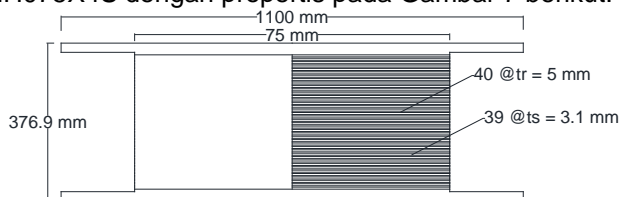
Berdasarkan hasil *drift* tidak memenuhi syarat pada Pasal 7.12.1 SNI 1726:2019, maka perlu dilakukan suatu evaluasi struktur. Oleh karena itu pada analisis ini digunakan *base isolator* tipe *high damping rubber bearing* (HDRB) sebagai evaluasi struktur. Setelah itu akan dilakukan analisis kembali untuk memastikan bahwa hasil *drift* telah memenuhi syarat.

Perhitungan Dimensi HDRB

Langkah-langkah menghitung dimensi HDRB menurut Kelly, (1999) adalah sebagai berikut.

1. Mencari titik reaksi terbesar berdasarkan hasil analisis sebelumnya.
2. Menghitung dimensi HDRB
3. Mencocokkan dimensi HDRB dengan propertis penampang yang diperoleh dari brosur *Bridgestone Design Characteristics of High Damping Rubber Bearing*.

Setelah dilakukan *trial and error* sesuai dengan diameter rubber, maka digunakan *base isolator HDRB HH075X4S* dengan propertis pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Section Properties HDRB HH075X4S

Nilai *damping* HDRB yang tinggi berpengaruh terhadap propertis *compressive stiffness* dan *shear stiffness* pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Propertis HDRB HH075X4S

Karakteristik	Satuan	HH075X4S
Outer Diameter	mm	750
Inner Diameter	mm	15
Shear Modulus	N/mm ²	0.392
Thickness of Rubber Layer	mm	5.0
Number of Rubber Layer		40

Karakteristik	Satuan	HH075X4S
Total Rubber Thickness	mm	200
Height	mm	376.9
Total Weight	kN	8.9
Compressive Stiffness	x10 ³ kN/m	2660
Shear Stiffness (Kh)	x10 ³ kN/m	0.866

Sumber: Brosur *Base Isolator Bridgestone*

Hasil Analisis Setelah Evaluasi Struktur

Dengan menggunakan *time history* gempa Mentawai yang telah diskalakan, diperoleh nilai *base shear* seperti pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Base Shear

Load Case	Base Shear Struktur Dengan Base Isolator (kN)	Base Shear Struktur Tanpa Base Isolator (kN)
Aceh X	35273.034	66588.12
Aceh Y	31505.384	116357.777

Berdasarkan tabel tersebut, penggunaan *base isolator* dapat mereduksi nilai *base shear* hingga 47% untuk arah X dan 73% untuk arah Y dikarenakan gempa bekerja terhadap isolator terlebih dahulu sebelum diteruskan ke struktur.

Berikutnya dilakukan perhitungan gaya geser dasar statik ekuivalen dan kontrol terhadap syarat sesuai dengan Pasal 7.9.1.4.1 SNI 1726:2019 seperti pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Kontrol Terhadap Base Shear.

Load Case	Base Shear (kN)		Keterangan
	V_t	V	
Aceh X	35273.034	24163.622	$V_t > V$
Aceh Y	31505.384		$V_t > V$

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh bahwa *base shear* yang dihasilkan struktur dengan *base isolator HDRB HH075X4S* memenuhi persyaratan. Untuk nilai *displacement* diperoleh seperti pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Perbandingan Nilai Displacement

Tingkat	Displ. Dengan Base Isolator (mm)		Displ. Tanpa Base Isolator (mm)	
	X	Y	X	Y
Atap	877.394	825.918	324.27	363.841
Lantai 10	869.096	816.899	302.452	338.764
Lantai 9	861.298	808.557	282.472	311.416
Lantai 8	850.228	798.24	256.43	281.316
Lantai 7	836.026	786.192	229.709	260.209
Lantai 6	818.858	772.291	208.2	232.6
Lantai 5	800.732	758.167	183.078	202.805
Lantai 4	781.494	742.657	155.069	169.927
Lantai 3	724.979	700.877	75.183	84.622
Lantai 2	695.851	678.725	37.264	43.174
Lantai 1	664.625	652.845	0	0

Nilai *displacement* pada struktur dengan *base isolator* lebih besar daripada yang terjadi pada struktur tanpa *base isolator*, namun sebagian besar deformasi terjadi

pada *isolator* sehingga struktur atasnya lebih sedikit berdeformasi dan dapat memperkecil nilai *drift*.

Hasil *drift* pada struktur dihitung menggunakan persamaan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan batas simpangan antar tingkat izin mengacu pada persamaan Pasal 12.5.6, diperoleh nilai *drift* seperti pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil *Drift* Setelah Evaluasi Struktur

Tingkat	Drift, Δ_x (m)		Δ_a (m)	Keterangan
	X	Y		
Atap	0.016	0.018	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 10	0.015	0.016	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 9	0.022	0.020	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 8	0.028	0.024	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 7	0.034	0.027	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 6	0.036	0.028	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 5	0.050	0.031	0.0525	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 4	0.101	0.083	0.102	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 3	0.058	0.044	0.063	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 2	0.062	0.051	0.0798	$\Delta_x < \Delta_a$
Lantai 1	0	0	0.0798	$\Delta_x < \Delta_a$

Berdasarkan tabel di atas, *drift* yang terjadi setelah evaluasi struktur telah memenuhi syarat. Untuk perbandingan nilai *drift* dapat dilihat pada Tabel 12 berikut.

Tabel 12. Perbandingan Nilai *Drift*.

Tingkat	Drift Dengan Base		Drift Tanpa Base	
	Isolator (mm)		Isolator (mm)	
	X	Y	X	Y
Atap	16.596	18.038	54.545	62.693
Lantai 10	15.596	16.684	49.950	68.370
Lantai 9	22.140	20.634	65.105	75.250
Lantai 8	28.404	24.096	66.803	52.767
Lantai 7	34.336	27.802	53.773	69.023
Lantai 6	36.252	28.248	62.805	74.488
Lantai 5	50.476	31.020	70.023	82.195
Lantai 4	101.030	83.560	199.715	213.263
Lantai 3	58.256	44.304	94.798	103.620
Lantai 2	62.452	51.760	93.160	107.935
Lantai 1	0	0	0	0

Nilai *drift* pada struktur dengan *base isolator* jauh lebih kecil daripada yang terjadi pada struktur tanpa *base isolator*, hal ini terjadi karena *isolator* itu sendiri mengalami deformasi dan membuat keseluruhan struktur berdeformasi secara satu kesatuan sehingga lebih menjaga kenyamanan pengguna gedung, mencegah terjadinya kerusakan non struktural, dan membatasi keretakan beton yang berlebihan.

Untuk penentuan kriteria kinerja struktur mengacu pada ATC-40 dan ditentukan dari besarnya maximum total *drift*. Berdasarkan parameter pada Tabel 1, kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Level Kinerja Struktur

Load Case	D_t (mm)	Maximum Total Drift	Level Kinerja
Aceh X	212.769	0.0047	IO
Aceh Y	173.073	0.0038	IO

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa kinerja pada struktur setelah evaluasi struktur adalah *Immediate Occupancy (IO)* yang berarti kategori ini sesuai dengan kriteria yang paling banyak digunakan untuk fasilitas penting. Ruang dan sistem gedung diharapkan dapat digunakan secara wajar dengan kerusakan yang sangat terbatas. Risiko yang mengancam korban jiwa akibat kegagalan struktur dapat diabaikan. Untuk perbandingan level kinerja struktur dapat dilihat pada Tabel 13 berikut.

Tabel 13. Perbandingan Level Kinerja Struktur

Load Case	Max Total Drift		Level Kinerja
	Dengan Base	Tanpa Base	
	Isolator	Isolator	
Aceh X	0.0047	0.0072	IO
Aceh Y	0.0038	0.0081	IO

Berdasarkan tabel di atas, *maximum total drift* pada struktur dengan base isolator mengalami reduksi hingga 53%, tetapi masih berada dalam rentang kinerja yang sama yaitu *Immediate Occupancy*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

Nilai *base shear* maksimum pada kondisi awal diperoleh sebesar 116357.777 kN. Setelah dilakukan evaluasi struktur dengan *base isolator HDRB HH075X4S* diperoleh *base shear* maksimum sebesar 35273.034 kN. Berdasarkan nilai tersebut maka penggunaan *base isolator HDRB HH075X4S* dapat mereduksi nilai *base shear* struktur hingga 73%,

Nilai *displacement* maksimum pada kondisi awal diperoleh sebesar 363.841 mm. Setelah dilakukan evaluasi struktur dengan *base isolator HDRB HH075X4S* diperoleh *displacement* maksimum sebesar 877.394 mm dengan sebagian besar deformasi terjadi pada *isolator* sehingga struktur atasnya lebih sedikit berdeformasi dan dapat memperkecil nilai simpangan antar lantai

Nilai *drift* pada kondisi awal tidak memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1. Setelah dilakukan evaluasi struktur dengan *base isolator HDRB HH075X4S* diperoleh hasil *drift* telah memenuhi persyaratan pada SNI 1726:2019 Pasal 12.5.6 sehingga lebih menjaga kenyamanan pengguna gedung, mencegah terjadinya kerusakan struktural dan non struktural, serta membatasi keretakan beton yang berlebihan.

Kinerja struktur berdasarkan ATC-40 pada kondisi awal adalah *IO (Immediate Occupancy)*. Setelah

dilakukan evaluasi struktur dengan *base isolator HDRB HH075X4S* diperoleh kinerja yang sama, yaitu *IO (Immediate Occupancy)* di mana kategori ini sesuai dengan kriteria yang paling banyak digunakan untuk fasilitas penting. Ruang dan sistem gedung diharapkan dapat digunakan secara wajar dengan kerusakan yang sangat terbatas. Risiko yang mengancam korban jiwa akibat kegagalan struktur dapat diabaikan

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan penelitian ini.

REFERENSI

- ATC-40.** (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol 2. Applied Technology Council.* Redwood City, California, USA.
- Andrian, W.** (2017). *Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisis Pushover.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Badan Standarisasi Nasional.** (2019). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2019).* Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional.** (2020). *Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).* Jakarta.
- Bridgestone Corporation.** (2015). *Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up.* Japan
- Gupta, K., Tasleem, M. D.** (2020). *Non Linear Time History Analysis Of Asymmetrical Flat Slab Buildings.* Science and Engineering Journal VOLUME 24 ISSUE 8 2020.
- Hosseini, M., et al.** (2017). *Seismic Design Evaluation of Reinforced Concrete Buildings for Near-Source Earthquakes by Using Nonlinear Time History Analyses.* Procedia Engineering 199 (2017) 176–181.
- Kalkan, E., Chopra, A.** (2010). *Practical Guidelines to Select and Scale Earthquake Records for Nonlinear Response History Analysis of Structures*
- Karimzadeh, S. et al.** (2017). *Assessment of alternative simulation techniques in nonlinear time history analyses of multi-story frame buildings: A case study.* Soil Dynamics and Earthquake Engineering 98 (2017) 38-53.
- Kelly, J. M., Naeim, F.** (1999). *Design of Seismic Isolated Structure: From Theory to Practice.* John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Lombardi, L. et al.** (2019). *Design Of Buildings Through Linear Time-History Analysis Optimising Ground Motion Selection: A Case Study For RC-MRFs.* Engineering Structures 192 (2019) 279-295.
- Porcu, M.C., et al.** (2018). *Non-Linear Dynamic Analysis To Assess The Seismic Performance Of Cross Laminated Timber Structures.* Journal of Building Engineering 19 (2018) 480-493.
- USGS.** (2020). *United States Geological Survey: Latest Earthquakes.* Diakses dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map> [6 Maret 2020]
- Zhou, C. X. et al.** (2019). *Analysis of Seismic Wave Selection in Time History Analysis.* IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 242 062031.