

Evaluasi Performa Teknologi Isolasi Dasar Tipe HDRB Pada Gedung Tidak Beraturan di Kawasan Gempa Tinggi

Achmad Rudy Cahyono^{1,*}, Budi Suswanto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: 6012221013@student.its.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	08 Juli 2024	<i>Earthquakes frequently occur in Indonesia, including in Cemagi, Bali, which has high seismic activity (PGA: 0.4275 g). This thesis aims to evaluate the performance of High Damping Rubber Bearing (HDRB) base isolation technology in an apartment building located in Cemagi, Bali (-8.641, 115.104), which features a complex and irregular concrete structure, consisting of 1 basement floor and 5 apartment floors with different floor heights (2900 mm and 3175 mm). The structural performance evaluation follows the ATC-40 guidelines and SNI regulations (1727:2020, 2847:2019, 1729:2020, 1726:2019), involving pushover and time history analysis. The study aims to assess the effectiveness of HDRB technology in reducing structural displacement due to earthquakes, with results showing a reduction in X and Y direction displacements by 64.67% and 38.03%, respectively, and a reduction in column structure dimensions through the optimization of base isolation configuration and stiffness.</i>
Diperbaiki	31 Juli 2024	
Disetujui	13 Agustus 2024	

Keywords: HDRB, pushover, NLTH

Abstrak
Gempa bumi sering terjadi di Indonesia, termasuk di Cemagi, Bali, dengan aktivitas seismik tinggi (PGA: 0,4275 g). Tesis ini mengevaluasi kinerja teknologi isolasi dasar HDRB (*High Damping Rubber Bearing*) pada sebuah apartemen di Cemagi, Bali (- 8,641, 115,104) yang memiliki struktur beton kompleks dan asimetris, terdiri dari 1 lantai basement dan 5 lantai apartemen dengan tinggi lantai berbeda (2900 mm dan 3175 mm). Evaluasi kinerja struktur mengikuti panduan ATC-40 dan peraturan SNI (1727:2020, 2847:2019, 1729:2020, 1726:2019), melibatkan analisis pushover dan time history. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas teknologi HDRB dalam mengurangi perpindahan struktur akibat gempa, dengan hasil menunjukkan reduksi perpindahan arah X dan Y sebesar 64,67% dan 38,03%, serta pengurangan dimensi struktur kolom melalui optimasi konfigurasi dan kekakuan isolasi dasar.

Kata kunci: *HDRB, pushover, NLTH*

1. Pendahuluan

Studi ini berfokus pada bangunan apartemen dengan luas lantai dasar 1312,4 m² dan tinggi total 17,8 m. Bangunan ini memiliki desain arsitektur yang kompleks dengan perletakan kolom dan balok yang tidak teratur serta tinggi lantai yang bervariasi, yaitu 3 m untuk lantai 1 dan 2,7 m untuk lantai 2-5. Indonesia, yang terletak di Cincin Api Pasifik, sangat rentan terhadap gempa bumi. Berdasarkan data Desain Spektra Indonesia dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, daerah Cemagi, Bali memiliki tingkat potensi gempa sangat tinggi dengan PGA mencapai 0,4275 g, menunjukkan risiko tinggi terhadap gempa bumi. Oleh karena itu, kebutuhan akan bangunan tahan gempa sangat penting, terutama di daerah dengan kerawanan gempa tinggi seperti Bali. Pengalaman menunjukkan bahwa keruntuhan bangunan akibat gempa telah menyebabkan korban jiwa yang signifikan, sehingga perencanaan bangunan harus memastikan kinerja minimal

untuk keamanan dan keselamatan jiwa, di mana bangunan dapat mengalami kerusakan tetapi tidak runtuh total, guna meminimalisir risiko korban jiwa [1].

Secara konvensional, struktur bangunan diperkuat untuk menahan gaya gempa, namun perbedaan simpangan antara lantai (*interstory drift*) seringkali masih menyebabkan kerusakan. Meskipun memperkuat bangunan secara lateral dapat mengurangi *interstory drift*, metode ini juga meningkatkan gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Pendekatan yang lebih baik adalah mengurangi energi gempa yang bekerja pada bangunan dengan menggunakan bahan anti-seismik (*seismic device*) sesuai fungsinya [2]. Sistem isolasi dasar merupakan inovasi dalam perencanaan bangunan tahan gempa, di mana struktur di atas sistem isolasi dasar direncanakan tetap elastis saat gempa kuat, dengan disipasi energi gempa melalui sistem isolasi dasar yang fleksibel, menggunakan bahan karet dengan redaman tinggi. Konsep ini meningkatkan kinerja struktur dengan mengurangi tingkat kerusakan [3].

Isolasi dasar bertujuan memisahkan pengaruh gempa dari tanah terhadap bangunan dengan memperpanjang periode struktur bangunan, sehingga energi gempa yang masuk dapat dikurangi. Isolasi dasar biasanya terdiri dari susunan karet dan pelat baja yang meningkatkan kemampuan vertikal untuk memikul beban, sementara kekakuan vertikal lebih besar dibandingkan kekakuan horizontal. Dalam perencanaan struktur tahan gempa, dilema utama adalah meminimalkan percepatan lantai dan drift antar lantai. Fleksibilitas struktur dapat mengurangi percepatan lantai tetapi meningkatkan simpangan antar lantai. Salah satu cara efektif mengurangi kedua aspek tersebut adalah dengan menerapkan isolasi dasar [4].

Sistem isolasi dasar jenis High Damping Rubber Bearing (HDRB) telah diterapkan di beberapa proyek di Indonesia, termasuk Pelabuhan Ratu, dan sedang diujicobakan pada gedung perkantoran 25 lantai di Jakarta. Namun, beberapa pertanyaan muncul mengenai efektivitasnya pada bangunan dengan desain asimetris dan beban besar, yang mempengaruhi distribusi gaya gempa dan respons struktur terhadap gempa. Analisis diperlukan untuk memastikan kinerja sistem isolasi dasar pada struktur asimetris, serta evaluasi performa antara fixed base dan isolated base. Hasil analisis ini penting dalam pengambilan keputusan konstruksi [5].

Evaluasi Performa Teknologi Isolasi Dasar Tipe HDRB pada Gedung Tidak Beraturan di Kawasan Gempa Tinggi, pada kajian ini difokuskan pada tiga aspek utama: analisis tingkat kinerja gedung, evaluasi kinerja setelah penerapan isolasi dasar HDRB, dan optimasi kinerja sistem isolasi dasar pada bangunan apartemen dengan desain tidak simetris. Pertama, bertujuan untuk menganalisis tingkat kinerja gedung setelah dilakukan analisis pushover dan analisis time history berdasarkan ATC-40. Kedua, mengevaluasi kinerja yang terjadi setelah menerapkan isolasi dasar HDRB. Ketiga, berusaha mengoptimalkan kinerja sistem isolasi dasar pada bangunan apartemen dengan desain tidak simetris. Studi ini memiliki beberapa batasan, antara lain fokus pada bangunan apartemen dengan luas per lantai sebesar 1312.4 m² dan tinggi total sebesar 17.8 m. Mengadopsi berbagai standar seperti SNI 1727:2020, SNI 2847:2019, SNI 1729:2020, SNI 1726:2019, serta ATC-40. Namun, tidak membahas aspek ekonomi atau keuangan terkait implementasi sistem isolasi dasar pada bangunan apartemen.

Evaluasi performa teknologi isolasi dasar tipe HDRB pada gedung tidak beraturan di kawasan gempa tinggi memberikan beberapa manfaat signifikan. Pertama, evaluasi ini meningkatkan pemahaman tentang kemampuan

teknologi HDRB dalam melindungi gedung dari kerusakan akibat gempa, sehingga mengurangi risiko kecelakaan, kerugian jiwa, dan materi. Kedua, hasil evaluasi dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang gedung yang lebih aman di kawasan gempa tinggi, khususnya gedung dengan karakteristik tidak beraturan, yang membantu mengurangi dampak negatif gempa pada infrastruktur perkotaan. Ketiga, evaluasi ini juga memberikan kontribusi berharga dalam penelitian teknologi isolasi dasar, membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan teknologi isolasi yang lebih efektif.

2. Metode

Studi literatur dilakukan untuk memahami teknologi isolasi dasar HDRB dan karakteristik redaman getaran pada struktur bangunan di kawasan gempa tinggi, serta pengumpulan data terkait geometri bangunan, sifat material, data gempa, dan parameter struktur. Analisis dimulai dengan mengevaluasi respons struktur tanpa isolasi dasar melalui perhitungan komponen struktur non-pemikul utama dan struktur primer sesuai peraturan seperti SNI 1727:2020, SNI 2847:2019, SNI 1729:2020, dan SNI 1726:2019. Selanjutnya, dilakukan perhitungan ketahanan gempa dengan menggunakan metode pushover analysis dan time history analysis, serta kontrol simpangan drift untuk memenuhi batasan peraturan. Perhitungan parameter kekakuan isolator menentukan nilai kekakuan horizontal (K_h) dalam sistem isolasi dasar, diikuti analisis struktur terisolasi menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk mendapatkan periode natural struktur, reaksi perletakan, percepatan, dan simpangan drift, yang dievaluasi berdasarkan performa struktur melalui analisis pushover dengan mempertimbangkan tingkat kerusakan elemen struktur dan kategori kinerja gedung.

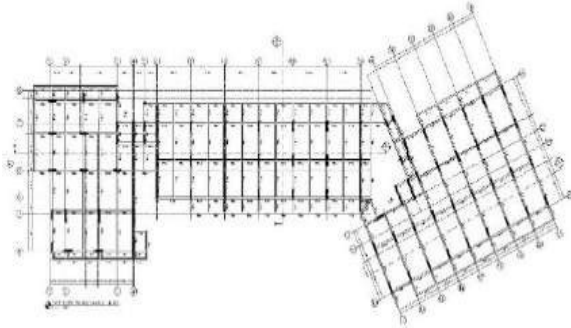
3. Hasil dan Pembahasan

Berikut adalah data bangunan yang dievaluasi:

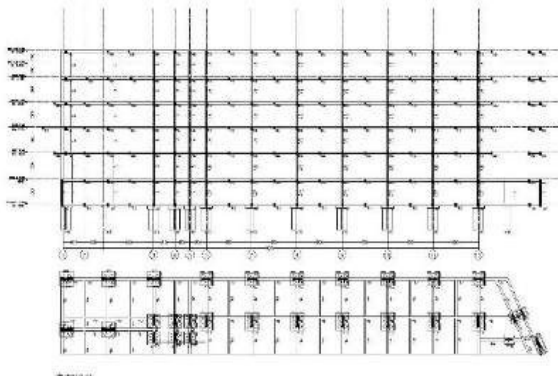
Luas Dasar Bangunan	= 1.312,40	m ²
Tinggi Bangunan	= 15	m
Jumlah Lantai	= 5 Lantai + 1 Basement	
Overhead Lift	= 0,75	m
Lantai 5 – Atap	= 3,10	m
Lantai 4 – 5	= 2,90	m
Lantai 3 – 4	= 2,90	m
Lantai 2 – 3	= 2,90	m
Lantai 1 – 2	= 3,20	m
Lantai Basement – 1	= 2,79	m

Layout struktur lantai 3 dari total 5 lantai, ditambah basement, yang ditampilkan pada **Gambar 1** serta gambar

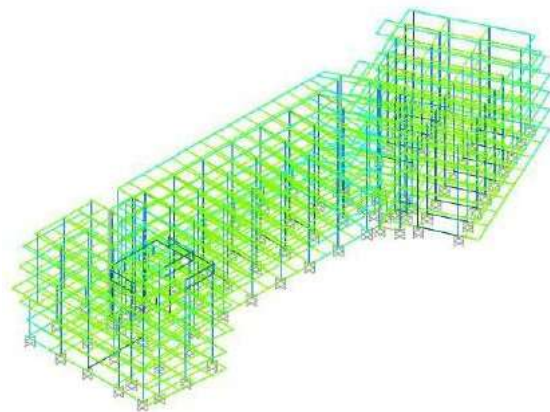
salah satu potongan bangunan pada **Gambar 2**. Selanjutnya, **Gambar 3** menunjukkan pemodelan struktur pada SAP2000:



Gambar 1. Layout Struktur Lantai (typical)



Gambar 2. Potongan Struktur Gedung



Gambar 3. Pemodelan Struktur dengan SAP2000

Dalam analisis ini, digunakan metode analisis statik nonlinier sesuai pedoman ATC-40 dengan tahapan sebagai berikut:

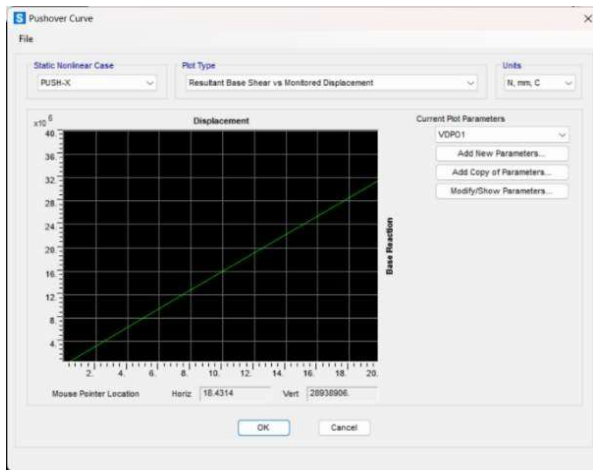
Analisa Struktur Fixed Base: Nonlinear Pushover

Dalam analisis ini, digunakan metode analisis statik nonlinier sesuai pedoman ATC-40 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan kategori resiko bangunan: SNI 1726:2019 Tabel 3 menyatakan bahwa bangunan yang

dirancang (bangunan apartemen) termasuk dalam kategori risiko II.

2. Menentukan faktor keutamaan gempa: SNI 1726:2019 Tabel 4 menyatakan bahwa bangunan yang dirancang (bangunan apartemen) termasuk dalam faktor keutamaan gempa 1.
3. Menentukan klasifikasi situs: Berdasarkan data tanah dan SNI 1726:2019 Pasal 5.4.2 serta Tabel 5, diperoleh klasifikasi situs Tanah Sedang (SD) dengan $N=27,20$.
4. Menentukan koefisien situs:
SNI 1726:2019 Tabel 6 $\rightarrow F_a = 1,20$
SNI 1726:2019 Tabel 7 $\rightarrow F_v = 1,80$
5. Menentukan parameter percepatan gempa: Parameter percepatan gempa di Cemagi, Bali adalah $S_s = 0,95 g$, $S_1 = 0,40 g$, $S_{ds} = 0,71$, dan $S_{d1} = 0,51$.
6. Menentukan kategori desain seismik: SNI 1726:2019 Tabel 8 untuk $S_{ds} = 0.71$ diperoleh kategori desain D. SNI 1726:2019 Tabel 9 untuk $S_{d1} = 0.51$ diperoleh kategori desain D.
7. Menentukan parameter struktur R, Cd, dan Ω_0 : SNI 1726:2019 Table 12 untuk dinding geser beton bertulang biasa diperoleh $R = 4$, $\Omega = 2.5$ dan $C_d = 4$.
8. Melakukan set-up elemen – elemen struktur pada software SAP2000.
9. Menentukan titik yang ditinjau: Titik referensi untuk menghitung deformasi di puncak bangunan adalah di lantai 5 (atap), pojok kanan bawah (Joint 1778).
10. Menentukan gravitasi nonlinier case: Masuk ke menu "define" dan pilih "load case," lalu tambahkan case baru dengan memilih "add new load case." Di bagian "load case data," pilih "nonlinear static." Pada opsi "analysis type," pilih "nonlinear" dan untuk "geometric nonlinearity parameters," pilih "P-Delta." Dalam analisis pushover ini, gunakan persentase beban sebesar 100% beban mati (termasuk beban mati tambahan) dan beban hidup.
11. Memodelkan sendi plastis: Dalam analisis nonlinier, mendefinisikan properti sendi plastis pada setiap elemen struktur adalah langkah krusial sebelum memodelkan sendi plastis. Properti ini dapat dihitung manual dengan referensi ke standar ASCE 40-13/17 menggunakan tabel 10-7 untuk balok dan tabel 10-8 untuk kolom, tetapi dalam analisis ini, program SAP2000 secara otomatis menghitung properti sendi plastis tersebut dengan cara Assign Frame Hinge.
12. Menampilkan kurva kapasitas Pushover (**Gambar 4**): Klik menu display – show static pushover curve untuk menampilkan kurva kapasitas pushover.



Gambar 4. Pushover Curve X-X

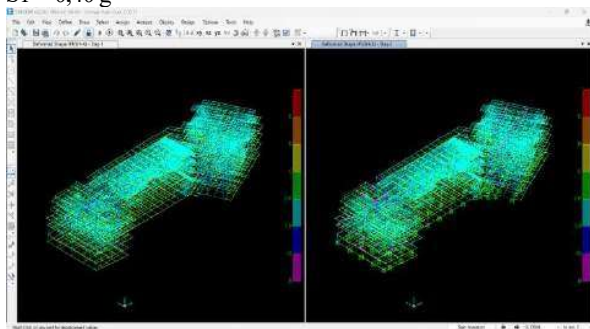
Gambar 5-7 adalah lokasi terjadinya sendi plastis pada elemen-elemen struktur akibat beban dorong arah x-x dan y-y.

Rasio Nilai Perpindahan Joint Ketika Performance Point SNI 1726:2019 6.2

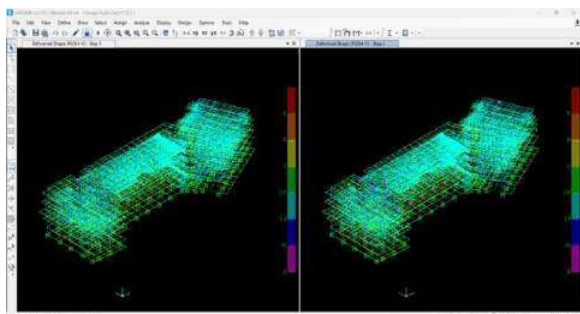
Parameter respon percepatan 0.2 dt, $SMS = Fa \times Ss$ Parameter respon percepatan 1,0 dt, $SM1 = Fv \times S1$ SNI 1726:2019 Tabel 6 → $Fa = 1,20$

SNI 1726: 2019 Tabel 7 → $Fv = 1,80$ $Ss = 0,95$ g

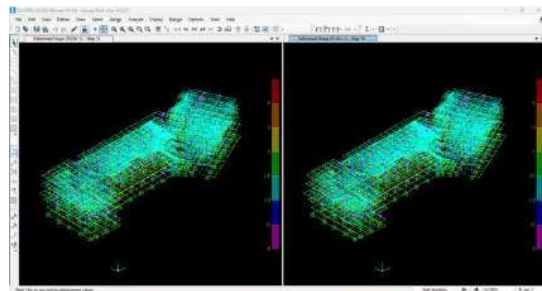
$S1 = 0,40$ g



Gambar 5. Push – x step 1 dan 2



Gambar 6. Push – y step 1 dan 2



Gambar 7. Push – y step 18 dan 19

$$SMS = Fa \times Ss = 1,20 \times 0,95 = 1,14$$

$$SM1 = Fv \times S1 = 1,80 \times 0,40 = 0,72$$

SNI 1726:2019 6,3

$$Sds = 2/3 \times SMS = 2/3 \times 1,14 = 0,76 \text{ g}$$

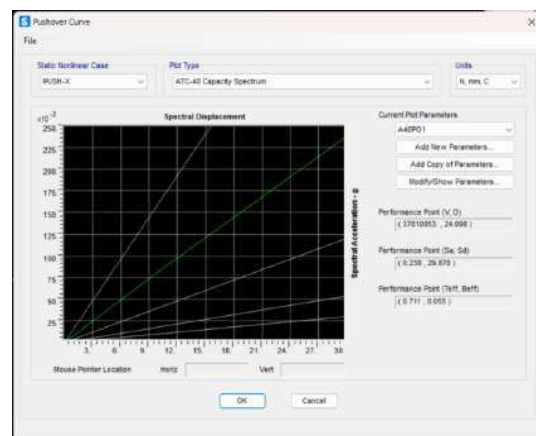
$$Sd1 = 2/3 \times SM1 = 2/3 \times 0,72 = 0,48 \text{ g}$$

ATC-40 4,4,3,1

$$Ca = 0,4 \times SMS = 0,4 \times 1,14 = 0,46 \text{ g}$$

$$Cv = SM1 = 0,72 \text{ g}$$

Tingkat kinerja struktur bangunan ini ditentukan berdasarkan dua parameter utama: Nilai perpindahan joint atas pada titik kinerja (*performance point*): Merupakan nilai perpindahan maksimum yang ditoleransi struktur pada kondisi gempa desain dan Nilai perpindahan joint saat terjadinya leleh pertama (*first yield*) pada beban dorong pertama: Merupakan batas awal plastisasi struktur, di mana struktur mulai mengalami deformasi non-linear. Berdasarkan Gambar 8 spektrum kapasitas, maka:



Gambar 8. Spektrum Kapasitas Arah x-x

$$\text{Simpangan max (x - x)} = Dt/h \text{ total} = 24,1/15,000 = 0,002$$

→ Immediate Occupancy

$$\text{Simpangan max (y - y)} = Dt/h \text{ total} = 6,03/15,000 = 0,0004$$

→ Immediate Occupancy

$$\text{Deviasi inelastis max (x - x)} = Dt - D3/h \text{ total}$$

$$\text{Deviasi inelastis max (x - x)} = (24,1 - 7,85)/15,000 = 0,001$$

→ Immediate Occupancy

Deviasi inelastis max $(y - y) = Dt - D3/h$ total Deviasi inelastis max $(y - y) = (6.032 - 4.49)/15,000$ Deviasi inelastis max $(y - y) = 0.0001$
 → Immediate Occupancy

Berdasarkan ATC-40, dan perhitungan diatas, maka struktur dikategorikan dalam IO (Immediately Occu- pancy), yaitu tahap setelah leleh (plastis), yang menunjuk- kan bahwa struktur masih dapat menahan beban pasca- gempa dan memungkinkan penghuni untuk kembali menempati bangunan setelah inspeksi dan perbaikan minor.

Fixed Base: Nonlinear Time History Analysis

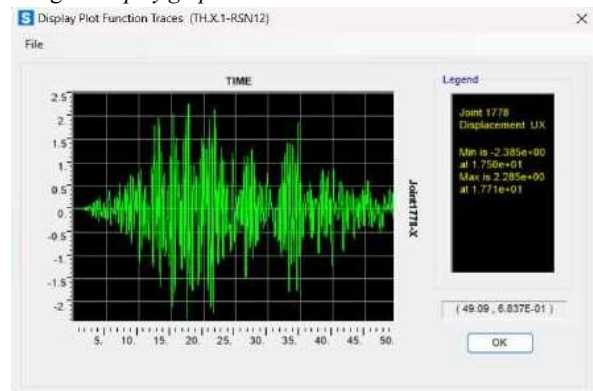
Data gempa dari Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) diunduh di <http://peer.berkeley.edu/> dengan memilih Documentation - NGA West-2 Main Page – Flatfiles – Updated NGA-West2 Flatfile of 5% damped spectra of vertical ground motion. Karena data akselerogram spesifik untuk lokasi bangunan tidak tersedia, akselerogram dengan nilai skala Richter yang paling mendekati lokasi bangunan digunakan untuk analisis struktur, dalam hal ini skala Richter 7 seperti yang tertera pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Akselerogram Data

RSN	EQID	Station Name	SSN	Station Magnitde ID	
12	0012	LA – Hollywood Stor FF	326	24303	7,36
13	0012	Pasadena – CIT Athenacum	499	80053	7,36
14	0012	Santa Barbara Courthouse	92	283	7,36
15	0012	Taft Lincoln School	148	1095	7,36
137	0046	Bajestan	56	69	7,35
138	0046	Boshrooyeh	57	70	7,35
139	0046	Dayhook	259	9102	7,35

Perform Nonlinear Time History Analysis

Masukkan data akselerogram ke SAP 2000 melalui menu *Define - function - time history* (**Gambar 9**). Unggah file data akselerogram yang sudah diunduh, lalu periksa bentuk getaran secara visual dengan mengklik *display graph*.



Gambar 9. Display Plot Function Traces RSN 12 Arah X

Selanjutnya displacement control untuk RSN 12 arah X dan arah Y dipresentasikan dalam **Tabel 2 dan Tabel 5**.

Tabel 2. Displacement Control RSN 12 Arah X Joint 1778 - 1527

Lantai	Joint	hsx	Ie	δxe	δ	Δa	δ < Δa
-	-	mm	-	mm	mm	mm	<
Atap	1778	3100	1,00	22,85	91,40	445,00	OK
5,00	83	2900	1,00	18,15	72,59	367,50	OK
4,00	839	2900	1,00	18,93	75,74	295,00	OK
3,00	435	2900	1,00	14,50	58,02	222,50	OK
2,00	570	3200	1,00	13,06	52,23	150,00	OK
1,00	1527	2800	1,00	0,00	0,00	70,00	OK

Tabel 3. Displacement Control RSN 12 Arah Y Joint 1778 – 1527

Lantai	Joint	hsx	Ie	δxe	δ	Δa	δ < Δa
-	-	mm	-	mm	mm	mm	<
Atap	1778	3100	1,00	17,39	69,56	445,00	OK
5,00	83	2900	1,00	14,68	58,72	367,50	OK
4,00	839	2900	1,00	9,46	37,85	295,00	OK
3,00	435	2900	1,00	7,68	30,74	222,50	OK
2,00	570	3200	1,00	5,53	22,10	150,00	OK
1,00	1527	2800	1,00	0,00	0,00	70,00	OK

Tabel 4. Displacement Control RSN 12 Arah X Joint 1692 – 1687

Lantai	Joint	hsx	Ie	δxe	δ	Δa	δ < Δa
-	-	mm	-	mm	mm	mm	<
Atap	1692	3100	1,00	7,56	30,25	445,00	OK
5,00	1691	2900	1,00	7,37	29,47	367,50	OK
4,00	1690	2900	1,00	5,40	21,58	295,00	OK
3,00	1689	2900	1,00	5,41	21,65	222,50	OK
2,00	1688	3200	1,00	4,07	16,29	150,00	OK
1,00	1687	2800	1,00	0,00	0,00	70,00	OK
BM	1682	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	OK

Tabel 5. Displacement Control RSN 12 Arah Y Joint 1692 – 1687

Lantai	Joint	hsx	Ie	δxe	δ	Δa	δ < Δa
-	-	mm	-	mm	mm	mm	<
Atap	1692	3100	1,00	15,24	60,95	445,00	OK
5,00	1691	2900	1,00	14,92	59,69	367,50	OK
4,00	1690	2900	1,00	11,97	47,86	295,00	OK
3,00	1689	2900	1,00	7,88	31,54	222,50	OK
2,00	1688	3200	1,00	7,01	28,03	150,00	OK
1,00	1687	2800	1,00	0,00	0,00	70,00	OK
BM	1682	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	OK

Design High Damping Rubber Bearing (HDRB)

Parameter Percepatan Gempa:

$S_s = 0,95 \text{ g}$ $S_1 = 0,40 \text{ g}$

$S_{ds} = 0,71 \text{ g}$ $S_{d1} = 0,51 \text{ g}$

Data Isolasi Dasar

Direncanakan menggunakan HDRB MVBR-0514/ MVBR-0520 (X0.6R) HH Series dengan spesifikasi sebagai berikut:
 Compound name: X6R Rubber code: X0,6R
 Equivalent damping ratio: 0,240
Rubber diameter, RD (Interior kolom) = 0,80 m
Rubber diameter, RD (Eksterior kolom) = 1,00 m
Sheear modulus (G) = 0,62 N/mm²
Rubber thickness (tr) = 200,00 mm

Output SAP, Kolom Interior

Frame Object	= 2.091,00	
Axial (P)	= 4.451,27	kN
Shear – x (Vx)	= 20,82	kN
Shear – y (Vy)	= 13,90	kN
Moment – x (Mx)	= 26,01	kNm
Moment – y (My)	= 48,76	kNm

Output SAP, Kolom Eksterior

Frame Object	= 2.067,00	
Axial (P)	= 4.638,50	kN
Shear – x (Vx)	= 153,06	kN
Shear – y (Vy)	= 60,65	kN
Moment – x (Mx)	= 140,00	kNm
Moment – y (My)	= 354,00	kNm

Rekapitulasi Berat Bangunan

Overhead lift = 63.586.82 kgf
 Elevasi lantai atap = 1.221.614,30 kgf
 Elevasi lantai 5 = 2.821.252,26 kgf
 Elevasi lantai 4 = 2.029.404,77 kgf
 Elevasi lantai 3 = 2.460.356,19 kgf
 Elevasi lantai 2 = 2.533.991,28 kgf
 Elevasi lantai 1 = 2.497.055,77 kgf
 Elevasi lantai basement = 1.347.196,79 kgf
 Berat total bangunan = 14,974,458.17 kgf

Menghitung Estimasi Periode Fundamental SNI 1726:2019

Table 18

Ct = 0.05

x = 0.75

Ta = Ct x hxx = 0.05 x 15.000.75 = 0.37 Detik

SNI 1726:2019 Table 17

Sd1 = 0,51 → Cu = 1,40

Cu x Ta = 0,52 Detik

If Tc > Cu x Ta → T = Cu x Ta

If Ta < Tc < Cu x Ta → T = Tc If Tc < Ta → T = Ta

Ta = Ct x hxx = 0,05 x 15,000,75 = 0,37 Detik Tc → Output SAP = 0,49 Detik

Cu x Ta = 0,52 Detik

→ T = 0,49 Detik

Td = 3 x Tc = 1,47 Detik

→ Periode dimensi desain HDRB

Desain HDRB untuk Kolom Interior

Kekakuan Isolator Dasar yang Direncanakan T = 0,49 Detik

Td = 3 x Tc = 1,47 Detik

Asumsi spesifikasi rubber awal

Sheear modulus(G) = 0,62N/mm²*Rubber thickness* (tr) = 200,00 mm Reaksi (Mmax) = 48,76 KN = 0,05 MN

Nilai kekakuan horizontal isolasi dasar:

K1H = m x (2π/T)²/ L spanK1H = 0,05x(2x3,14/1,47)²/(3.200,00x0,001) K1H = 0,28 MN/ m*Rubber Area Value*

K1H = Gt x A/ tr → A = KH x tr/ Gt

A = 0,28 x (200,0 x 0,001)/0,62 = 0,09 m²A = 1/4xπxm² → D = √(4A)/π D = √(4 x 0,09)/ π = 0,34 mDiameter *rubber* pakai = 0,80 m

Kontrol → RD ≥ D = √(4A)/ π (OK)

Desain HDRB untuk Kolom Eksterior

Kekakuan Isolator Dasar yang Direncanakan T = 0,49 Detik

Td = 3 x Tc = 1,47 Detik

Asumsi spesifikasi rubber awal

Sheear modulus (G) = 0,62 N/ mm² Ketebalan *rubber* (tr) = 200,00 mm

Reaksi (Mmax) = 354,00 KN = 0,35 MN

Nilai kekakuan horizontal isolasi dasar:

K1H = m x (2π/T)²/ L spanK1H = 0,35x(2x3,14/1,47)²/(3.200,00x0,001) K1H = 2,02 MN/ m*Rubber Area Value*

K1H = Gt x A/ tr → A = KH x tr/ Gt

A = 2,02 x (200,00 x 0,001)/0,62 = 0,65 m²A = 1/4xπxm² → D = √(4A)/π D = √(4 x 0,65)/ π = 0,91 mDiameter *rubber* pakai = 1,00 m

Kontrol → RD ≥ D = √(4A)/ π (OK)

Kekakuan Aktual

Diameter HDRB, Interior = 0,80 m

Sheear modulus (G) = 0,62 N/ mm² Ketebalan *rubber* (tr) = 200,00 mm Diameter HDRB, Eksterior = 1,00 m*Sheear modulus* (G) = 0,62 N/ mm² Ketebalan *rubber* (tr) = 200,00 mm

Reduksi gempa untuk struktur isolasi = 2,00

Effective damping ration * a = 0,24 = 24,00% Koreksi Grafik Spektrum Respon Berbasis AASHTO Koefisien redaman B untuk isolator dasar, Teff = 1,58 Sa = (SD1/ T) Teff = 0,22

SNI 1726:2019 Tabel 36

Interpolasi BD & BM = 1,58 KAH = Ga x A/ tr

KAH = 620.000,00 x 0,50/(200,00 x 0,001) KAH = 1.557.440,00 N/

M = 1,56 MN/ m

KBH = Ga x A/ tr

KBH = 620.000,00 x 0,79/ (200,00 x 0,001) KAH = 2.433.500,00 N/

M = 2,43 MN/ m

Kekakuan Struktural

KH = 32 x KAH + 55xKBH

KH = 32x1,56 + 55x2,43 = 183,68 MN/ m KH = 183.680.580,00 N/ m

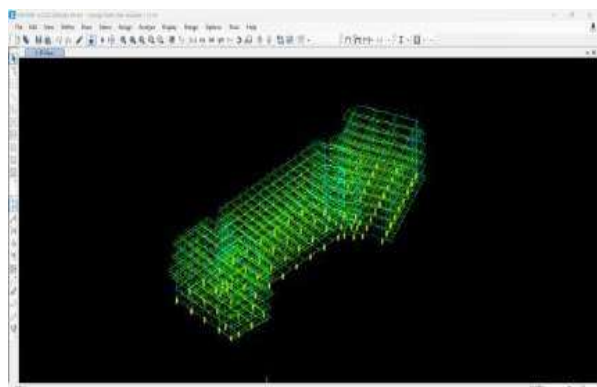
$\omega_2 = KH/ W = 183.680.580,00/1.557.440,00 \omega_2 = 117,94$

$T = 2\pi/ \omega = 0,58 \text{ Sec}$

Kontrol $\rightarrow T \text{ structural stiffness} \geq T \text{ SAP (OK)}$

Modeling Struktur Isolasi

Langkah-langkah untuk memodelkan isolasi dasar: Defind - Section properties - link/ support property. Di- rectional properties; U1, U2, U3 dan modify. Kemudian masukkan kekakuan efektif yang telah dihitung seperti **Gambar 10**.



Gambar 10. Modeling Isolasi Dasar

Simpangan $\max(x - x) = Dt/htotal = 0,933/15.000 = 0,0001$

$\rightarrow \text{Immediate Occupancy}$

Simpangan $\max(y - y) = Dt/htotal$

Simpangan $\max(y - y) = 1,116/15.000 = 0,0001$

$\rightarrow \text{Immediate Occupancy}$

Deviasi inelastis $\max(x - x) = Dt - D3/ h \text{ total}$

Deviasi inelastis $\max(x - x) = (0,933 - 90)/15,000 = -5,94$

$\rightarrow \text{Immediate Occupancy}$

Deviasi inelastis $\max(y - y) = Dt - D3/ h \text{ total}$ Deviasi inelastis

$\max(y - y) = (1,116 - 90)/15,000$ Deviasi inelastis

$\max(y - y) = -5,93 \rightarrow \text{Immediate Occupancy}$

Berdasarkan ATC-40, dan perhitungan diatas, maka struktur dikategorikan dalam IO (Immediately Occupancy).

Isolated Base: Nonlinear Time History Analysis Dengan permodelan yang telah dimodifikasi mengguna- kan isolasi

dasar, NLTH analysis isolated base di lakukan dengan cara yang sama dengan NLTH analysis fix base, yang selanjutnya diperoleh hasil seperti terlihat pada **Tabel 6-9**

Tabel 6. Displacement Control RSN 12 Joint 1778 – 1527 Arah X (Isolated)

Lantai	Joint	hsx	Ie	δ_{xe}	δ	Δa	$\delta < \Delta a$
-	-	mm	-	mm	mm	Mm	
Atap	1778,00	3100,00	1,00	13,46	53,84	445,00	OK
5,00	83,00	2900,00	1,00	11,77	47,08	367,50	OK
4,00	839,00	2900,00	1,00	10,12	40,48	295,00	OK
3,00	435,00	2900,00	1,00	8,32	33,29	222,50	OK
2,00	570,00	3200,00	1,00	6,41	25,62	150,00	OK
1,00	1527,00	2800,00	1,00	4,39	17,56	70,00	OK

Tabel 7. Displacement Control RSN 12 Joint 1778 – 1527 Arah Y (Isolated)

Lantai	Joint	hsx	Ie	δ_{xe}	δ	Δa	$\delta < \Delta a$
-	-	mm	-	mm	mm	mm	
Atap	1778,00	3100,00	1,00	12,13	48,52	445,00	OK
5,00	83,00	2900,00	1,00	9,88	39,50	367,50	OK
4,00	839,00	2900,00	1,00	7,74	30,96	295,00	OK
3,00	435,00	2900,00	1,00	5,59	22,35	222,50	OK
2,00	570,00	3200,00	1,00	3,86	15,44	150,00	OK
1,00	1527,00	2800,00	1,00	2,11	8,45	70,00	OK

Tabel 8. Displacement Control RSN 12 Joint 1692 – 1682 Arah X (Isolated)

Lantai	Joint	hsx	Ie	δ_{xe}	δ	Δa	$\delta < \Delta a$
-	-	mm	-	mm	mm	mm	
Atap	1692,00	3100,00	1,00	5,31	21,24	445,00	OK
5,00	1691,00	2900,00	1,00	4,66	18,65	367,50	OK
4,00	1690,00	2900,00	1,00	4,02	16,08	295,00	OK
3,00	1689,00	2900,00	1,00	3,31	13,25	222,50	OK
2,00	1688,00	3200,00	1,00	2,56	10,22	150,00	OK
1,00	1687,00	2800,00	1,00	1,75	6,98	70,00	OK
BM	1682,00	0,00	1,00	1,16	4,64	0,00	-

Tabel 9. Displacement Control RSN 12 Joint 1692 – 1682 Arah Y (Isolated)

Lantai	Joint	hsx	Ie	δ_{xe}	δ	Δa	$\delta < \Delta a$
-	-	mm	-	mm	mm	mm	
Atap	1692,00	3100,00	1,00	13,22	52,88	445,00	OK
5,00	1691,00	2900,00	1,00	10,98	43,92	367,50	OK
4,00	1690,00	2900,00	1,00	8,86	35,42	295,00	OK
3,00	1689,00	2900,00	1,00	6,71	26,82	222,50	OK
2,00	1688,00	3200,00	1,00	3,86	15,44	150,00	OK
1,00	1687,00	2800,00	1,00	2,11	2,49	70,00	OK
BM	1682,00	0,00	1,00	1,60	1,91	0,00	-

**Evaluasi Kinerja Struktur
Perbandingan Displacement**

Gambar 11-14 dan **Tabel 10-13** merupakan perbandingan kinerja struktur antara *fix base* dan *isolated base*:

Tabel 10. Perbandingan *Displacement Joint* 1778 – 1527 Arah X RSN 12

Joint	Fixed Base	Base Isolator	Reduction
-	mm	mm	%
1778,00	91,40	53,84	69,76
83,00	72,59	47,08	54,18
839,00	75,74	40,48	87,09
435,00	58,02	33,29	74,29
570,00	52,23	25,62	103,87
1527,00	0,00	17,56	-
	<i>Average</i>		77,84

Tabel 11. Perbandingan *Displacement Joint* 1692 – 1682 Arah X RSN 12

Joint	Fixed Base	Base Isolator	Reduction
-	mm	mm	%
1692,00	30,25	21,24	42,43
1691,00	29,47	18,65	58,03
1690,00	21,58	16,08	34,25
1689,00	21,65	13,25	63,41
1688,00	16,29	10,22	59,36
1687,00	0,00	6,98	-
1682,00	0,00	4,64	-
	<i>Average</i>		51,49

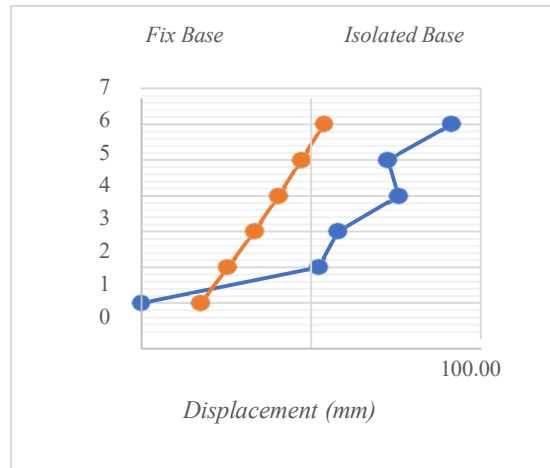
Reduksi *displacement* rata – rata untuk arah X pada joint 1778 – 1682 sebesar 64.67%.

Tabel 12. Perbandingan *Displacement Joint* 1778 – 1527 Arah Y RSN 12

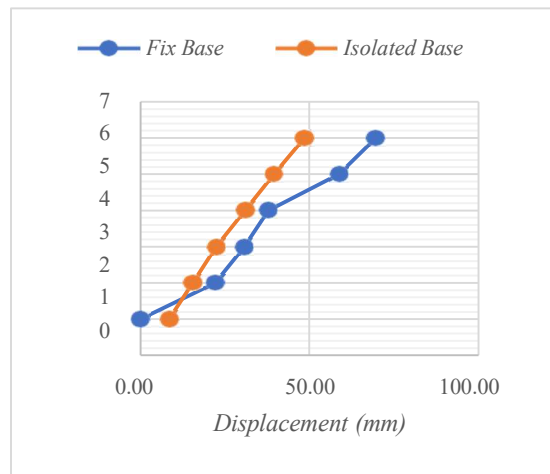
Joint	Fixed Base	Base Isolator	Reduction
-	mm	mm	%
1778,00	69,56	48,52	43,36
83,00	58,72	39,50	48,64
839,00	37,85	30,96	22,25
435,00	30,74	22,35	37,55
570,00	22,10	15,44	43,13
1527,00	0,00	8,45	-
	<i>Average</i>		38,99

Tabel 13. Perbandingan *Displacement Joint* 1692 – 1682 Arah Y RSN 12

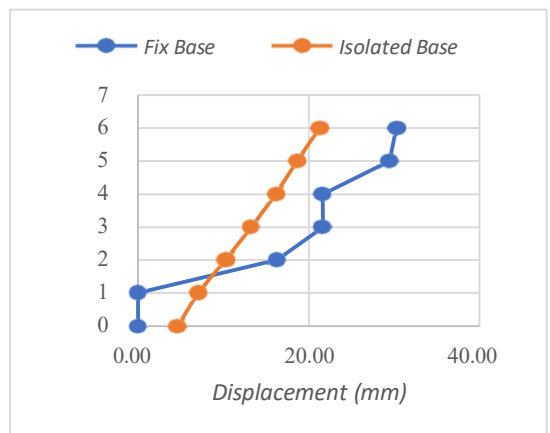
Joint	Fixed Base	Base Isolator	Reduction
-	mm	mm	%
1692,00	60,95	52,88	15,26
1691,00	59,69	43,92	35,91
1690,00	47,86	35,42	35,12
1689,00	31,54	26,82	17,58
1688,00	28,03	15,44	81,49
1687,00	0,00	8,45	-
1682,00	0,00	1,91	-
	<i>Average</i>		37,07



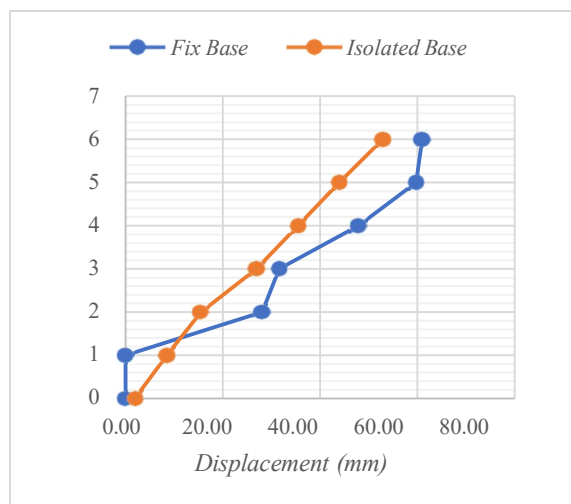
Gambar 11. Grafik Perbandingan *Displacement Joint* 1778 – 1527 RSN 12 Arah X Antara *Fix Base* dan *Isolated Base*



Gambar 12. Grafik Perbandingan *Displacement Joint* 1692 – 1682 RSN 12 Arah X Antara *Fix Base* dan *Isolated Base*



Gambar 13. Grafik Perbandingan *Displacement Joint* 1778 – 1527 RSN 12 Arah Y Antara *Fix Base* dan *Isolated Base*



Gambar 14. Grafik Perbandingan *Displacement Joint* 1692 – 1682 RSN 12 Arah Y Antara *Fix Base* dan *Isolated Base*
Reduksi *displacement* rata – rata untuk arah Y pada joint 1778 – 1682 sebesar 38,03%.

4. Simpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tingkat kinerja gedung setelah dilakukan analisis pushover struktur dikategorikan dalam kategori IO (Immediate Occupancy), yaitu tahap setelah leleh (plastis). Tingkat kinerja elemen berada pada level Immediate Occupancy, yang menunjukkan bahwa struktur masih mampu menampung beban pasca-gempa dan memungkinkan penghuni untuk kembali menempati bangunan setelah dilakukan inspeksi dan perbaikan minor.
2. Setelah struktur dimodifikasi dengan menggunakan isolasi dasar HDRB berdiameter 1 meter pada kolom eksterior dan 0,8 meter pada kolom interior, diperoleh reduksi nilai perpindahan (*displacement*) arah X dan Y sebesar 64,67% dan 38,03%.
3. Mengoptimalkan kinerja sistem isolasi dasar dilakukan melalui konfigurasi, perencanaan dimensi, dan kekakuan isolasi yang efektif, diperoleh rata – rata besar disipasi energi untuk *fix* dan *isolated base* sebesar 10.665,42 ton.mm dan 4.370,89 ton.mm, dengan reduksi hingga 144,01%, dengan demikian, struktur kolom dapat direduksi dimensinya.

Daftar Pustaka

- [1] Wiki Andrian. (2017). Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-

Tos Jogjakata Dengan Perencanaan Analisa Pushover. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- [2] Teruna, D. R. (2011). Introduction And Application Base Isolator For Protection Structures From Seismic Damage. Seminar PT. Rekayasa Damper Pratama Consultan #HAKI;ACI.
- [3] Budiono, B. (2011). Konsep SNI Gempa 1726-201X. Seminar HAKI 2011.
- [4] Lestari, Dwita, Suryani (2012). "Perbandingan Kinerja Penggunaan Berbagai Base Isolator Pada Gedung Tsunami Refuge Center Kantor Gubernur Sumatera Barat". Skripsi. Padang: Universitas Andalas.
- [5] Sukamta, D. (2016). Teknologi Gempa Dari Jepang Sudah Diterapkan Di Jakarta. Jakarta: Indonesia.
- [6] Arifin, Z., et al. (2015). Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2020). Standar Nasional Indonesia 1727:2020. Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia 2847:2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (2020). Standar Nasional Indonesia 1729:2020. Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [10] Badan Standardisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia 1726:2019. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [11] Bharadwaj, K., & Rai, D. C. (2010). Seismic performance comparison of base-isolated hospital building with various isolator modeling approaches. *International Journal of Earthquake and Impact Engineering*, 1(2), 85-108.
- [12] Çabu, E. (2021). Seismic Performance Comparison of Base-Isolated Hospital Building with Various Isolator Modeling Approaches. Middle East Technical University (METU). Turkey.
- [13] Kelly, J. M and Calabrese, A. (2012). Mechanics of Fiber Reinforced Bearings. *Pacific Earthquake Engineering Research Center* : 101.

- [14] Kelly, J. M., & Naeim, F. (1999). Design of seismic isolated structures from theory to practice. California: John Wiley & Sons, Inc.
- [15] Kelly, T. E. (2001). Base Isolation Of Structures. New Zealand: Holmes Consulting Group Ltd.
- [16] Larasati, D. F. (2019). Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan (FIK) Universitas Negeri Malang dengan Menggunakan Metode Base Isolation High Damping Rubber Bearing (HDRB). Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [17] Liu, G. R and Quek, S.S. (2003). The Finite Element Method: A Practical Course. Butter- worth-Heinemann, Jordan Hill, Oxford, England.
- [18] Paper presenter with topic," Behaviour Analysis of High Rise Building Used Base Isolation due to Earthquake Loads with Nonlinier Time History Analysis", The National Conference of Civil Engineering – IX 2013, On Technology Institute of Sepuluh Nopember, Surabaya, Indoensia.
- [19] Santhosh, H. P., Manjunath K. S., & Kumar, K. S. (2013). Seismic Analysis of Low to Medium Rise Building for Base Isolation. Journal of Research in Engineering and Technology, pp: 2319-1163.
- [20] Yudha Lesmana. (2018). Pengembangan Teknologi Base Isolation untuk Rumah Tinggal pada Daerah Gempa Tinggi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.