

# Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Palang Merah Indonesia Kabupaten Sukabumi Menggunakan Sistem *Base Isolation* Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

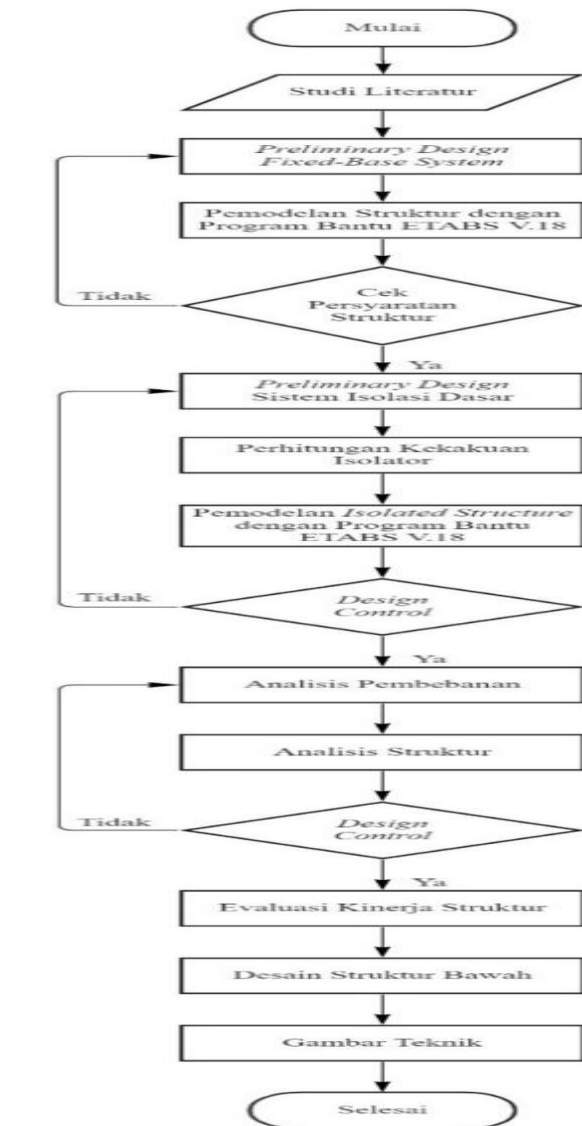
Sinar Nathalia Sitorus, Hidajat Sugihardjo, dan Ahmad Basshofi Habieb  
 Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: hidajat.sugihardjo@gmail.com

**Abstrak**—Berdasarkan data rekaman kegempaan di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), gempa bumi di Indonesia rata-rata terjadi 5.000 kali dalam setahun. Menurut Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, salah satu daerah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi adalah Sukabumi, sehingga dalam merancang bangunan di wilayah tersebut perlu perhatian khusus. Seiring berkembangnya teknologi, berbagai inovasi dilakukan untuk dapat mengatasi masalah kerusakan bangunan akibat gempa bumi dengan lebih efektif. Salah satu solusi untuk mengurangi dampak kerugian akibat terjadinya gempa adalah dengan sistem *base isolation*. Digunakannya *base isolation* adalah untuk memperpanjang periode getar struktur sehingga percepatan gempa mengecil. Pada studi ini, jenis *base isolator* yang digunakan adalah *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) yang merupakan salah satu jenis laminated rubber bearing yang terbuat dari penggabungan senyawa karet dengan nilai rasio redaman yang tinggi. Gedung PMI Kabupaten Sukabumi yang sebelumnya dirancang dengan metode konvensional dirancang kembali menggunakan metode *base isolation*. Pada pemodelan gedung dengan denah tidak beraturan bentuk L, sumbu kritis (sumbu utama) dari bangunan, yaitu sumbu dimana jari-jari girasi paling kecil, perlu diperhatikan. Pada sumbu ini arah gempa dibebankan pada arah sumbu utama, sehingga diperoleh respon struktur maksimum. Dari hasil studi didapatkan sudut antara sumbu kritis terhadap sumbu x sebesar  $70,9^\circ$ . Analisis ini sudah memperhitungkan eksentrisitas beban gempa terhadap pusat geser ditambah 5% dari dimensi denah bangunan. Selanjutnya berdasarkan hasil analisis, penggunaan sistem isolasi pada gedung mampu mereduksi gaya geser dasar pada bangunan secara signifikan, dimana rata-rata reduksi gaya gesernya sebesar 4 kali lipat. Selain itu, gedung dengan sistem isolasi memiliki nilai partisipasi massa sudah mencapai >90% pada mode 1 dan mode 2. *Shifting Period* pada sistem isolasi mencapai 2,7 kali untuk arah X dan 2,8 kali untuk arah Y dan simpangan antar lantai pada struktur sistem isolasi berkurang hingga >60% dari pada struktur dengan sistem *fixed base*.

**Kata Kunci**—Struktur Bangunan Tahan Gempa, Isolasi Dasar, HDRB.

## I. PENDAHULUAN

SUKABUMI merupakan salah satu daerah di Indonesia yang rawan terjadi gempa bumi adalah Sukabumi karena terletak dengan sumber gempa bumi yaitu sesar aktif di darat (sesar Cimandiri dan sesar Walat) dan zona penunjaman yang terletak di laut (selatan daerah Sukabumi) akibat tumbukan antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Sehingga, dalam merancang bangunan di wilayah yang rawan gempa perlu perhatian khusus. Pada metode konvensional, desain bangunan tahan gempa didasarkan pada konsep



Gambar 1. Diagram alir perencanaan.

pengecahan dimana ketika bangunan menghadapi gempa besar, bangunan diizinkan mengalami kerusakan, namun orang-orang di dalam bangunan harus tetap tidak terluka. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), bangunan tahan gempa dirancang dengan mengedepankan konsep daktilitas sehingga kinerja struktur tahan gempa diupayakan dapat menyerap energi gempa secara efektif melalui terbentuknya sendi plastis pada bagian tertentu, atau disebut sekring. Plastifikasi yang dialami elemen-elemen tertentu ini merupakan mekanisme untuk menghilangkan energi gempa

Tabel 1.  
Rekapitulasi Dimensi Balok Induk dan Balok Anak

Nama Balok	Lantai	Bentang (L) (mm)	Syarat $h_{min}$ (mm)	h (mm)	b (mm)
BI 1	1 – 12	3000	L/18,5	600	350
BI 2	1 – 12	3500	L/18,5	600	350
BI 3	1 – 12	4000	L/18,5	600	350
BI 4	1 – 12	4500	L/18,5	600	350
BI 5	1 – 12	5200	L/18,5	600	350
BI 6	1 – 12	6000	L/21	600	350
BA 1	1 – 12	3000	L/18,5	400	250
BA 2	1 – 12	3500	L/18,5	400	250
BA 3	1 – 12	4000	L/18,5	400	250
BA 4	1 – 12	4500	L/18,5	400	250
BA 5	1 – 12	4170	L/18,5	400	250
BA 6	1 – 12	4675	L/18,5	400	250
BL 1	12	2250	L/16	450	300
BL 2	12	3000	L/16	450	300

Tabel 2.  
Rekapitulasi Dimensi Kolom

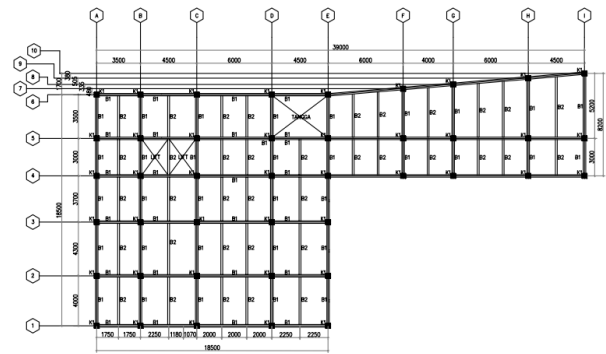
Nama Kolom	Lantai	h (mm)	b (mm)
K1A	6 – 12	600	600
K2A	6 – 12	800	800
K3A	6 – 12	1400	700
KLift – A	6 – 12	700	700
K1B	1 – 5	700	700
K2B	1 – 5	900	900
K3B	1 – 5	1600	800
KLift – B	1 – 5	800	800

Tabel 3.  
Kontrol Rasio Partisipasi Massa

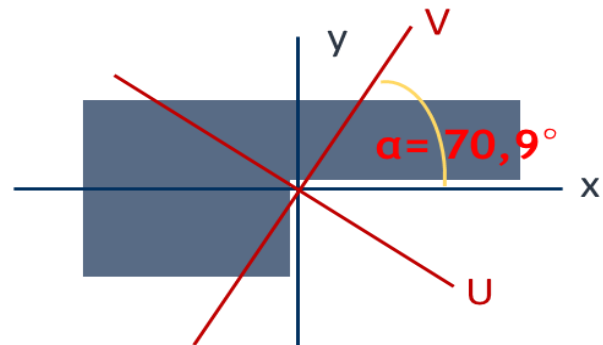
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal 1	1	1,059	0,0353	0,703	1,31E-05
Modal 2	2	1,042	0,7296	0,7417	0,0004
Modal 3	3	0,935	0,7296	0,7419	0,7269
Modal 4	4	0,357	0,7324	0,8535	0,727
Modal 5	5	0,345	0,8399	0,8564	0,7352
Modal 6	6	0,301	0,8498	0,8572	0,8468
Modal 7	7	0,203	0,8522	0,8918	0,8468
Modal 8	8	0,195	0,8816	0,8939	0,853
Modal 9	9	0,159	0,8903	0,8947	0,8895
Modal 10	10	0,138	0,8918	0,9151	0,8895
Modal 11	11	0,132	0,9084	0,9163	0,8939
Modal 12	12	0,107	0,9084	0,9164	0,8939
Modal 13	13	0,103	0,9099	0,9291	0,8942
Modal 14	14	0,101	0,9122	0,9299	0,9175
Modal 15	15	0,098	0,9259	0,931	0,918

pada struktur sehingga elemen sekring harus direncanakan mampu berdeformasi inelastik cukup besar, sebelum terjadi faktor atau instabilitas. Sedangkan elemen struktur lainnya didesain lebih kuat dari pada sekring sehingga disipasi energi berlangsung terpusat pada sekring secara terkendali dan stabil. Karena kerusakan terpusat pada elemen di dalam area operasional bangunan, maka bangunan yang direncanakan menggunakan metode ini akan mengalami beberapa kerusakan yang cukup parah ketika mengalami gempa, sehingga bangunan tidak dapat beroperasi sesuai tujuannya selama masa perbaikan gedung pasca gempa.

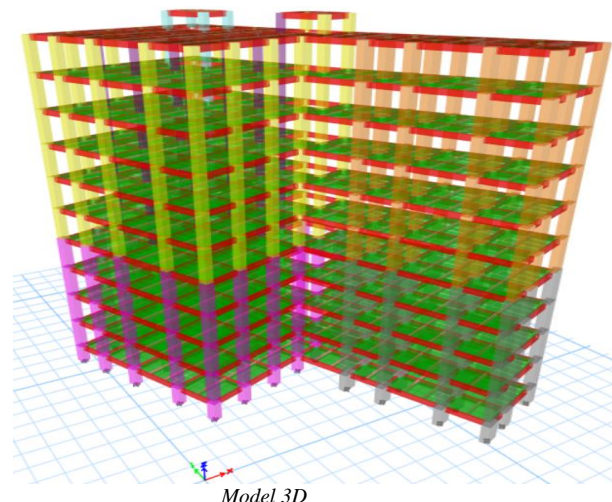
Seiring berkembangnya zaman, berbagai inovasi dilakukan untuk dapat mengatasi masalah kerusakan bangunan akibat gempa bumi dengan lebih efektif. Salah satu solusi untuk mengurangi dampak kerugian akibat terjadinya gempa adalah dengan sistem *base isolation*. Pada prinsipnya, penggunaan sistem isolasi dapat memperpanjang periode getar struktur ketika mengalami deformasi. Penggunaan metode ini bertujuan untuk memisahkan struktur dari efek



Gambar 2. Denah gedung.



Gambar 3. Ilustrasi sumbu kristis pada bangunan.



Gambar 4. Pemodelan struktur ETABS v.18.1.1.

gempa, sehingga deformasi yang timbul akibat gempa akan terjadi di base isolation sedangkan struktur bangunan mengalami perpindahan badan kaku. Penerapan sistem *base isolation* meningkatkan kinerja struktur dalam menghadapi gempa sehingga kerusakan yang mungkin terjadi dapat di minimalisir. Salah satu jenis *base isolator* yang dapat diaplikasikan adalah *High Damping Rubber Bearing (HDRB)*. *High damping rubber bearing* merupakan salah satu jenis *laminated rubber bearing* yang terbuat dari penggabungan senyawa karet dengan nilai rasio redaman yang tinggi. Meningkatnya eksitasi gempa mengakibatkan peningkatan kapasitas deformasi lateral dan penurunan modulus geser dari *rubber* sehingga menghasilkan sistem *base isolation* yang efektif, yang mana cukup fleksibel untuk memperpanjang periode struktur (Budiono dan Setiawan, 2014) [1].

Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis penggunaan sistem isolasi dasar (*base isolation*) pada Gedung Palang

Tabel 4.  
Kontrol Modal Direction Factor

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	1.059	0.05	0.949	0.00
Modal	2	1.042	0.949	0.05	0.00
Modal	3	0.935	0.004	0	0.996

Tabel 5.  
Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Gaya Geser	V	V <sub>t</sub>	V <sub>t</sub> /V	Cek
	(kN)	(kN)		
Arah x	10262,74	10262,82	100%	OK
Arah y	10090,29	10094,07	100%	OK

Tabel 6.  
Kontrol Simpangan Antar Lantai

Story	h	dx	dy	Dx	Dy	Drift Limit	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
12	2100	3,681	1,198	13,497	4,393	16,154	OK
11	4200	1,786	1,560	6,549	5,720	32,308	OK
10	4200	2,750	2,461	10,083	9,024	32,308	OK
9	4200	3,559	3,353	13,050	12,294	32,308	OK
8	4200	4,293	4,158	15,741	15,246	32,308	OK
7	4200	4,863	4,854	17,831	17,798	32,308	OK
6	4200	5,350	5,397	19,617	19,789	32,308	OK
5	4200	5,108	5,146	18,729	18,869	32,308	OK
4	4200	5,222	5,363	19,147	19,664	32,308	OK
3	4200	5,082	5,398	18,634	19,793	32,308	OK
2	4200	4,142	4,599	15,187	16,863	32,308	OK
1	2500	0,956	1,078	3,505	3,953	19,231	OK

Merah Indonesia untuk mengetahui performa kinerja struktur dalam memikul beban-beban yang terjadi, khususnya beban gempa.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir perencanaan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

### B. Pengumpulan Data

Data umum yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Nama Gedung : Gedung Palang Merah Indonesia
- Lokasi : Sukabumi, Jawa Barat
- Fungsi Bangunan : Fasilitas Kesehatan
- Tinggi Bangunan : +46,60 m
- Jumlah Lantai : 12 lantai
- Kategori Risiko : IV
- Jenis Tanah : Tanah Sedang (SD)
- Material Struktur : Beton Bertulang
- Mutu Beton : 35 Mpa
- Mutu Tulangan : 400 MPa

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Preliminary Design

Peliminary design pada penelitian ini meliputi:

#### 1) Dimensi Balok

Dari hasil perhitungan dimensi balok, didapatkan rekapitulasi pada Tabel 1.

#### 2) Dimensi Kolom

Dari hasil perhitungan dimensi kolom, didapatkan rekapitulasi pada Tabel 2.

Tabel 7.  
Kontrol Pengaruh P-Delta

Story	P	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	θ <sub>X</sub>	θ <sub>Y</sub>	Cek
	(kN)	(kN)	(kN)			
12	557	132	124	0,007	0,003	OK
11	5002	1541	1507	0,001	0,001	OK
10	13622	3223	3137	0,003	0,003	OK
9	22242	4675	4545	0,004	0,004	OK
8	30862	5918	5757	0,005	0,005	OK
7	39483	6982	6797	0,007	0,007	OK
6	48103	7889	7687	0,008	0,008	OK
5	56750	8689	8477	0,008	0,008	OK
4	66152	9382	9172	0,009	0,009	OK
3	75619	9898	9704	0,009	0,010	OK
2	85585	10203	10028	0,008	0,009	OK
1	96060	10263	10094	0,004	0,004	OK

Tabel 8.  
Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Tipe/Lokasi	B17	
	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	350	600
Cover	40	
Tul. Long. Atas	4D22	3D22
Tul. Long. Badan	3D22	3D22
Tul. Long. Bawah	2D22	
Tul. Transversal	2D13-100	2D13-200

Tabel 9.  
Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe Kolom	b x h (mm)	Tulangan Longitu	Tulangan Trans	Senggang
		K1A	600 x 600	
K2A	800 x 800	28D25	4D13 - 120	4D13 - 120
K3A	1400 x 700	30D25	4D13 - 120	4D13 - 120
K1B	700 x 700	28D25	6D13 - 120	6D13 - 120
K2B	900 x 900	32D25	6D13 - 120	6D13 - 120
K3B	1600 x 800	34D25	6D13 - 120	6D13 - 120

### B. Desain Struktur Fixed Base System

Desain struktur fixed base system pada penelitian ini meliputi:

#### 1) Permodelan Struktur

Perencanaan gedung Palang Merah Indonesia dimodelkan menggunakan program bantu ETABS V18.1.1. Pemodelan gedung dengan struktur *fixed base* dimana perletakan gedung adalah jepit bertujuan untuk memperoleh periode fundamental gedung (T) yang akan diperpanjang dengan menggunakan sistem isolasi serta memperoleh gaya aksial di dasar kolom yang akan digunakan dalam perencanaan dimensi isolator sesuai dengan brosur yang tersedia (Gambar 2).

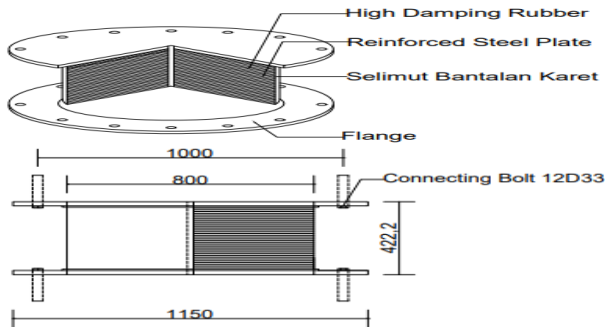
Pada Gambar 4 diketahui bahwa gedung memiliki denah berbentuk L, sehingga terdapat sumbu yang lebih kritis selain sumbu x dan sumbu y. Maka dari itu, pada tahap pemodelan ini letak gedung harus diposisikan terhadap sumbu kritis yaitu sumbu u dan v dengan mencari besar α sesuai perumusan (1), (2), dan (3) [2].

$$I_x = 14825,08 \text{ m}^4$$

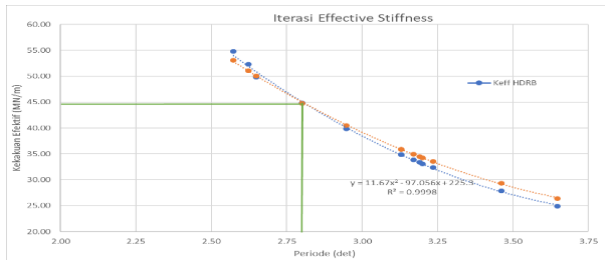
$$I_y = 53563,6 \text{ m}^4$$

$$I_{xy} = 15242,78 \text{ m}^4$$

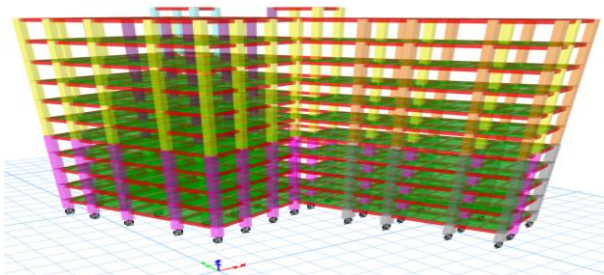
Point A on the circle:  $I_x = 14825,08 \text{ m}^4$ ;  $-I_{xy} = -15242,78 \text{ m}^4$ .



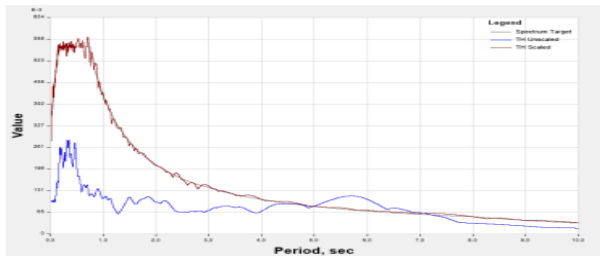
Gambar 5. Sketsa profil HDRB.



Gambar 6. Grafik perhitungan kekakuan efektif.



Gambar 7. Pemodelan struktur base isolation dengan ETABS V.18.1.1.



Gambar 8. Penskalaan rekaman gempa chichi arah X.

$$O = \frac{I_x + I_y}{2}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + (-I_{xy})^2}$$

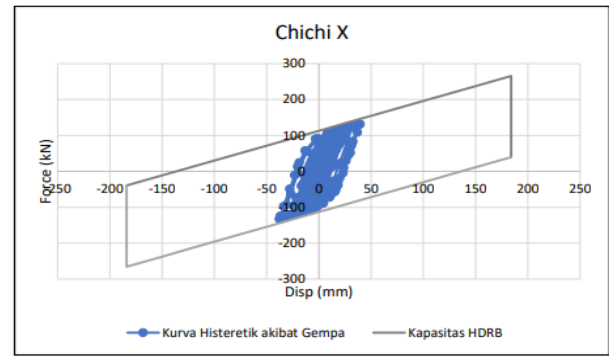
$$\tan \alpha = \frac{I_{xy}}{I_x - (O - R)}$$

$$\alpha = \text{atan}(\tan \alpha) = 70,9^\circ$$

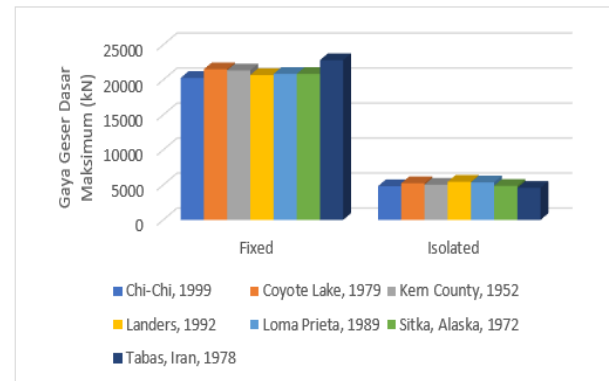
Dari hasil perhitungan, didapatkan besar sudut  $\alpha$  sebesar  $70,9^\circ$ . Ilustrasi sudut  $\alpha$  dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan penerapan pada pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.

2) *Pembebanan*

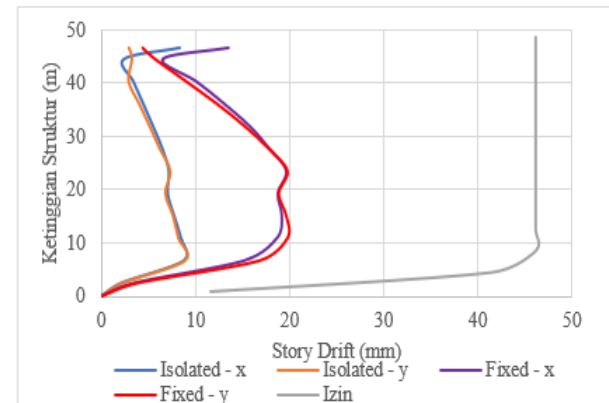
Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban gempa. Beban sendiri (*self-weight*) berasal dari komponen struktural yang dihitung berdasarkan berat volume material yang digunakan, yaitu



Gambar 9. Kurva histeretik gempa chichi arah X.



Gambar 10. Grafik perbandingan gaya geser dasar.



Gambar 11. Kurva story drift dengan ketinggian bangunan.

beton bertulang dengan berat volume  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Beban sendiri tambahan diambil dari peraturan PPIUG 1983 dan beban hidup lantai pada gedung fasilitas kesehatan dan beban hidup pada lantai atap mengacu pada SNI 1727:2020. Beban gempa yang diinput harus dihitung sesuai dengan SNI 1726:2019. Pada pembebanan pemodelan digunakan kombinasi beban sesuai SNI 1726:2019 Pasal 4.2.2 sebagai berikut [3]:

- a. 1,4D
- b. 1,2D + 1,6L + 0,5 (L<sub>r</sub> atau R)
- c. 1,2D + 1,6 (L<sub>r</sub> atau R) + (L atau 0,5W)
- d. 1,2D + 1,0W + L + 0,5(L<sub>r</sub> atau R)
- e. 0,9D + 1,0W
- f. 1,2D + E<sub>v</sub> + E<sub>h</sub> + L
- g. 0,9D - E<sub>v</sub> + E<sub>h</sub>

3) *Analisis Struktur Fixed Base*

- a. Kontrol Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar statik pada struktur yang dimodelkan 3 dimensi menggunakan program bantu ETABS perlu dikontrol dengan perhitungan gaya geser dasar seismik,

Tabel 10.  
Profil HDRB

Tipe	n	K eff min (MN/m)	Total
HH080X4S	11	0,923	10,152
HH085X4S	22	1,039	22,857
HH095X4S	9	1,310	11,794

Tabel 11.  
Kontrol Modal Participating Mass Ratio

Case	Mode	Period	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	2,909	0,6724	0,3222	0.00
Modal	2	2,896	0,9950	0,9953	0.00
Modal	3	2,663	0,9952	0,9956	0.00
Modal	11	0,184	1.0000	1.0000	3E-05

Tabel 12.  
Kontrol Modal Direction Factor

Case	Mode	Period	UX	UY	RZ
Modal	1	2,909	0,676	0,324	0,000
Modal	2	2,896	0,324	0,676	0,000
Modal	3	2,663	0,002	0,000	0,998

Tabel 13.  
Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Gaya Geser	V kN	Vt kN	Vt / V %	Cek
Arah x	5784,11	5805,23	>100%	OK
Arah y	5784,10	5815,38	>100%	OK

dengan batas selisih antar keduanya adalah 5% [4].

Koefisien respon seismik :  $C_s = 0,1176$

Besar seismik efektif :  $W = 87237,7 \text{ kN}$

Gaya geser dasar seismik :  $V = C_s \times W = 10258,75 \text{ kN}$

Gaya geser statik (ETABS):  $V_{ETABS} = 10262,74 \text{ kN}$

Rasio selisih  $V_{ETABS}$  dengan  $V$  :

$$\Delta = \frac{10262,74 - 10258,75}{10258,75} \times 100\% = 0,04\% < 5\% \text{ (OK)}$$

b. Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, nilai partisipasi massa harus sekurang-kurangnya mencapai 90% dari massa aktual struktur [3]. Dengan program bantu ETABS, diperoleh hasil rasio partisipasi massa yang ditunjukkan pada Tabel 3, dimana struktur telah memenuhi persyaratan partisipasi massa lebih dari 90% di arah Y pada mode ke 10 dan di arah X pada mode ke 11.

c. Kontrol Modal Direction Factor

Berdasarkan SNI 1727:2020, tinjauan *mode shape* terdiri dari tiga tahap, yaitu mode pertama, mode kedua, dan mode ketiga [5]. Pada gedung yang stabil mode pertama dan mode kedua harus berupa translasi, sedangkan untuk mode ketiga bangunan diperbolehkan kearah rotasi (puntir), seperti yang disajikan dalam Tabel 4.

d. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1, apabila gaya geser dasar hasil analisis respon spektrum ( $V_t$ ) kurang dari 100% gaya geser dasar ( $V$ ) yang dihitung melalui metode lateral statik ekuivalen maka gaya tersebut harus dikalikan dengan skala sebesar  $V/V_t$  [3].

Karena nilai  $V_t/V$  yang diperoleh dari program bantu ETABS awal tidak mencapai 100%, maka nilai  $V_t$  harus dikalikan dengan faktor skala (*scale factor*) sebagai berikut:

$$\text{Arah x : } \frac{V}{V_t} = \frac{10262,74}{7736,44} = 1,33$$

Tabel 14.  
Kontrol Simpangan Antar Lantai

Story	h	Displacement		$\Delta x$	$\Delta y$	Drift Limit	Cek
		x-dir	y-dir				
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
12	2100	177	167	26,95	6,95	31,50	OK
11	4200	164	164	2,44	3,26	63,00	OK
10	4200	163	162	3,44	2,91	63,00	OK
9	4200	161	160	4,50	4,03	63,00	OK
8	4200	159	158	5,54	5,13	63,00	OK
7	4200	156	156	6,54	6,20	63,00	OK
6	4200	153	153	7,23	7,31	63,00	OK
5	4200	149	149	7,11	6,80	63,00	OK
4	4200	146	146	7,79	7,61	63,00	OK
3	4200	142	142	8,52	8,17	63,00	OK
2	4200	138	138	8,83	8,88	63,00	OK
1	2500	133	133	0,72	0,73	37,50	OK

Tabel 15.  
Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Tipe/Lokasi	B17	
	Tumpuan	Lapangan
Dimensi	350	600
Cover	40	
Tul. Long. Atas	3D22	2D22
Tul. Long. Badan	2D22	2D22
Tul. Long. Bawah	2D22	
Tul. Transversal	2D13-100	2D13-200

$$\text{Arah y : } \frac{V}{V_t} = \frac{10090,29}{7759,70} = 1,30$$

Pada pe modelan kedua, *scale factor* pada *Load Cases Respon Spectrum* harus dikalikan dengan *scale factor* yang telah dihitung, sehingga diperoleh nilai  $V_t$ -baru yang ditampilkan pada Tabel 5.

Karena nilai  $V_t/V$  sudah mencapai 100%, maka permodelan sudah bisa dianalisis untuk memperoleh gaya dalam pada elemen struktur [6].

e. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat pada struktur harus memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan Pasal 7.3.4.2 [3]. Simpangan yang terjadi dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau seperti ditabulasikan pada Tabel 6.

f. Kontrol Pengaruh P-delta

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.7, nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh melebihi  $\theta_{max}$  yang ditentukan sesuai persamaan berikut [3]:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan koefisien stabilitas yang disajikan pada Tabel 7 dengan nilai koefisien stabilitas tidak melebihi  $\theta_{max} = 0,091$ , sehingga pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan.

C. Desain Struktur Primer Fix Based

Desain struktur primer fix based meliputi:

1) Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Adapun rekapitulasi contoh perhitungan Balok Induk tertera pada Tabel 8.

Tabel 16.  
Rekapitulasi Penulangan Kolom

Tipe Kolom	b x h (mm)	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Sengkang
K1A	600 x 600	12D25	3D13 - 150	3D13 - 150
K2A	700 x 700	12D25	3D13 - 150	3D13 - 150
K3A	1200 x 600	16D25	3D13 - 150	3D13 - 150
K1B	700 x 700	16D25	4D13 - 150	4D13 - 150
K2B	800 x 800	16D25	4D13 - 150	4D13 - 150
K3B	1400 x 700	20D25	4D13 - 150	4D13 - 150

Tabel 17.  
Perbandingan Periode Alami Modal

Mode	Fix Based (sec)	Base Isolation (sec)
1	1,059	2,909
2	1,042	2,896
3	0,935	2,663

Tabel 18  
Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Modal

Mode	Fixed Base			Base Isolation		
	SumUX	SumUY	SumRZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0,6985	0,0151	1,314E-05	0,8895	0,1051	0,0005
2	0,7128	0,7391	0,0004	0,995	0,9953	0,0005
3	0,7128	0,7393	0,7369	0,9952	0,9956	0,9954

2) Kolom

Perencanaan dimensi kolom memerhatikan SRPMK, dengan bantuan *software* SPColumn untuk menghitung kekuatan lentur kolom. Adapun rekapitulasi contoh perhitungan Kolom tertera pada Tabel 9.

D. Desain Struktur Base Isolation System

Desain struktur base isolation system meliputi:

1) Preliminary Design High Damping Rubber Bearing

Berdasarkan gaya tekan aksial terfaktor yang bekerja pada kolom struktur, digunakan tiga tipe HDRB dari Bridgestone yaitu HH080X4S, HH085X4S, dan HH 095X4S. Sketsa profil HDRB dapat dilihat pada Gambar 5.

Pemilihan medium didasarkan pada kekakuan efektif struktur dan kekakuan efektif medium yang disesuaikan dengan suhu, kemudia dihitung kekakuan efektif, faktor redaman, respon spektrum dan perpindahan pada setiap lantai. Didapatkan rekapitulasi data yang ditabulasi pada Tabel 10. dan digrafikkan pada Gambar 6.

2) Permodelan Struktur

Permodelan struktur *base isolation* menggunakan program bantu ETABS V18.1.1.

3) Kontrol Analisa Struktur

a. Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.1, analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa struktur [3]. Dari hasil perhitungan didapatkan kontrol partisipasi massa pada struktur terisolasi seperti yang ditabulasikan pada Tabel 11.

b. Kontrol Modal Direction Factor

Bedasarkan SNI 1726:2019, pemodelan sistem isolasi

Tabel 19.  
Perbandingan Modal Load Participation Ratio

Case	Item	Statik (%)	Dinamik (%)
Fix Based System	Ux	99,99	93,86
	Uy	99,99	94,71
Base Isolation System	Ux	100,00	100,00
	Uy	100,00	100,00

Tabel 20.  
Perbandingan Rasio Partisipasi Massa Modal

Peristiwa	Gaya Geser Dasar Maksimum (kN)	
	Fixed Base	Base Isolation
Chi-Chi, 1999	20269,73	4818,09
Coyote Lake, 1979	21516,07	5229,11
Kern County, 1952	21354,06	5021,29
Landers, 1992	20687,41	5446,43
Loma Prieta, 1989	20845,39	5365,45
Sitka, Alaska, 1972	20840,39	4866,30
Tabas, Iran, 1978	22815,38	4584,38

harus mencakup translasi di kedua arah horizontal dan torsi struktur di atas pemisah isolasi seperti pada Tabel 12 [3].

c. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.1, apabila gaya geser dasar hasil analisis respon spektrum ( $V_i$ ) kurang dari 100% gaya geser dasar ( $V$ ) yang dihitung melalui metode lateral statik ekuivalen maka gaya tersebut harus dikalikan dengan skala sebesar  $V/V_i$ . Nilai  $V_i$  diperoleh dari program bantu ETABS ditunjukkan pada Tabel 13 [3].

d. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Mengacu pada SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan Pasal 7.12.1, kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana seperti ditabulasikan pada Tabel 14 [3].

E. Desain Struktur Primer Base Isolation

Desain struktur primer base isolation pada penelitian ini meliputi:

1) Balok Induk

Balok induk merupakan struktur utama yang memikul beban struktur sekunder dan meneruskan beban tersebut ke kolom. Adapun rekapitulasi perhitungan Balok Induk pada Tabel 15.

2) Kolom

Perencanaan dimensi kolom dihitung dengan bantuan *software* SPColumn untuk menghitung kekuatan lentur kolom. Adapun rekapitulasi perhitungan Balok Induk pada Tabel 16 dan Gambar 7.

F. Analisis Nonlinier Time History

Analisis nonlinear time history pada penelitian ini meliputi:

1) Pemodelan Beban Gempa Time History

Digunakan 7 rekaman gempa yang diskalakan terhadap respon spektrum Kabupaten Sukabumi. Penskalaan rekaman gempa dilakukan menggunakan program bantu ETABS dengan metode *spectral matching in time domain*. Grafik penskalaan dari masing-masing data rekaman gempa terhadap respon spektrum Kabupaten Sukabumi dapat dilihat pada Gambar 8.

2) Kurva Histeresis HDRB

Analisis perangkat sistem isolasi dasar High Damping

Rubber Bearing dilakukan dengan metode nonlinier time history yang mengacu pada 7 pasang rekaman gempa. Setelah dilakukan running pada program bantu ETABS, didapat grafik displacement vs shear force akibat gempa Chichi yang dapat dilihat pada Gambar 9. Terlihat dari Gambar 9 sebenarnya kapasitas hysteresis HDRB arah horizontal masih jauh dari energi hysteresis rekaman gempa Chichi, tetapi kapasitas beban vertikal yang lebih menentukan.

#### IV. PERBANDINGAN GEDUNG BASE ISOLATION DAN FIXED BASE

##### A. Perbandingan Periode dan Partisipasi Massa Struktur

Pada umumnya, struktur dengan sistem isolasi dasar memiliki karakteristik dinamik yang berbeda dengan struktur fixed base. Perbandingan periode struktur dan rasio partisipasi massa modal dapat dilihat pada Tabel 17 dan Tabel 18.

Berdasarkan Tabel 17 struktur dengan sistem isolasi dasar memiliki periode fundamental yang lebih panjang dibandingkan dengan struktur *fixed base*. Sedangkan pada Tabel 18 diketahui bahwa struktur dengan sistem isolasi dasar memiliki peningkatan rasio partisipasi massa modal.

##### B. Perbandingan Modal Load Participation Factor

*Modal Load Participation Ratio* pada struktur dengan sistem isolasi jauh lebih baik dibandingkan dengan struktur respon struktur dinamik pada struktur *fixed base*, seperti yang ditabulasikan pada Tabel 19.

##### C. Perbandingan Gaya Geser Dasar

Respon yang dapat dibandingkan antara struktur *fixed base* dengan struktur terisolasi adalah gaya geser dasar yang terjadi ketika gempa berlangsung. Gaya geser dasar maksimum untuk setiap peristiwa gempa untuk struktur dengan sistem isolasi dasar mengalami penurunan gaya geser dasar yang signifikan dibandingkan dengan struktur *fixed base* dengan rata-rata penurunan sebesar 4 kali lipatnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 20 dan Gambar 8 dan Gambar 9.

##### D. Perbandingan Simpangan Antar Tingkat

Pada struktur dengan sistem isolasi dasai, nilai simpangan antar tingkat pada struktur dapat lebih kecil daripada simpangan antar tingkat pada struktur *fix based* (Gambar 10, Gambar 11).

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan dalam studi perbandingan kinerja antara struktur dengan sistem base *isolation* dan *fixed base* pada gedung Palang Merah Indonesia Kabupaten Sukabumi, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut: (1) Struktur *Fix Based System* menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) sedangkan pada struktur *Base Isolation System* menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB). (2) Sistem *base isolation* mampu mereduksi gaya geser dasar pada bangunan secara signifikan, dimana dalam studi rata-rata reduksi gaya gesernya sebesar 4 kali lipat. (3) Pada *Base Isolation System*, analisa *Modal Load Participation Ratio*, yaitu beban seismik dinamik linear (*respon spectrum analysis*) 100% terhadap beban statik ekuivalen. Sedangkan pada *Fix Based System* tidak sampai 100%. (4) Pada *Base Isolation System*, analisa *Modal Participation Mass Ratio* pada mode 1 dan mode 2 sudah mencapai >90% sedangkan pada *Fix Based System* hanya mencapai 70%. Akan tetapi keduanya telah memenuhi syarat yaitu >90% partisipasi massa. (5) *Shifting Period* pada *Base Isolation System* mencapai 2,7 kali untuk arah X dan 2,8 kali untuk arah Y. (6) *Story Drift* pada *Base Isolation System* berkurang hingga >60% dari *story drift* pada *Fix Based System*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Budiono and A. Setiawan, "Studi komparasi sistem isolasi dasar high-damping rubber bearing dan friction pendulum system pada bangunan beton bertulang," *J. Tek. Sipil ITB*, vol. 21, no. 3, pp. 179–196, 2014.
- [2] E. Popov, *Mechanics of Materials*, 2nd ed. India: Pearson Education, Inc, 2015.
- [3] BSN, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*, 1st ed. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [4] T. Subramani, J. Jothi, and M. Kavitha, "Earthquake analysis of structure by base isolation technique in SAP," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 4, no. 6, pp. 296–305, 2014.
- [5] BSN, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727: 2020)*, 1st ed. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [6] Y. Yurisman, B. Budiono, M. Moestopo, and M. Suarjana, "Behavior of shear link of WFsection with diagonal web stiffener of Eccentrically Braced Frame (EBF) of steel structure," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 42, no. 2, pp. 103–128, 2010.