

Modifikasi Perencanaan Struktur Apartemen One East Residence Surabaya dengan Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton dan Base Isolator: *High Damping Rubber Bearing* (HDRB)

Adnan Fadhlullah Muharam, Endah Wahyuni dan Data Iranata

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: endah@ce.its.ac.id

Abstrak—Pada saat ini, penggunaan struktur komposit baja-beton dalam pembangunan konstruksi sipil sangatlah banyak dilakukan. Komponen struktur komposit ini dapat menahan beban sekitar 33% sampai 50% lebih besar daripada beban yang dapat dipikul oleh balok baja saja tanpa adanya perilaku komposit. Penggunaan teknologi *Base Isolator* sebagai peredam gempa juga dinilai sangat penting bagi konstruksi bangunan gedung karena mengurangi gaya gempa yang diterima oleh struktur. Apartemen One East Residence Surabaya pada kondisi sebenarnya dibangun dengan menggunakan struktur beton bertulang biasa dan memiliki 33 lantai dan 1 *basement*. Dalam Studi ini, gedung tersebut akan dimodifikasi dengan menggunakan struktur komposit baja-beton dan *Base Isolator: High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Berdasarkan perhitungan dan analisa struktur didapatkan hasil, yaitu: tebal pelat atap 9 cm, pelat lantai 9 cm, dimensi balok anak terbesar WF 450x300x11x18, dimensi balok induk terbesar WF 800x300x14x26, dimensi kolom terbesar HSS 700x700x28x28 berintikan beton, dimensi *base isolator* eksterior 900 mm, dimensi *base isolator* interior 1100 mm, pondasi menggunakan *bored pile* diameter 80 cm dengan kedalaman 30 m, dimensi pedestal terbesar 1500 mm, dimensi pilecap terbesar 960x640x110 cm dan dimensi sloof 450x600 mm. Perencanaan tersebut telah memenuhi persyaratan keamanan struktur berdasarkan SNI 1727:2013, SNI 1726:2012, SNI 1729:2015 dan SNI 2847:2013.

Kata Kunci—Apartemen, *Base Isolator*, *High Damping Rubber Bearing*, Struktur Komposit Baja-Beton.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Surabaya dan kota-kota di sekitarnya dilewati patahan Kendeng dan Rembang. Selain itu dalam sejarahnya, tahun 1937 pernah ada gempa besar (6 –7 SR) di Mojokerto yang tak jauh dari Surabaya, Sesar Kendeng masih aktif dengan pergerakan 5 mm per tahun. Sesar Kendeng adalah "sambungan" dari Sesar Wetar dan Flores yang "merentang" hingga utara Bali, masuk ke daratan Jawa. Berdasarkan kajian sementara, struktur tanah Surabaya rentan. Karena dia terbentuk dari tanah endapan sungai dan endapan laut (alivium). Gedung-gedung bertingkat atau pencakar langit rawan terhadap guncangan gempa karena terjadinya resonansi dengan gelombang gempa [1].

Sebagai bangunan tinggi (*Highrise building*) Apartemen One East Residence perlu di desain tahan terhadap gempa. Kerusakan gempa secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya

gempa yang bekerja. Seiring dengan perkembangan teknologi, salah satu metode yang dapat meredam energi gempa adalah dengan *base isolator*. *Base isolator* mempunyai sifat yang fleksibel terhadap gaya horisontal, tapi mampu menahan berat bangunan dengan baik. Hal itu dikarenakan kombinasi antara material karet dan pelat baja yang tersusun. Dengan sifat fleksibel tersebut, saat gaya gempa menggeser pondasi, *base isolator* melakukan simpangan horisontal bolak-balik dari tanah sehingga gaya tersebut hanya sebagian kecil yang diterima ke struktur bangunan [2].

Selain itu, untuk memberikan kekuatan yang lebih besar dalam memikul beban, maka diperlukan modifikasi perencanaan dengan menggunakan struktur komposit baja – beton. Struktur komposit terbukti mampu memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan struktur biasa dan menjadi lebih populer dalam rekayasa struktur [3].

B. Rumusan Masalah

Masalah utama pada penulisan Studi ini adalah bagaimana merencanakan gedung dengan struktur komposit baja-beton dan *Base Isolator: High Damping Rubber Bearing* (HDRB). Adapun perincian dari masalah di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan struktur sekunder yang meliputi pelat, balok anak, tangga dan lift?
2. Bagaimana merencanakan struktur primer gedung menggunakan komposit baja-beton dengan peraturan yang berlaku?
3. Bagaimana merencanakan *Base Isolator: High Damping Rubber Bearing* (HDRB)?
4. Bagaimana merencanakan pondasi sesuai dengan beban yang dipikul struktur?
5. Bagaimana menjelaskan hasil akhir perencanaan modifikasi dalam bentuk gambar teknik?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan Studi ini adalah sebagai berikut:

1. *Base Isolator* menggunakan tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).
2. Analisa struktur menggunakan program SAP 2000
3. Tidak membuat metode pelaksanaan di lapangan, arsitektural, manajemen konstruksi, dan perhitungan analisa biaya.
4. Perencanaan tidak meliputi instalasi *mechanical electrical*, dan sanitasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

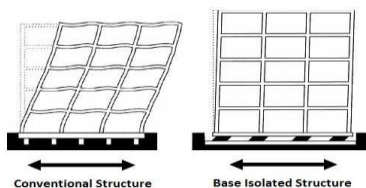
A. Struktur Komposit Baja Beton

Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik, sehingga akan menghasilkan desain profil/elemen yang lebih ekonomis [4].

Struktur komposit pada aplikasinya merupakan elemen dari bangunan itu sendiri, baik sebagai kolom, balok ataupun pelat [4]. Kolom komposit terdiri dari 2 macam yaitu: kolom baja terbungkus beton (*encased steel section*) dan kolom baja berongga berisi beton (*concrete filled tube*). Balok komposit terdiri dari 2 macam yaitu: balok baja terbungkus beton dan balok baja dengan penghubung geser, baik menggunakan *steel deck* ataupun tidak. Penghubung geser (*shear connector*) menjadi penentu terjadinya aksi komposit pada balok komposit, penggunaan *shear connector* bertujuan untuk menjamin terjadinya interaksi mekanis antara baja dan beton, dan mengurangi terjadinya slip pada pelat beton dan balok baja[5].

B. Base Isolator Elastometric Rubber Bearing

Base isolator elastomeric rubber bearing dibentuk dari lembaran baja yang tipis dan karet yang disusun berlapis dan disatukan dengan cara vulkanisasi. Sistem ini bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan. Pada saat terjadi gempa, masing-masing struktur bangunan akan bergetar akibat dari pergerakan tanah yang mempengaruhi pondasi bangunan. Karena pergerakan tanah yang terjadi bersifat acak maka getaran yang memasuki struktur juga tidak selaras, hal ini menyebabkan bangunan yang bersifat kaku mudah runtuh. Pada bangunan yang menggunakan base isolator, getaran yang terjadi pada pondasi akan melewati bantalan karet terlebih dahulu sebelum memasuki sistem struktur. Karena karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi base isolator, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur [6]. Perbandingan perilaku gedung tanpa dan dengan menggunakan base isolator dapat dilihat pada Gambar 1.

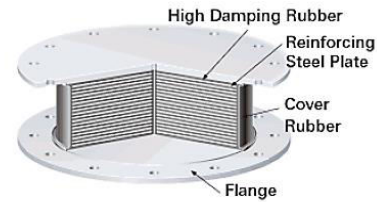


Gambar 1. Perbandingan Perilaku Gedung Menggunakan Base Isolator dan Fixed Base.

Prinsip utama cara kerja *elastomeric* adalah dengan memperpanjang waktu getar alami struktur diluar frekuensi dominan gempa sampai 2,5 atau 3 kali dari waktu getar struktur tanpa isolator (*fixed base structure*) dan memiliki damping antara 10% – 20% sehingga gaya gempa yang disalurkan ke struktur lebih kecil [6].

High damping rubber bearing 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 lainnya sehingga meningkatkan damping antara 10% - 20% pada *shear strain* 100% dengan modulus geser *soft* ($G = 0,4 \text{ MPa}$) dan *hard* ($G=1,4 \text{ MPa}$) [6]. Base

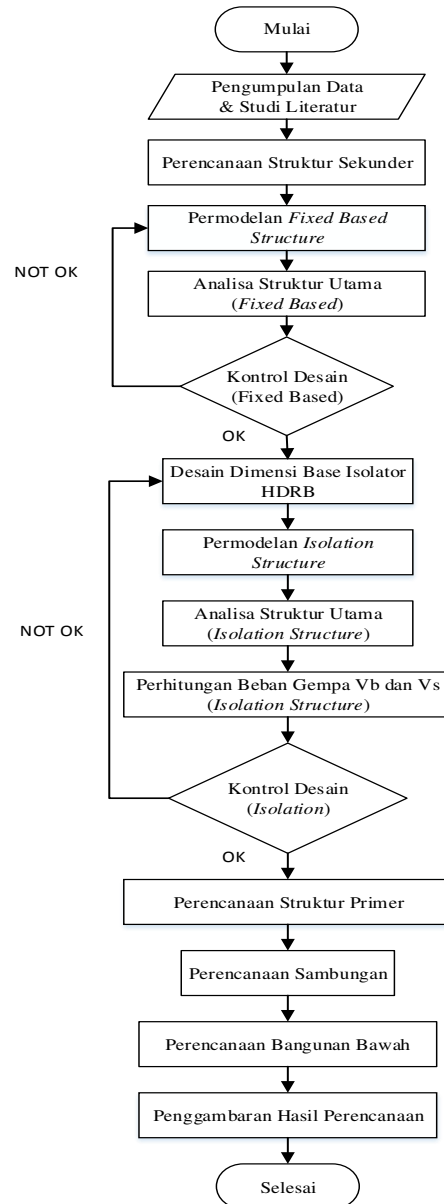
Isolator High Damping Rubber Bearing dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Base Isolator High Damping Rubber Bearing.

III. METODOLOGI

A. Bagan Alir Penyelesaian Studi



Gambar 3. Diagram Alir Penulisan Studi.

B. Data Perencanaan

Data modifikasi perencanaan pada Studi ini adalah sebagai berikut:

- Nama Gedung = One East Residence
- Lokasi = Jl. Kertajaya indah No. 79 Surabaya
- Fungsi = Apartemen
- Jumlah Lantai = 23 Lantai
- Tinggi Gedung = 77,5 m

- Mutu Baja = BJ 41
- Mutu Beton = $f'c$ 30 Mpa
- Pondasi = Tiang Bored Pile Ø 80 cm
- Struktur menggunakan material komposit baja beton (kolom profil *hollow steel tube* berintikan beton (*concrete filled tube*) dan balok komposit menggunakan *shear connector* dan *steel deck*) dengan *base isolator* tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB).
- Sistem struktur adalah SRPMK

IV. ANALISA DAN HASIL

A. Perhitungan Struktur Sekunder

Perhitungan struktur sekunder meliputi pelat, balok anak, tangga dan balok lift [7][8][9].

1) Pelat

Perencanaan pelat lantai atap dan lantai apartemen pada Studi ini menggunakan steel deck dari "Super Floor Deck" dengan tebal 0,75 mm. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi dan Penulangan Pelat

Jenis Pelat	Beban Berguna (kg/m ²)	Bentang (m)	Tebal (cm)	Tulangan Negatif (cm ² /m)	Tulangan
Atap	154,9	2	9	1,07	Ø8-300
Lantai	283,79	2	9	1,31	Ø8-300

2) Balok Anak

Balok anak pada Studi ini menggunakan profil WF dengan mutu baja BJ 41. Hasil perhitungan balok anak lantai atap dan lantai apartemen dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Balok Anak

Perencanaan Balok Anak Lantai Atap & Apartemen				
Panjang (L) (m)	BJ 41		Profil	
	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)		
4	250	410	WF 200x150x6x9	
8	250	410	WF 350x250x9x14	
10	250	410	WF 450x300x11x18	

3) Tangga

Berikut ini adalah data teknis perencanaan tangga lantai dasar pada Studi ini:

- Tinggi antar lantai = 4 m
- Tinggi bordes = 2 m
- Tinggi injakan = 20 cm
- Lebar injakan = 25 cm
- Jumlah injakan = 10 buah
- Lebar bordes = 1,5 m
- Panjang bordes = 3 m
- Lebar tangga = 1,35 m
- Panjang tangga = 2,5 m
- Kemiringan (α) = 38,7°

Hasil perhitungan perencanaan tangga lantai dasar dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Pelat Tangga Lt. Dasar

Jenis Pelat	Beban Berguna (kg/m ²)	Bentang (m)	Tebal (cm)	Tulangan Negatif (cm ² /m)	Tulangan
Tangga	569,45	1,35	9	1,11	Ø8-300
Bordes	533,45	1,35	9	1,11	Ø8-300

Tabel 4.

Rekapitulasi Perhitungan Balok Utama & Penumpu Tangga Lt. Dasar				
Perencanaan Balok Utama & Penumpu Tangga Lt. Dasar				
Balok	BJ 41		Profil	
	Fy (Mpa)	Fu (Mpa)		

Utama	250	410	WF 200 x 150 x 6 x 9
Penumpu	250	410	WF 200 x 150 x 6 x 9

4) Balok Lift

Pada Studi ini, spesifikasi lift menggunakan produk "Sigma Elevator Company" dengan kapasitas 24 Orang (1600 kg), 1 car dan dengan kecepatan 1m/s. Didapatkan dimensi balok penggantung lift adalah WF 400x300x10x16.

B. Analisa Struktur Fixed Base

Hasil dari analisa struktur *fixed base* ini adalah waktu getar alami fundamental struktur dan reaksi pada kolom yang akan digunakan untuk perencanaan *isolation structure* dan perencanaan dimensi *base isolator*.

1) Kontrol Pembebanan Gravitasi

Berdasarkan hasil perhitungan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan (1D+1L) didapatkan beban struktur adalah 38027148,17 kg, dan berdasarkan hasil perhitungan manual didapatkan beban struktur adalah 37064684,02 kg. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan selisih pembebanan sebesar 2,5309% sehingga memenuhi toleransi < 5%[9] [10].

2) Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Pada Studi ini didapatkan nilai Ta sebesar 1,268 detik dan nilai Cu = 1,4. Sehingga batas atas dari periode getar alami fundamental adalah:

$$T = Cu \times Ta = 1,4 \times 1,268 = 1,778 \text{ detik.}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP 2000 didapatkan periode sebesar 3,946 detik. Karena Ta SAP 2000 = 3,946 dt > T = Cu x Ta = 1,778 dt maka selanjutnya dalam desain struktur *fixed base* digunakan Ta = 1,778 detik [11].

3) Kontrol Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Apabila kombinasi respon dinamik (Vt) lebih kecil dari 85% dari gaya geser statik ekivalen (Vs) maka gaya harus dikalikan 0,85 V/Vt [11]. Total berat bangunan adalah 32828860,39 kg [9][10]. Nilai V statik (Vs) didapat dengan rumusan: [3]

$$Vs = Cs \times W = 0,0349 \times 32828860,39 \text{ kg} = 1146068,511 \text{ kg}$$

$$0,85 Vs = 0,85 \times 1146068,511 \text{ kg} = 916854,8089 \text{ kg.}$$

Berdasarkan hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya gempa dinamis seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Gaya Gempa Dinamis (Vt) Struktur Fixed Base

Arah Gempa	Beban Gempa (kgf)	Vt ≥ 0,85 Vs
Arah X	1034977,65	OK
Arah Y	861324,88	NOT OK

Karena Vt masih kurang dari 0,85 Vs, maka gaya gempa perlu dikalikan faktor skala [11]. Faktor skala gempa arah X adalah 0,9412 dan faktor skala gempa arah Y dalah 1,1309. Besar gaya gempa dinamis setelah dikalikan faktor skala dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Gaya Gempa Dinamis (Vt) Struktur Fixed Base Skala

Arah Gempa	Beban Gempa (kgf)	Vt ≥ 0,85 Vs
Arah X	1194571,2	OK
Arah Y	1194561,53	OK

Berdasarkan hasil tersebut, maka memenuhi persyaratan [11].

4) Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil analisa SAP 2000, didapatkan partisipasi massa pada arah X sebesar 91,5 % pada mode ke 9 dan partisipasi massa pada arah Y sebesar 90,9 % pada

mode ke 7. Berdasarkan hasil tersebut, maka memenuhi syarat $\geq 90\%$ [11].

5) Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Simpangan antar lantai (*Drift*) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa bangunan pada tingkat atas dan bawah pada lantai yang di tinjau. Kontrol simpangan arah X dapat dilihat pada Tabel. 7 dan Kontrol simpangan arah Y dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Kontrol Simpangan Antar Lantai arah X Struktur Fixed Base

Tingkat	hi m	δ_{xe} mm	δ_x mm	Δ mm	Δa mm	$\Delta \leq \Delta a$
Atap	3.5	124.11	682.63	7.38	70	OKE
Lt 21	3.5	122.77	675.24	10.70	70	OKE
Lt 20	3.5	120.83	664.54	14.32	70	OKE
Lt 19	3.5	118.22	650.22	17.79	70	OKE
Lt 18	3.5	114.99	632.44	21.01	70	OKE
Lt 17	3.5	111.17	611.43	23.99	70	OKE
Lt 16	3.5	106.81	587.44	26.83	70	OKE
Lt 15	3.5	101.93	560.61	28.36	70	OKE
Lt 14	3.5	96.77	532.25	30.58	70	OKE
Lt 13	3.5	91.21	501.67	32.78	70	OKE
Lt 12	3.5	85.25	468.90	34.89	70	OKE
Lt 11	3.5	78.91	434.00	36.94	70	OKE
Lt 10	3.5	72.19	397.06	38.94	70	OKE
Lt 9	3.5	65.11	358.12	40.99	70	OKE
Lt 8	3.5	57.66	317.13	40.81	70	OKE
Lt 7	3.5	50.24	276.32	42.31	70	OKE
Lt 6	3.5	42.55	234.01	43.77	70	OKE
Lt 5	3.5	34.59	190.24	44.92	70	OKE
Lt 4	3.5	26.42	145.32	45.30	70	OKE
Lt 3	3.5	18.18	100.01	43.91	70	OKE
Lt 2	3.5	10.20	56.10	42.42	70	OKE
Lt 1	4	2.49	13.68	13.68	80	OKE
Lt BI	2	0	0	0	0	-

Tabel 8. Kontrol Simpangan Antar Lantai arah Y Struktur Fixed Base

Tingkat	hi m	δ_{ye} mm	δ_y mm	Δ mm	Δa mm	$\Delta \leq \Delta a$
Atap	3.5	41.05	225.77	2.56	70	OKE
Lt 21	3.5	40.58	223.20	3.17	70	OKE
Lt 20	3.5	40.01	220.03	4.37	70	OKE
Lt 19	3.5	39.21	215.66	5.54	70	OKE
Lt 18	3.5	38.20	210.12	6.63	70	OKE
Lt 17	3.5	37.00	203.49	7.66	70	OKE
Lt 16	3.5	35.61	195.83	8.67	70	OKE
Lt 15	3.5	34.03	187.17	9.30	70	OKE
Lt 14	3.5	32.34	177.86	10.07	70	OKE
Lt 13	3.5	30.51	167.79	10.86	70	OKE
Lt 12	3.5	28.53	156.93	11.61	70	OKE
Lt 11	3.5	26.42	145.32	12.35	70	OKE
Lt 10	3.5	24.18	132.98	13.07	70	OKE
Lt 9	3.5	21.80	119.91	13.82	70	OKE
Lt 8	3.5	19.29	106.09	13.96	70	OKE
Lt 7	3.5	16.75	92.13	14.45	70	OKE
Lt 6	3.5	14.12	77.68	14.94	70	OKE
Lt 5	3.5	11.41	62.74	15.28	70	OKE
Lt 4	3.5	8.63	47.46	15.28	70	OKE
Lt 3	3.5	5.85	32.18	14.53	70	OKE
Lt 2	3.5	3.21	17.65	13.47	70	OKE
Lt 1	4	0.76	4.18	4.18	80	OKE
Lt BI	2	0	0	0	0	-

Berdasarkan hasil tersebut, maka simpangan antar lantai arah X dan Y memenuhi persyaratan [11].

C. Analisa Struktur Isolasi

Pada perencanaan struktur isolasi harus terdapat jalan akses untuk pemeriksaan dan penggantian semua komponen-komponen *base isolator*[11]. Pada Studi ini lantai pemeliharaan base isolator direncanakan 2 m.

Nilai T_M = periode struktur isolasi dan nilai $T_D = 3 \times$ periode *fixed base* [11]. Berdasarkan hasil analisa SAP 2000 didapatkan T struktur isolasi = 5,725 detik, sehingga $T_M = 5,725$ detik dan $T_D = 3 \times 1,775 = 5,325$ detik.

Nilai faktor reduksi gempa (R) pada struktur isolasi adalah 2, untuk faktor keutamaan gempa (I) =1 [11]. Berdasarkan tipe *base isolator* yang dipilih pada brosur *bridgestone* didapat *damping ratio* = 0,24 dengan nilai koefisien redaman B_D atau $B_M = 1,58$ (interpolasi linier) [11].

1) Dimensi *Base Isolator* HDRB

Pada analisa struktur *fixed base* didapatkan gaya aksial kolom interior terbesar (m) adalah 20729,3701 kN kgf dan kolom eksterior terbesar (m) adalah 14097,524 kN.

Pada perhitungan dimensi *base isolator* [12], berdasarkan brosur *bridgestone*, dipilih *base isolator* dengan spesifikasi:

a) Modulus Shear (G) = 0,620 MN/m²

b) Ketebalan Rubber (tr) = 200 mm

- Menghitung kekakuan horizontal (K_H):

$$K_H = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T_D}\right)}{Pjg. bentang} = \frac{20,729 \text{ MN} \times \left(\frac{2\pi}{5,325}\right)^2}{10 \text{ m}}$$

$$K_H = 2,886 \text{ MN/m}$$

Hasil perhitungan kekakuan horizontal *base isolator* [12] interior & eksterior dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Kekakuan Horizontal (KH) Base Isolator Interior & Eksterior

Base Isolator	Gaya Aksial (m)	Kekakuan (K_H)
Interior	20,729 MN	2,886 MN/m
Eksterior	14,097 MN	1,962 MN/m

- Menghitung luasan *rubber* (A):

$$A = \frac{K_H \times tr}{G} = \frac{2,886 \times 0,2}{0,620} = 0,9309 \text{ m}^2$$

Hasil perhitungan luasan *rubber base isolator* [10] interior & eksterior dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Luasan Rubber (A) Base Isolator Interior & Eksterior

Base Isolator	Kekakuan (K_H)	Luas Rubber (A)
Interior	2,886 MN/m	0,9309 m ²
Eksterior	1,962 MN/m	0,6331 m ²

- Menghitung diameter *rubber* (D):

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,9309}{\pi}} = 1,088 \text{ m}$$

Hasil perhitungan diameter *rubber base isolator* [12] interior & eksterior dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Diameter Rubber (D) Base Isolator Interior & Eksterior

Base Isolator	Luas Rubber (A)	Diameter Rubber (D)
Interior	0,9309 m ²	1,088 m
Eksterior	0,6331 m ²	0,8978 m

Berdasarkan hasil tersebut maka untuk *base isolator* interior digunakan HDRB HH 110 x 6R dan *base isolator* eksterior menggunakan HDRB HH 90 x 6R.

2) Kontrol Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Simpangan antar lantai maksimum dari struktur diatas sistem isolasi yang dihitung dengan analisis spektrum respon tidak boleh melebihi 0,015 h_{sx} , dengan nilai faktor Cd sama dengan nilai faktor R [11]. Kontrol simpangan arah

X dapat dilihat pada Tabel. 12 dan Kontrol simpangan arah Y dapat dilihat pada Tabel 13.

Berdasarkan hasil tersebut, maka simpangan antar lantai arah X dan Y memenuhi persyaratan [11].

3) Kontrol Perpindahan Base Isolator

- Menghitung perpindahan maksimum *base isolator*:

$$DM = \frac{g \times S_{M1} \times T_D}{4\pi^2 \times B_M} = \frac{9810 \times 0,743 \times 5,725}{4\pi^2 \times 1,58} = 669,9 \text{ mm}$$

Tabel 12.

Kontrol Simpangan Antar Lantai arah X Struktur Isolasi

Tingkat	hi m	δxe mm	δx mm	Δ mm	Δa mm	Δ ≤ Δa
Atap	3.5	417.82	835.64	3.02	45	OKE
Lt 21	3.5	416.31	832.62	4.52	45	OKE
Lt 20	3.5	414.05	828.10	6.26	45	OKE
Lt 19	3.5	410.92	821.84	8.04	45	OKE
Lt 18	3.5	406.90	813.80	9.80	45	OKE
Lt 17	3.5	402.00	804.00	11.54	45	OKE
Lt 16	3.5	396.23	792.46	13.27	45	OKE
Lt 15	3.5	389.59	779.19	14.29	45	OKE
Lt 14	3.5	382.45	764.90	15.78	45	OKE
Lt 13	3.5	374.56	749.12	17.27	45	OKE
Lt 12	3.5	365.92	731.85	18.74	45	OKE
Lt 11	3.5	356.55	713.11	20.18	45	OKE
Lt 10	3.5	346.46	692.93	21.61	45	OKE
Lt 9	3.5	335.66	671.32	23.07	45	OKE
Lt 8	3.5	324.13	648.25	22.93	45	OKE
Lt 7	3.5	312.66	625.32	24.06	45	OKE
Lt 6	3.5	300.63	601.26	25.25	45	OKE
Lt 5	3.5	288.01	576.01	26.43	45	OKE
Lt 4	3.5	274.79	549.58	27.57	45	OKE
Lt 3	3.5	261.00	522.01	28.59	45	OKE
Lt 2	3.5	246.71	493.42	33.03	45	OKE
Lt 1	4	230.20	460.39	21.20	60	OKE
Lt BI	2	219.59	439.19	-	-	-

Tabel 13.

Kontrol Simpangan Antar Lantai arah Y Struktur Isolasi

Tingkat	hi m	δxe mm	δx mm	Δ mm	Δa mm	Δ ≤ Δa
Atap	3.5	122.98	676.41	3.10	45	OKE
Lt 21	3.5	122.42	673.31	3.87	45	OKE
Lt 20	3.5	121.72	669.44	5.22	45	OKE
Lt 19	3.5	120.77	664.22	6.59	45	OKE
Lt 18	3.5	119.57	657.63	7.95	45	OKE
Lt 17	3.5	118.12	649.68	9.29	45	OKE
Lt 16	3.5	116.43	640.39	10.62	45	OKE
Lt 15	3.5	114.50	629.77	11.36	45	OKE
Lt 14	3.5	112.44	618.41	12.48	45	OKE
Lt 13	3.5	110.17	605.93	13.62	45	OKE
Lt 12	3.5	107.69	592.30	14.74	45	OKE
Lt 11	3.5	105.01	577.56	15.83	45	OKE
Lt 10	3.5	102.13	561.73	16.91	45	OKE
Lt 9	3.5	99.06	544.82	18.02	45	OKE
Lt 8	3.5	95.78	526.80	17.79	45	OKE
Lt 7	3.5	92.55	509.01	18.61	45	OKE
Lt 6	3.5	89.16	490.40	19.50	45	OKE
Lt 5	3.5	85.62	470.90	20.40	45	OKE
Lt 4	3.5	81.91	450.50	21.26	45	OKE
Lt 3	3.5	78.04	429.25	22.06	45	OKE
Lt 2	3.5	74.03	407.19	25.53	45	OKE
Lt 1	4	69.39	381.66	16.23	60	OKE
Lt BI	2	66.44	365.43	-	-	-

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, maka perpindahan *base isolator* pada arah X adalah 439,187 mm ≤ 669,9 mm (OK) dan perpindahan *base isolator* pada arah Y adalah 365,425 mm ≤ 669,9 mm (OK). Jadi perpindahan *base isolator* telah memenuhi persyaratan [11].

4) Kontrol Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser statik (*Vs*) untuk elemen struktur diatas sistem isolasi [3] adalah

$$V_s = \frac{K_{Dmax} \times D_D}{R} = \frac{66695,44 \text{ kN/m} \times 0,415 \text{ m}}{2} = 13851,5591 \text{ kN} = 1385155,91 \text{ Kg}$$

Gaya gempa dinamis ≥ 0,85 *Vs* = 1108124,73 kg [11]. Berdasarkan hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya gempa dinamis seperti pada Tabel 14.

Tabel 14.
Gaya Gempa Dinamis Struktur Isolasi

Arah Gempa	Beban Gempa (kgf)	Vt ≥ 0,85 Vs
Arah X	1891880.12	OK
Arah Y	1902237.64	OK

Berdasarkan hasil tersebut, maka memenuhi persyaratan [11].

4) Kontrol Partisipasi Massa

Berdasarkan hasil analisa SAP 2000, didapatkan partisipasi massa pada arah X sebesar 96,6 % pada mode ke 2 dan partisipasi massa pada arah Y sebesar 96,7 % pada mode ke 3. Berdasarkan hasil tersebut, maka memenuhi syarat ≥ 90% [11].

D. Perhitungan Struktur Primer

Struktur Primer menggunakan struktur komposit dimana balok induk komposit dengan *shear connector* dan *steel deck*, dan kolom komposit baja berisi beton (*concrete filled tube*).

1) Balok Induk

Hasil perhitungan [8] balok induk dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15.
Rekapitulasi Perhitungan Balok Induk

Perencanaan Balok Induk				
(L) m	BJ 41 (Mpa) Fy	Fu	Profil	Arah
4	250	410	WF 350x250x9x14	Memanjang
8	250	410	WF 700x300x13x24	Memanjang
10	250	410	WF 800x300x14x26	Memanjang
10	250	410	WF 800x300x14x26	Melintang

2) Kolom

Hasil perhitungan [8] kolom dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16.
Rekapitulasi Perhitungan Kolom

Perencanaan Kolom				
Lantai	Tinggi (m)	BJ 41 (Mpa) Fy	Fu	Profil
Lt 1-8	3,5	250	410	HSS 700x700x28
Lt 8-15	3,5	250	410	HSS 600x600x25
Lt 15-Atap	3,5	250	410	HSS 550x550x25

E. Perhitungan Sambungan

1) Sambungan Balok Anak Lantai Atap & Lantai Apartemen dengan Balok Induk.

Sambungan direncanakan sebagai *simple connection*. Sambungan menggunakan baut mutu *fub* = 5000 kg/cm². Hasil perhitungan sambungan balok anak – balok induk [13], [14] dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17.
Rekapitulasi Sambungan Balok Anak – Balok Induk

Sambungan	Elemen	Pelat Penyambung	Baut
BA L= 4m & BI	Badan BA	L 60 x 60 x 6	2Ø10
	Badan BI	L 60 x 60 x 6	2Ø10
BA L= 8m & BI	Badan BA	L 60 x 60 x 6	3Ø10
	Badan BI	L 60 x 60 x 6	3Ø10
BA L= 10m & BI	Badan BA	L 60 x 60 x 6	3Ø10
	Badan BI	L 60 x 60 x 6	3Ø10

2) Sambungan Balok Induk – Kolom

Sambungan direncanakan sebagai *rigid connection* (las & baut). Sambungan ini menggunakan baut mutu tinggi A 325 pada badan balok, baut mutu tinggi A 490 pada sayap balok dan Las F_E110xx. Hasil perhitungan sambungan balok induk – kolom [13], [14] dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18.
Rekapitulasi Sambungan Balok Induk – Kolom

Sambungan	Elemen	Pelat Penyambung	Baut / Las
BI L= 4m & Kolom	Badan BI	Pelat 14 mm	A 325 3Ø20
	Badan BI	Pelat 14 mm	Las F _E 110xx 16 mm
	Sayap A BI	Pelat 26 mm	A 490 6Ø24
	Sayap B BI	Pelat 26 mm	A 490 6Ø24
	Kolom	Pelat 26 mm	Las F _E 110xx 25 mm
BI L = 8m & Kolom	Badan BI	Pelat 14 mm	A 325 6Ø20
	Badan BI	Pelat 14 mm	Las F _E 110xx 20 mm
	Sayap A BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Sayap B BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Kolom	Pelat 26 mm	Las F _E 110xx 25 mm
BI L= 10m Arah X & Kolom	Badan BI	Pelat 14 mm	A 325 6Ø20
	Badan BI	Pelat 14 mm	Las F _E 110xx 20 mm
	Sayap A BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Sayap B BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Kolom	Pelat 26 mm	Las F _E 110xx 25 mm
BI L= 10m Arah Y & Kolom	Badan BI	Pelat 14 mm	A 325 7Ø20
	Badan BI	Pelat 14 mm	Las F _E 110xx 20 mm
	Sayap A BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Sayap B BI	Pelat 26 mm	A 490 12Ø24
	Kolom	Pelat 26 mm	Las F _E 110xx 25 mm

3) Sambungan Antar Kolom

Sambungan antar kolom direncanakan dengan menggunakan Las Sudut F_E 110xx dengan pelat tambahan. Hasil perhitungan sambungan antar kolom [13], [14] dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19.
Rekapitulasi Sambungan Antar Kolom

Sambungan	Elemen	Pelat Penyambung	Baut / Las
HSS 700x700x28	Kolom	Pelat 65 mm	Las F _E 110xx 29 mm
HSS 600x600x25	Kolom	Pelat 50 mm	Las F _E 110xx 20 mm
HSS 550x550x25	Kolom	Pelat 50 mm	Las F _E 110xx 11 mm

4) Sambungan Balok Induk – Pedestal

Sambungan ini menggunakan jenis *extended end plate* tanpa pengaku dengan baut angkur A490 dengan hasil [2], [9] sebagai berikut:

- Sambungan Las Mutu F_E110xx dengan a= 1 cm
- Sambungan baut angkur A 490, Panjang angkur = 500 mm

5) Sambungan *Base Plate*

Sambungan base plate direncanakan menggunakan Las & Baut angkur dengan hasil [13], [14] sebagai berikut:

- Sambungan Las F_E 110xx dengan a = 29 mm
- Baut Angkur F1554 grade 105 diameter Ø 20 mm dengan panjang angkur 500 mm.
- Tebal *base plate* t = 70 mm.

F. Perhitungan Bangunan Bawah

Berdasarkan data tanah yang ada, pondasi direncanakan menggunakan tiang *bored pile* [15] dengan diameter Ø 80 cm. Pondasi bored pile direncanakan dengan kedalaman 30 m.

1) Pedestal

Pada Studi ini terdapat 2 jenis pedestal [16], yaitu:

- Pedestal tipe 1 (Kolom Eksterior)

Dimensi: 1250 x 1250 mm, Tulangan Utama: 32D25 dan Tulangan Geser: D14-150 mm

- Pedestal tipe 2 (Kolom Interior)

Dimensi: 1500 x 1500 mm, Tulangan Utama: 40D28 dan Tulangan Geser: D14-150 mm.

2) Pilecap

Pada Studi ini terdapat 2 jenis pilecap [5], [15], yaitu:

- Pilecap tipe 1

Dimensi: 640 x 640 x 140 cm, Jumlah *bored pile*: 9 buah, Tulangan Sisi Panjang: Atas (D19-80) & Bawah (D25-70), Tulangan Sisi Pendek: Atas (D19-80) & Bawah (D25-70).

- Pilecap tipe 2

Dimensi: 960 x 640 x 110 cm, Jumlah *bored pile*: 24 buah, Tulangan Sisi Panjang: Atas (D19-340) & Bawah (D25-290), Tulangan Sisi Pendek: Atas (D19-340) & Bawah (D25-290).

3) Balok *Sloof*

Berdasarkan perhitungan [5] didapatkan dimensi balok *sloof* adalah 450 x 600 mm. Dengan tulangan positif 2D16 dan tulangan negatif 5D16 pada sisi tumpuan, sedangkan tulangan positif 5D16 dan tulangan negatif 2D16 pada sisi lapangan. Selain itu, terdapat juga tulangan geser Ø10-250 mm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sesuai dengan tujuan penulisan Studi ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan pada struktur sekunder telah memenuhi syarat terhadap kontrol kuat penampang, kuat geser dan lendutan.
2. Berdasarkan analisa struktur yang dilakukan (Kontrol waktu getar alami fundamental, Gaya geser dasar (*Base shear*), Partisipasi massa, Simpangan (*Drift*), Pembebanan grafitasi dan Perpindahan base isolator pada struktur yang direncanakan (*Fixed Based & Isolation*) di kota surabaya telah memenuhi persyaratan.
3. Hasil perhitungan struktur primer yang dilakukan telah memenuhi syarat terhadap kontrol kuat penampang, kontrol geser, kontrol interaksi geser lentur dan lendutan.
4. Hasil perhitungan base isolator (kekakuan horizontal, luasan & dimensi) yang dilakukan telah memenuhi syarat terhadap kontrol perpindahan base isolator dan kontrol struktur dengan sistem isolasi.
5. Hasil perhitungan bangunan bawah telah memenuhi persyaratan dimensi dan kontrol akibat geser.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil analisa dalam Studi ini meliputi:

1. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai perencanaan struktur dengan menggunakan *base isolator* tipe *high damping rubber bearing* (HDRB) berdasarkan SNI 1726:2012 dan peraturan-peraturan lainnya agar dapat diketahui keunggulan penggunaan *base*

isolator dalam meredam gaya gempa pada *isolation structure* dibandingkan dengan *fixed based structure*.

2. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai perilaku gedung tinggi dengan *Sistem Isolation Structure* dengan memperhatikan aspek teknis, ekonomis dan estetika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Natawidjaja, D. Hilman, and A. Widodo, "Surabaya Rawan Gempa," *LIPi*, 2009. [Online]. Available: <http://lipi.go.id/berita/single/surabaya-rawan-gempa-/3197>.
- [2] D. Qoernia, *Penentuan Nilai Parameter Dynamic Absorber Berbasis Frekuensi*. Surabaya: ITS Press, 2010.
- [3] Z. Arifin, "Modifikasi Perancangan Struktur Komposit Baja dan Beton pada gedung RSUD Kepanjen-Malan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011.
- [4] A. Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LFRD. (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*. Jakarta: Erlangga, 2008.
- [5] M. Mursyid, "Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Perkantoran Telkomsel di Surabaya Barat Menggunakan Baja-Beton Komposit," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, 2013.
- [6] N. Heriandes, "Perancangan Modifikasi Struktur Gedung Dinas Prasarana Jalan, Tata Ruang dan Permukiman Provinsi Sumatera Barat Menggunakan High Damping Rubber Bearing (HDRB)," Surabaya, 2015.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03-1729-2002 : Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung," Jakarta, 2002.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1729-2015 : Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural," Jakarta, 2015.
- [9] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, "Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983," Bandung, 1983.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Jakarta, 2013.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726-2012 : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung," Jakarta, 2012.
- [12] J. M. Kelly and F. Naeim, *Design of Seismic Isolated Structure: From Theory to Practice*. New York: John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)," Bandung, 2002.
- [14] M. Ibrahim and Isdarmanu, *Buku Ajar Struktur Baja I*. Surabaya: ITS Surabaya, 2006.
- [15] H. Wahyudi, *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS, 1999.
- [16] Badan Standar Nasional, "Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)," Jakarta, 2013.