

BAB V

PERBANDINGAN PERILAKU SEISMIK DAN BIAYA STRUKTUR DENGAN DAN TANPA *BASE ISOLATION*

5.1. UMUM

Perilaku struktur dengan dan tanpa *Base Isolation* dianalisa dengan membandingkan pengurangan gaya gempa, pengurangan tuntutan daktilitas dan perbandingan harga struktur. Dalam bab ini dibahas mengenai pengurangan tuntutan daktilitas dan harga awal dari struktur dengan *Base isolation* dibandingkan dengan struktur tanpa *Base Isolation*.

Untuk mendapatkan *curvature ductility* dari bangunan dengan dan tanpa *Base Isolation*, struktur 4 lantai, 8 lantai, dan 12 lantai baik yang menggunakan *Base Isolation* maupun yang tidak menggunakan *Base Isolation* dianalisa dengan analisa riwayat waktu dengan menggunakan program *Ruamoko*. Gempa yang digunakan merupakan rekaman gempa tiruan yang mensimulasi gempa dengan periode 500 tahun dari wilayah 3 Indonesia pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung (SNI-1726-2001). Gempa tiruan ini dibuat dengan acuan gempa *El Centro 1940 NS*.

Dengan penggunaan *Base Isolation* diharapkan pada struktur bagian atasnya jumlah sendi plastis dapat diminimalkan atau bahkan tidak ada kerusakan sama sekali. Hal ini dapat menyebabkan struktur dengan *Base Isolation* tidak memerlukan biaya perbaikan sehingga aktifitas pada bangunan tersebut tidak akan terhenti dan tidak mengurangi pemasukan struktur tersebut.

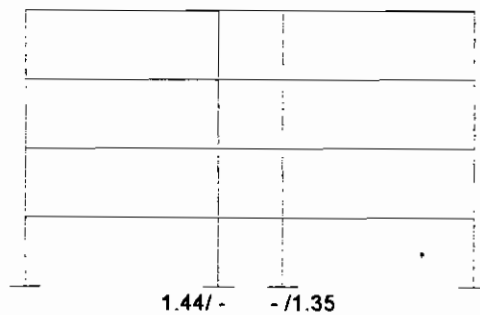
5.2. PEMERIKSAAN PERILAKU SEISMIK STRUKTUR DENGAN DAN TANPA *BASE ISOLATION*

5.2.1 Struktur 4 lantai

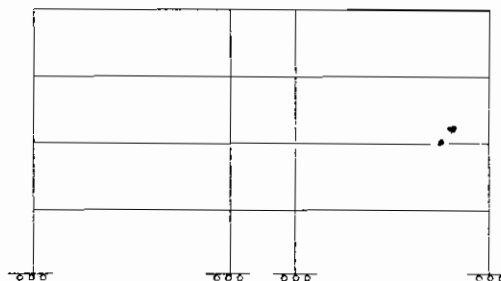
Curvature Ductility merupakan rasio antara *curvature* pada keadaan akhir batas sesudah plastis (*ultimate*), θ_u dan *curvature* pada keadaan leleh pertama, θ_y . Apabila nilai *curvature ductility* dari struktur (θ_u / θ_y) lebih besar

dari satu, maka hal ini menunjukkan struktur tersebut telah terjadi sendi plastis dan mengalami kerusakan. Semakin besar angka *curvature ductility*, semakin besar pula kerusakan yang terjadi pada struktur tersebut.

Curvature Ductility ini diperoleh dengan analisa gempa riwayat waktu dengan menggunakan program *Ruaumoko* yang dikenai rekaman gempa tiruan yang mensimulasi gempa dengan periode ulang 500 tahun dari wilayah 3 Indonesia pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung [SNI-1726-2001]. Gempa tiruan dibuat dengan acuan gempa *El Centro 1940 NS*. *Curvature ductility* ini diperiksa secara 3 dimensi dan untuk lantai 4 dan 8 ditampilkan portal E arah melintang (arah y) saja (Lihat Gambar 1.3) karena portal ini menunjukkan nilai *curvature ductility* yang paling maksimum dan pada struktur dengan menggunakan *Base Isolation* pada arah memanjangnya (arah x) tidak terjadi sendi plastis. Namun untuk struktur 12 lantai ditampilkan dalam arah portal memanjang (portal 2) dan melintang (portal E).



Gambar 5.1. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 4 Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang



Gambar 5.2. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 4 Lantai dengan BI pada Portal E Arah Melintang

	1.57	1.7	1.63	1.06	1.79
1.83	1.21	1.65	1.68	1.48	1.28
2.42	3.14	3.22	3.54	2.16	3.02
3.08	2.08	3.6	3.27	3.04	2.49
2.22	2.9	3.2	3.71	1.95	3.2
3.21	2.0	3.59	3.14	3.02	2.24
3.01	3.15	3.21	3.77	2.63	3.25
2.43	1.83	3.68	3.17	2.4	2.19

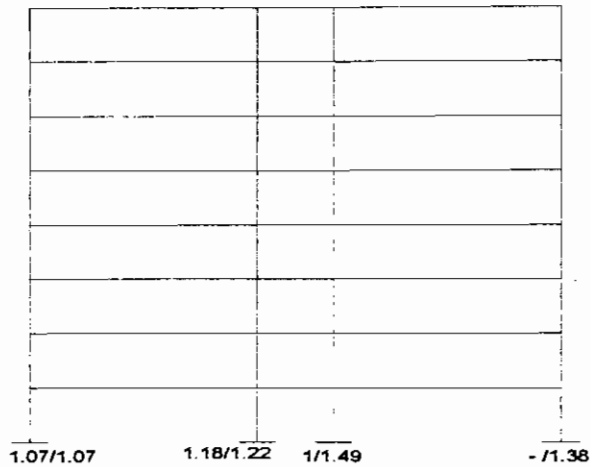
Gambar 5.3. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur 4 Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang

Gambar 5.4. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur 4 Lantai dengan BI pada Portal E Arah Melintang

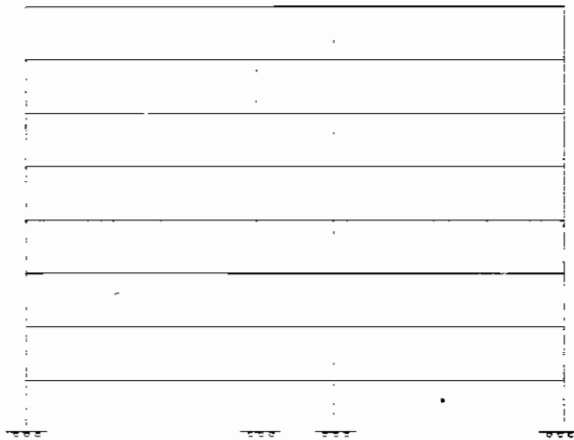
Pada Gambar 5.1 dan 5.4, dapat dilihat untuk struktur 4 lantai dengan *Base Isolation* tidak terjadi sendi plastis jika dibandingkan dengan struktur 4 lantai tanpa *Base Isolation*.

5.2.2 Struktur 8 Lantai

Struktur 8 lantai juga dianalisa dengan riwayat waktu dengan menggunakan program *Ruaumoko*. Untuk struktur 8 lantai diperiksa secara 3 dimensi dan ditampilkan portal arah melintang saja karena pada struktur dengan menggunakan *Base Isolation* pada arah memanjangnya tidak terjadi sendi plastis.



Gambar 5.5. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 8 Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang



Gambar 5.6. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 8 Lantai dengan BI pada Portal E Arah Melintang y

Pada Gambar 5.5 dan 5.6, dapat dilihat bahwa kolom dari struktur 8 lantai dengan *Base Isolation* tidak terjadi sendi plastis sama sekali jika dibandingkan dengan struktur 8 lantai tanpa *Base Isolation*.

1.59			1.37		1.02
2.47	1.2	1.0	1.87		1.41
	1.32				1.76
4.62		3.76	4.14		1.54
	3.61	3.76			3.93
5.8	2.22	5.3	1.98	5.4	2.75
2.08	4.9	1.94	5.3	1.7	5.31
5.62	3.68	5.52	3.61	5.21	4.0
3.27	4.53	3.65	5.56	3.0	5.0
5.61	3.45	5.42	3.97	4.61	4.1
3.44	4.23	3.8	5.25	3.06	4.8

Gambar 5.7. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur 8 Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang

	1.01		1.062
			1.017

Gambar 5.8. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur 8 Lantai dengan BI pada Portal E Arah Melintang

Pada Gambar 5.7 dan 5.8, dapat dilihat bahwa balok dari struktur 8 lantai dengan *Base Isolation* menghasilkan nilai daktilitas dan jumlah sendi plastis yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan struktur 8 lantai tanpa *Base Isolation*.

5.2.3. Struktur 12 Lantai

Struktur 12 lantai juga dianalisa dengan riwayat waktu dengan menggunakan program *Ruamoko*. Untuk struktur 12 lantai perilaku seismik struktur ditinjau dalam arah portal memanjang dan melintang.

1.48	1.07	1.31		
2.31	1.23 1.59	1.94		1.28 1.63
3.1	1.78	2.53		1.93
1.29	2.2	1.46		2.46
3.47	2.31	2.89		2.69
2.15	2.65	1.01 2.09		2.91
3.50	3.04	1.04 1.24 3.03		3.7
3.08	2.69	1.21 1 2.69		2.88
3.24	4.3	2.71 2.80		4.81
4.21	2.44 2.67	3.93		2.63
3.84	5.17	1.58 3.94 3.26		5.67
5.11	2.91	1.94 1.57 4.83		3.28
3.4	5.48	2.52 4.74 3.71		5.98
5.46	4.23	4.73 2.51 5.12		3.75
3.15	4.96	2.84 4.65 3.45		5.30
4.78	3.97	4.61 2.81 4.56		3.54
2.96	3.09	2.15 3.07 2.39		3.63
3.07	1.86	3.04 2.12 2.58		2.37

Gambar 5.9. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur 12
Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang

1.24				
1.25				
1.7	2.31			1.5
1.86	1.1			1.93
1.54	2.04			1.46
1.71	1.04			1.62
2.13	2.69			1.9
1.86	1.22			1.86
2.50	2.8			2.38
1.53	1.07			1.39
2.82	3.22			2.60
1.14	1.12			1.48
2.7	2.86			2.66
1.18				1.07
2.5	2.49	1.03 1.07		2.27
1.97	1.89			1.27 1.58
				2.15

Gambar 5.10. *Curvature Ductility* Maksimum Balok untuk Struktur
12 Lantai dengan BI pada Portal E Arah Melintang

[illegible]

Gambar 5.11. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 12 Lantai tanpa BI pada Portal E Arah Melintang

[illegible]

Gambar 5.12. *Curvature Ductility* Maksimum Kolom untuk Struktur 12

Pada Gambar 5.9 dan 5.10, dapat dilihat bahwa balok dari struktur 12 lantai dengan *Base Isolation* menghasilkan nilai daktilitas yang lebih kecil dan tuntutan daktilitas yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan tuntutan daktilitas struktur 12 lantai tanpa *Base Isolation*.

Gambar 5.11, 5.12, 5.13, dan 5.14, jumlah sendi plastis pada kolom dari struktur 12 lantai dengan *Base Isolation* lebih banyak daripada struktur konvensional. Hal ini disebabkan karena struktur konvensional didesain secara Desain Kapasitas sementara struktur dengan *Base Isolation* didesain berdasarkan gaya dalam yang terjadi.

Tabel 5.1 menunjukkan perbandingan *curvature ductility* maksimum struktur 4, 8 dan 12 lantai untuk portal E arah melintang. Struktur 4 lantai dengan menggunakan *Base Isolation* merupakan struktur yang tidak mengalami kerusakan dan tidak terjadi sendi plastis sama sekali bila dibandingkan dengan struktur tanpa menggunakan *Base Isolation*. Balok pada struktur 8 lantai dengan menggunakan *Base Isolation* mengalami kerusakan yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan struktur tanpa menggunakan *Base Isolation* sedangkan kolom pada struktur 8 lantai dengan menggunakan *Base Isolation* tidak terjadi sendi plastis. Untuk balok pada struktur 12 lantai dengan *Base Isolation* menghasilkan nilai dan tuntutan daktilitas yang lebih sedikit, sedangkan pada kolom struktur 12 lantai, jumlah sendi plastisnya lebih banyak daripada struktur konvensional. Akibat adanya sendi plastis pada kolom struktur 12 lantai, memungkinkan terjadinya *soft storey mechanism* sehingga mengakibatkan keruntuhan bangunan.

Tabel 5.1 Perbandingan *curvature ductility* maksimum struktur 4, 8 dan 12 lantai untuk portal E arah x.

Jumlah Lantai		Konvensional		Base Isolation	
		Range	$\sum$ Sendi	Range	$\sum$ Sendi
		Curv. Ductility	Plastis	Curv. Ductility	Plastis
4	Balok	1.28 - 3.77	47	-	-
	Kolom	1.35 - 1.44	2	-	-
8	Balok	1 - 5.8	54	1.01 - 1.062	3
	Kolom	1 - 1.38	4	-	-
12	Balok	1 - 5.98	97	1.1 - 3.30	59
	Kolom	1.1 - 1.63	4	1.22 - 6.55	8

5.3. PERBANDINGAN BIAYA AWAL STRUKTUR DENGAN DAN TANPA BASE ISOLATION

Perhitungan biaya awal struktur meliputi perhitungan biaya material dan biaya upah. Untuk struktur dengan *Base Isolation* perlu adanya penambahan biaya untuk plat dasar, kolom pendek dan unit *Base Isolation* itu sendiri. . Dalam studi ini biaya struktural yang diperhitungkan hanya meliputi harga beton, bekisting, dan tulangan, sedangkan biaya peralatan yang lainnya serta meningkatnya biaya pelaksanaan akibat ketinggian tidak diperhitungkan. Struktur dengan menggunakan *Base Isolation* menggunakan sambungan fleksibel untuk sambungan saluran ME pada bagian bawah bangunan yang menghubungkan saluran dalam gedung dengan saluran perkotaan. Penambahan biaya akibat perbedaan sambungan saluran ini juga diabaikan karena sambungan fleksibel yang diperlukan tidak terlalu panjang.

Penurunan gaya dalam pada struktur bagian atas struktur *Base Isolation* menyebabkan penurunan kebutuhan tulangan pada kolom (Tabel 5.2). Perhitungan penulangan ini didasarkan pada gaya-gaya dalam yang terjadi karena struktur dengan *Base Isolation* tidak memakai Konsep Desain Kapasitas.

Tabel 5.2. Perbandingan Volume antara Struktur Konvensional dan yang
Menggunakan *Base Isolation*

Elemen Struktur	Items	Sat.	4 Lantai		8 Lantai		12 Lantai	
			Volume Cap. Design	Volume Bl	Volume Cap. Design	Volume Bl	Volume Cap. Design	Volume Bl
Plat	Beton	m ³	282.24	352.8	564.48	635.04	846.72	917.28
	Bekisting	m ²	1,528.80	1,705.20	2,234.40	2,410.80	2,940.00	3,116.40
	Tulangan	ton	40,58	50,73	81,16	91,31	121,75	131,89
Balok Anak	Beton	m ³	58.8	73.5	117.6	132.3	176.4	191.1
	Bekisting	m ²	294.84	328.86	430.92	464.94	567	601.02
	Tulangan	ton	5,03	6,04	9,53	11,32	15,09	16,35
Balok Induk arah X	Beton	m ³	117.6	147	517.44	546.84	806.4	873.6
	Bekisting	m ²	589.68	657.72	861.84	929.88	1,764.00	1,869.84
	Tulangan	ton	11,50	20,40	49,31	112,71	89,55	132,72
Balok Induk arah Y	Beton	m ³	88.2	110.25	388.08	410.13	604.8	655.2
	Bekisting	m ²	442.26	493.29	646.38	697.41	661.5	701.19
	Tulangan	ton	10,02	16,92	39,26	106,78	62,40	143,53
Kolom	Beton	m ³	144	148.5	414.72	419.22	846.72	855.54
	Bekisting	m ²	561.6	678.6	820.8	959.4	2,016.00	2,270.52
	Tulangan	ton	36,55	17,42	75,03	73,86	156,04	138,91

Harga *readymix*, bekisting dan tulangan diperoleh dari *Master Plan* UK Petra dan PT.Wijaya Karya. Harga tersebut sesuai dengan biaya pelaksanaan dari proyek Gedung Kuliah dan Poliklinik, Universitas Kristen Petra Surabaya, tahun 2003. Sedangkan untuk harga per unit *Lead Rubber Bearing* diperoleh dari korespondensi dengan Bapak Sugeng Wijanto. Harga per unit *Lead Rubber Bearing* sebesar NZ \$0.10/cc dengan asumsi NZ \$1 sebesar Rp 5.000,-

5.3.1 Struktur 4 Lantai

Perhitungan biaya awal struktur meliputi biaya material dan upah. Untuk biaya material, perhitungan biaya dibagi per elemen struktur yaitu elemen plat, balok anak, balok induk, kolom dan bagian *base* dari struktur. Struktur 4 lantai ini menggunakan 36 unit *Base Isolation*. Perhitungan biaya awal struktur 4 lantai dengan dan tanpa *Base Isolation* dapat dilihat pada Lampiran 4. Perhitungan harga menggunakan asumsi harga per unit *Lead Rubber Bearing* sebesar NZ \$0.10/cc (asumsi NZ \$1 sebesar Rp 5.000,-), harga 1 m³ *readymix* Rp 400,000,-, harga 1 m² bekisting Rp 30,000,- dan harga 1 kg besi tulangan Rp 4,000,-

Dari perbandingan harga awal struktur 4 lantai dengan dan tanpa *Base Isolation* (Lampiran 4) diperoleh:

- Harga struktur atas tanpa *Base Isolation* : Rp 837,524,884.55
- Harga struktur atas dengan *Base Isolation* : Rp 1,038,212,244.09
- Harga *Base Isolation* total + pajak + instalasi : Rp 143,388,000.00
- Selisih Harga : Rp 200,687,359.54

5.3.2 Struktur 8 Lantai

Perhitungan biaya awal struktur meliputi biaya material dan upah. Untuk biaya material, perhitungan biaya dibagi per elemen struktur yaitu elemen plat, balok anak, balok induk, kolom dan bagian *base* dari struktur. Struktur 8 lantai ini menggunakan 36 unit *Base Isolation*. Perhitungan biaya awal struktur 8 lantai dengan dan tanpa *Base Isolation* dapat dilihat pada Lampiran 5. Perhitungan harga menggunakan asumsi harga per unit *Lead Rubber Bearing* sebesar NZ

\$0.10/cc (asumsi NZ \$1 sebesar Rp 5.000,-), harga 1 m³ *readymix* Rp 400,000,-, harga 1 m² bekisting Rp 30,000,- dan harga 1 kg besi tulangan Rp 4,000,-

Dari perbandingan harga awal struktur 8 lantai dengan dan tanpa *Base Isolation* (Lampiran 5) diperoleh:

- Harga struktur atas tanpa *Base Isolation* Rp 2,011,893,542.70
- Harga struktur atas dengan *Base Isolation* :Rp 2,827,831,721.12
- Harga *Base Isolation* total + pajak + instalasi :Rp 222,624,000.00
- Selisih Harga :Rp 815,938,178.42

5.3.3 Struktur 12 Lantai

Perhitungan biaya awal struktur meliputi biaya material dan upah. Untuk biaya material, perhitungan biaya dibagi per elemen struktur yaitu elemen plat, balok anak, balok induk, kolom dan bagian *base* dari struktur. Struktur 12 lantai ini menggunakan 36 unit *Base Isolation*. Perhitungan biaya awal struktur 12 lantai dengan dan tanpa *Base Isolation* dapat dilihat pada Lampiran 6. Perhitungan harga menggunakan asumsi harga per unit *Lead Rubber Bearing* sebesar NZ \$0.10/cc (asumsi NZ \$1 sebesar Rp 5.000,-), harga 1 m³ *readymix* Rp 400,000,-, harga 1 m² bekisting Rp 30,000,- dan harga 1 kg besi tulangan Rp 4,000,-

Dari perbandingan harga awal struktur 12 lantai, dengan dan tanpa *Base Isolation* (Lampiran 6) diperoleh

- Harga struktur atas tanpa *Base Isolation* :Rp 3,374,083,536.91
- Harga struktur atas dengan *Base Isolation* :Rp 4,818,630,582.77
- Harga *Base Isolation* total + pajak + instalasi :Rp 911,160,000.00
- Selisih Harga :Rp 1,444,547,045.85

Pada Grafik 5.1 (atau Tabel 5.3) dan Grafik 5.2 tampak bahwa struktur 4 lantai memberikan selisih harga yang paling kecil daripada struktur 8 dan 12 lantai. Hal ini disebabkan karena struktur 4 lantai memberikan penurunan gaya gempa yang paling besar, sehingga membutuhkan tulangan yang lebih sedikit serta dimensi *Lead Rubber Bearings* yang paling kecil dibandingkan struktur yang menggunakan *Base Isolation* lainnya.

Tabel 5.3 Perbandingan dan Selisih Harga antara Struktur Konvensional dan yang Menggunakan *Base Isolation*

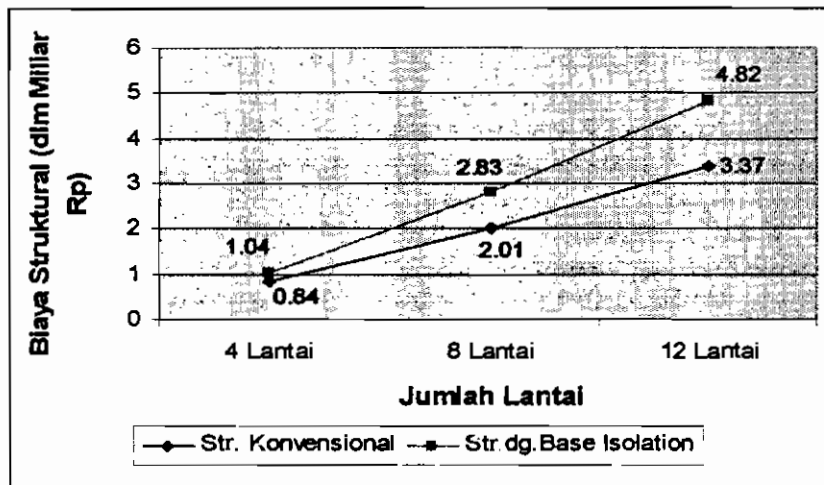
	Str. Konvensional (Rp)	Str. Dg. <i>Base Isolation</i> (Rp)	Selisih harga (Rp)
4 Lantai	837,524,884.55	1,038,212,244.09	200,687,359.54
8 Lantai	2,011,893,542.70	2,827,831,721.12	815,938,178.42
12 Lantai	3,374,083,536.91	4,818,630,582.77	1,444,547,045.85

Keterangan : harga Lead Rubber Bearing = NZ \$0.10/cc (asumsi NZ \$ 1 = Rp 5,000)

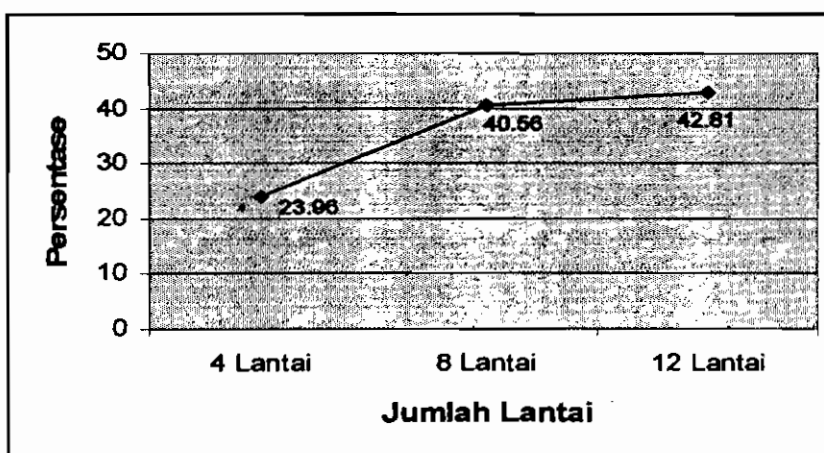
1 m³ readymix = Rp 400,000,-

1 m² bekisting = Rp 30,000,-

1 kg besi tulangan = Rp 4,000,-



Grafik 5.1. Grafik Perbandingan Harga antara Struktur Konvensional dan yang Menggunakan *Base Isolation*

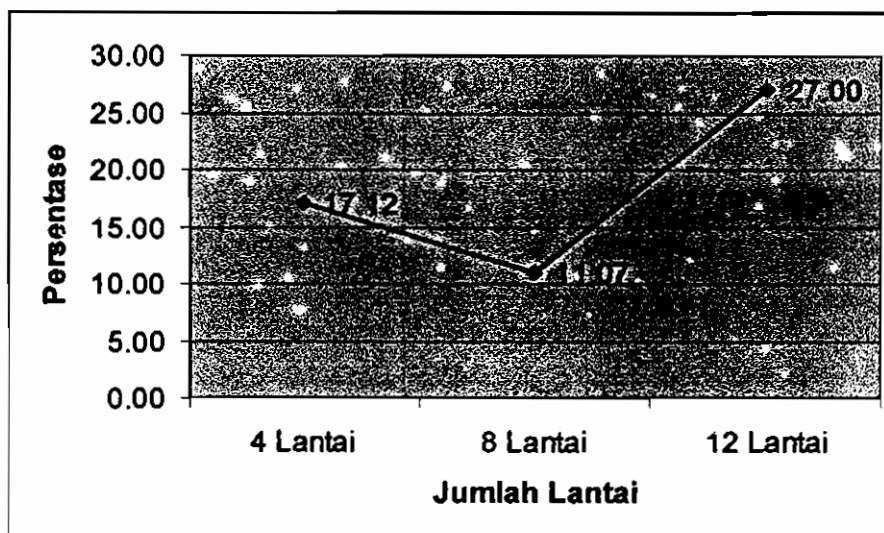


Grafik 5.2. Persentase Kenaikan Biaya Struktural dari Struktur yang Menggunakan *Base Isolation* terhadap Struktur Konvensional

Pada Grafik 5.3 (atau Tabel 5.4) tampak bahwa dengan adanya *Base Isolation*, struktur 4 lantai memberikan kenaikan harga sebesar 17.12% jika dibandingkan dengan struktur konvensional. Untuk struktur 8 memberikan kenaikan harga sebesar 11.065 % dan struktur 12 lantai sebesar 27%. Harga *Base Isolation* total ini termasuk biaya pajak dan biaya untuk instalasinya

Tabel 5.4 Perbandingan dan Persentase Harga *Base Isolation* dengan Struktur Konvensional

	Str. Konvensional (Rp)	Harga <i>Base Isolation</i> total (Rp)	Harga BI/ Biaya total (%)
4 Lantai	837,524,884.55	143,388,000.00	17.12
8 Lantai	2,011,893,542.70	222,624,000.00	11.07
12 Lantai	3,374,083,536.91	911,160,000.00	27.00

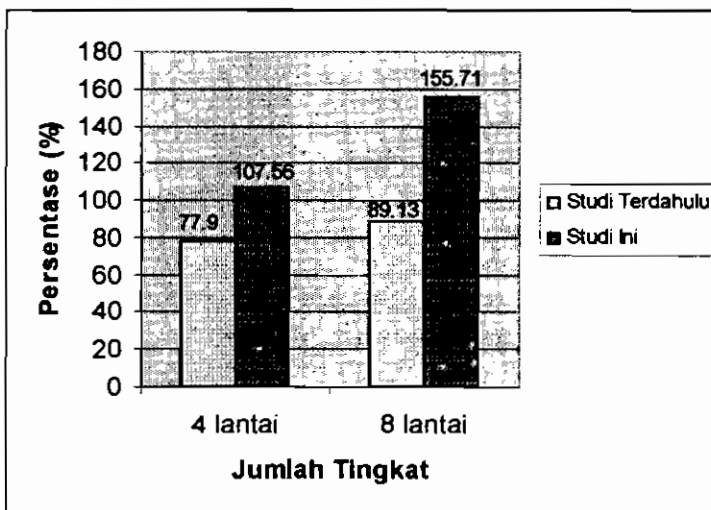


Grafik 5.3. Persentase Kenaikan Biaya akibat *Base Isolation* terhadap Struktur Konvensional

Grafik 5.4 menunjukkan perbandingan persentase berat tulangan yang dipakai antara studi ini dan studi terdahulu. Pada studi terdahulu terlihat bahwa struktur yang menggunakan *Base Isolation* mempunyai berat tulangan sebesar 77.9% (struktur 4 lantai) dan 89.13% (struktur 8 lantai) terhadap struktur

konvensional. Namun pada studi ini struktur yang menggunakan Base Isolation memiliki kenaikan berat tulangan sebesar 107.56% (struktur 4 lantai) dan 155.71% (struktur 8 lantai) terhadap struktur konvensional.

Pengurangan berat tulangan pada studi terdahulu dapat terjadi karena tetap dipakainya Konsep Desain Kapasitas pada struktur yang menggunakan *Base Isolation*, sehingga gaya gempa yang dipakai merupakan gaya gempa yang telah direduksi 5.3x dari gempa periode ulang 500 tahun. Sedangkan Desain Kapasitas tidak dipakai lagi pada struktur yang menggunakan *Base Isolation* dalam studi ini. Pada studi ini, gaya gempa yang dipakai adalah gaya gempa yang direduksi sebesar 3.4x (pada struktur 4 dan 8 lantai) dari gempa periode ulang 500 tahun sesuai dengan perhitungan *Code type Approach*, sehingga berat tulangan yang digunakan dalam studi ini lebih besar daripada studi terdahulu.



Grafik 5.4 Perbandingan Persentase Harga antara Struktur Konvensional dengan Struktur yang Menggunakan *Base Isolation* pada Studi Terdahulu dan Studi Ini

Namun perlu diingat, dengan tidak memakai Desain Kapasitas pada struktur yang menggunakan *Base Isolation* berarti struktur tersebut direncanakan elastis terhadap gempa periode ulang 500 tahun, dimana tingkat kerusakannya akan jauh lebih kecil daripada struktur yang menggunakan Desain Kapasitas. Hal ini berlaku terutama pada struktur 4 yang tidak terjadi sendi plastis sama sekali dan struktur 8 lantai yang hanya terdapat 3 sendi plastis pada balok dan sama

sekali tidak terjadi sendi plastis pada kolomnya. Namun pada struktur 12 lantai Desain Kapasitas tetap diperlukan untuk menghindari keruntuhan akibat *soft-storey mechanism*, mengingat telah terjadi sendi plastis pada kolom.