



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN DESAIN ANTARA STRUKTUR GEDUNG
FIXED BASE DAN STRUKTUR GEDUNG TERISOLASI
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR – FAKTOR
STRUKTURAL YANG UTAMA**

SKRIPSI

**YUSHAK MONINGKA
0806454525**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBANDINGAN DESAIN ANTARA STRUKTUR GEDUNG
FIXED BASE DAN STRUKTUR GEDUNG TERISOLASI
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN FAKTOR – FAKTOR
STRUKTURAL YANG UTAMA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil**

**YUSHAK MONINGKA
0806454525**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Yushak Moningka

NPM : 0806454525

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Yushak Moningka

NPM : 0806454525

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Perbandingan Desain antara Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Terisolasi dengan Mempertimbangkan Faktor – Faktor Struktural yang Utama

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA

(.....)

Penguji : Mulia Orientilize S.T., M.Eng

(.....)

Penguji : Dr. Ing. Josia Irwan R.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 26 Juni 2012

KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

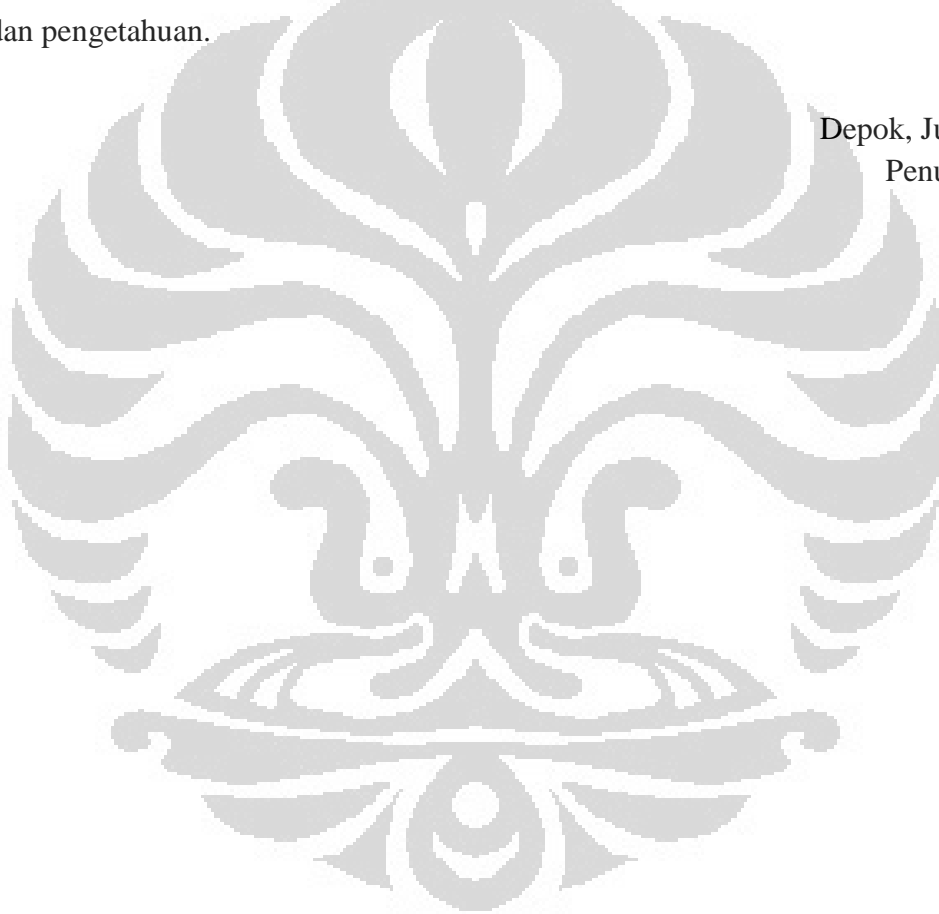
Pertama – tama segala puji syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus untuk segala hikmat, kesehatan, penyertaan, pemeliharaan yang Dia berikan sampai akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi Teknik Sipil – Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sadar bahwa tanpa bimbingan, bantuan, semangat dari berbagai pihak, saya tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini, oleh karena itu melalui ini saya ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Yuskar Lase, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, pikiran untuk saya dalam pembuatan skripsi ini;
2. Seluruh tim dosen dan staf di Departemen Teknik Sipil, terima kasih untuk semua yang telah kalian berikan;
3. Yohanes Weliam dan Henny Claudia Holy, kedua orang tua saya yang selalu memberikan dorongan, semangat, uang jajan, dan doa;
4. Silvanus dan Cinthya Monalisa, kakak dan adik saya yang juga selalu memberi semangat dan menjadi teman ngobrol yang baik ketika penulis merasa jenuh dan tidak ada ide dalam mengerjakan skripsi ini;
5. Tina, Dian, Maisa, Edu, Damar, Rizal, Wisnu, teman – teman seperjuangan asistensi skripsi, terima kasih untuk diskusi, tukar pikiran, dan semangat yang kalian berikan, semoga kedepannya kita dapat terus bekerja sama. Untuk Rizal, terima kasih untuk asupan vitamin C nya setiap minggu;
6. Teman – teman Departemen Teknik Sipil 2008, terima kasih buat kebersamaan kita selama ini, semoga tetap selalu *keep in touch* dan kompak;
7. Teman – teman 1 apartemen yang selalu memberi semangat dan dukungan untuk saya;
8. Keluarga besar GPPS Bahtera Kasih Situbondo, terima kasih untuk doa dan semangat yang diberikan;
9. Irwan dan Melyana beserta anak – anaknya, terima kasih untuk dukungan dan doanya, semoga kedepannya keponakan kalian ini bisa menjadi lebih baik;

10. Batta dan Garlan, terima kasih untuk waktu dan ilmu – ilmu yang telah diberikan, tanpa kalian akan berat bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini. Sukses untuk rencana kuliah S2 (Garlan) dan selamat bekerja di tempat baru (Batta);
11. Widi prameswari, terima kasih untuk sumbangan skripsinya, banyak membantu saya dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan kalian semua. Semoga kedepannya penulisan skripsi ini dapat berguna bagi perkembangan ilmu dan pengetahuan.

Depok, Juni 2012
Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yushak Moningka
NPM : 0806454525
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Perbandingan Desain antara Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Terisolasi dengan Mempertimbangkan Faktor – Faktor Struktural yang Utama

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama dapat tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 Juni 2012

Yang menyatakan



(Yushak Moningka)

ABSTRAK

Nama : Yushak Moningka
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Perbandingan Desain antara Struktur Gedung *Fixed Base* dan Struktur Gedung Terisolasi dengan Mempertimbangkan Faktor – Faktor Struktural yang Utama

Penelitian ini membahas mengenai perbandingan desain antara struktur dengan perletakan biasa dengan yang menggunakan *base isolation (High Damping Rubber Bearing)*. Faktor – faktor struktural tersebut adalah metode desain (*Strength Based Design* dan *Performance Based Design*), *basement*, dan pengaruh P-Delta. Struktur dengan perletakan biasa didesain dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), sedangkan struktur dengan *base isolation* didesain dengan metode *Strength Based Design* dan *Performance Based Design*. Dari hasil penelitian menunjukkan penggunaan *base isolation* dapat meningkatkan periode getar. Struktur terisolasi dengan metode *Strength Based Design* dapat mengurangi gaya gempa, *displacement*, simpangan antar lantai, dan rasio tulangan, dibandingkan dengan struktur SRPMB (konvensional). Pengaruh P-Delta memberikan tambahan gaya geser pada struktur terisolasi, dan penambahan *basement* dalam modelisasi struktur dapat mengurangi gaya geser struktur secara signifikan.

Kata kunci: *Base isolation, Strength Based Design, Performance Based Design*, periode getar, *displacement*, simpangan antar lantai, gaya geser, rasio tulangan

ABSTRACT

Name : Yushak Moningka
Study Program : Civil Engineering
Title : Comparison of Design between Fixed Base Building and Isolated Base Building Considering Significant Structural Factors

This study discusses the design comparison between structure with conventional restraint with the use of base isolation (High Damping Rubber Bearing). Those structural factors are design method (Strength Based Design and Performance Based Design), basement, and effect of P – Delta. Structure with regular restraint is designed with Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) and Special Moment Resisting Frame (SMRF), while structure with base isolation is designed with Strength Based Design and Performance Based Design method. The results shows that the use of base isolation can increase the natural period of structure. Isolated structure with Strength Based Design method can reduce the earthquake forces, displacement, story drift, and rebar ratio, compared with conventional OMRF structure. The effect of P-Delta provides additional shear forces on the isolated structure and the addition of basement in structural modeling can significantly reduce shear forces on the structure.

Keyword: Base isolation, Strength Based Design, Performance Based Design, natural period, displacement, interstory drift, story shear, rebar ratio

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 TUJUAN PENULISAN	2
1.3 METODE PENELITIAN	3
1.4 RUANG LINGKUP PEMBAHASAN.....	3
1.5 HIPOTESIS	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 TEORI DINAMIKA STRUKTUR	6
2.1.1 PERSAMAAN DINAMIK	6
2.1.2 GETARAN BEBAS (<i>FREE VIBRATION</i>)	6
2.1.3 GETARAN PAKSA (<i>FORCED VIBRATION</i>)	8
2.1.4 RESPON SPEKTRUM.....	9
2.2 BASE ISOLATION	11
2.2.1 TIPE – TIPE <i>BASE ISOLATION</i>	12
2.2.2 PERSAMAAN DINAMIK	15
2.3 <i>STRENGTH BASED</i> DAN <i>PERFORMANCE BASED SEISMIC DESIGN</i>	20
2.3.1 <i>STRENGTH BASED SEISMIC DESIGN</i>	20
2.3.2 <i>PERFORMANCE BASED SEISMIC DESIGN</i>	21
2.4 PERSYARATAN DESAIN MENGGUNAKAN <i>BASE ISOLATION</i>	22
2.4.1 DESIGN METHOD	23
2.4.2 PROSEDUR ANALISA STATIK	24
2.4.3 PROSEDUR ANALISA DINAMIK	28
3. METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN	30
3.1 ALUR BERPIKIR	30
3.2 <i>LAYOUT</i> BANGUNAN	31
3.3 PROPERTI MATERIAL.....	32
3.4 PEMBEBANAN STRUKTUR.....	34
3.5 ESTIMASI DIMENSI KOMPONEN	35
3.6 MODELISASI STRUKTUR	40
3.6.1 MODELISASI STRUKTUR KONVENSIONAL.....	40

3.6.2	MODELISASI STRUKTUR DENGAN ISOLATOR (TANPA <i>BASEMENT</i>)	41
3.6.3	MODELISASI STRUKTUR DENGAN ISOLATOR (DENGAN <i>BASEMENT</i>)	42
3.7	SIMULASI.....	43
4.	HASIL DAN ANALISA.....	46
4.1	SIMULASI PERTAMA	46
4.1.1	PERIODE GETAR, SIFAT POLA GETAR, DAN JUMLAH MODE	46
4.1.2	<i>DISPLACEMENT</i> DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI.....	47
4.1.3	GAYA GESER DASAR DAN TINGKAT	54
4.1.4	RASIO TULANGAN LENTUR DAN GESER.....	56
4.2	SIMULASI KEDUA	63
4.2.1	PERIODE GETAR, SIFAT POLA GETAR, DAN JUMLAH MODE	63
4.2.2	<i>DISPLACEMENT</i> ISOLATOR GEMPA	64
4.2.3	GAYA GESER DASAR DAN GAYA GESER TINGKAT.....	65
4.2.4	<i>DISPLACEMENT</i> DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI.....	67
4.2.5	RASIO TULANGAN LENTUR DAN GESER.....	69
4.3	SIMULASI KETIGA	75
4.3.1	PERIODE GETAR, SIFAT POLA GETAR, DAN JUMLAH MODE	75
4.3.2	GAYA GESER DASAR DAN GAYA GESER TINGKAT.....	77
4.3.3	<i>DISPLACEMENT</i> DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI.....	78
4.3.4	PERBANDINGAN <i>DISPLACEMENT</i> ISOLATOR ARAH X DAN Y SIMULASI 3	80
4.3.5	RASIO TULANGAN LENTUR DAN GESER.....	80
4.4	SIMULASI KEEMPAT	87
4.4.1	PERIODE GETAR, SIFAT POLA GETAR, DAN JUMLAH MODE	87
4.4.2	GAYA GESER DASAR DAN GAYA GESER TINGKAT.....	87
4.4.3	<i>DISPLACEMENT</i> DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI.....	89
4.4.4	PERBANDINGAN <i>DISPLACEMENT</i> ISOLATOR ARAH X DAN Y SIMULASI 4	91
4.4.5	RASIO TULANGAN LENTUR DAN GESER.....	92
4.5	SIMULASI KELIMA	98
4.5.1	PERIODE GETAR, SIFAT POLA GETAR, DAN JUMLAH MODE	98
4.5.2	GAYA GESER DASAR DAN TINGKAT	99
4.5.3	<i>DISPLACEMENT</i> DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI.....	101
4.5.4	PERBANDINGAN <i>DISPLACEMENT</i> ISOLATOR ARAH X DAN Y SIMULASI 5	103
4.5.5	RASIO TULANGAN LENTUR DAN GESER.....	103
5.	PENUTUP.....	110
5.1	KESIMPULAN	110
5.2	SARAN.....	110
	DAFTAR PUSTAKA	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan gaya – simpangan (a); hubungan gaya redam – kecepatan (b).....	9
Gambar 2.2 Respon spektrum gempa untuk masing – masing daerah gempa.....	11
Gambar 2.3 Konsep <i>base isolation</i>	12
Gambar 2.4 Jenis <i>standard bearing</i>	13
Gambar 2.5 Jenis <i>anchor bearing</i>	13
Gambar 2.6 Jenis bearing with sliding surface	13
Gambar 2.7 <i>Restrained bearing</i>	14
Gambar 2.8 <i>Low damping natural rubber bearing</i>	14
Gambar 2.9 <i>Lead plug bearing</i>	14
Gambar 2.10 <i>Friction pendulum system</i>	15
Gambar 2.11 Permodelan struktur bangunan yang menggunakan isolator.....	16
Gambar 2.12 <i>Mode Shape 2DOF</i> pada struktur dengan isolator	18
Gambar 3.1 Diagram alur berpikir	30
Gambar 3.2 Denah balok – kolom – pondasi.....	31
Gambar 3.3 Denah tipikal per lantai	32
Gambar 3.4 Pembagian wilayah gempa di Indonesia	35
Gambar 3.5 Potongan struktur konvensional 4 lantai	36
Gambar 3.6 Potongan struktur konvensional 6 lantai	37
Gambar 3.7 Potongan struktur menggunakan <i>base isolation</i> 4 lantai.....	38
Gambar 3.8 Potongan struktur menggunakan <i>base isolation</i> 6 lantai.....	39
Gambar 3.9 Modelisasi struktur konvensional 4 lantai.....	40
Gambar 3.10 Modelisasi struktur konvensional 6 lantai.....	40
Gambar 3.11 Modelisasi struktur dengan isolator 4 lantai	41
Gambar 3.12 Modelisasi struktur dengan isolator 6 lantai	41
Gambar 3.13 Modelisasi struktur dengan isolator + <i>basement</i> 4 lantai	42
Gambar 3.14 Modelisasi struktur dengan isolator + <i>basement</i> 6 lantai	42
Gambar 4.1 Grafik <i>displacement</i> model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1.....	48

Gambar 4.2 Grafik simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 (kondisi layan).....	49
Gambar 4.3 Grafik simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 (kondisi ultimit).....	50
Gambar 4.4 Grafik <i>displacement</i> model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1.....	51
Gambar 4.5 Grafik simpangan antar lantai model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1	52
Gambar 4.6 Grafik perbandingan <i>displacement</i> simulasi 1	53
Gambar 4.7 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 1	54
Gambar 4.8 Perbandingan gaya geser simulasi 1.....	55
Gambar 4.9 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 1.....	57
Gambar 4.10 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 1.....	57
Gambar 4.11 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 1	58
Gambar 4.12 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 1	59
Gambar 4.13 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 1	59
Gambar 4.14 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 1	60
Gambar 4.15 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 1	61
Gambar 4.16 Rasio tulangan total simulasi 1	62
Gambar 4.17 Grafik perbandingan gaya geser simulasi 2	66
Gambar 4.18 Grafik perbandingan <i>displacement</i> simulasi 2	67
Gambar 4.19 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 2	68
Gambar 4.20 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 2.....	69
Gambar 4.21 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 2.....	70
Gambar 4.22 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 2	71
Gambar 4.23 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 2	71
Gambar 4.24 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 2	72
Gambar 4.25 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 2	73
Gambar 4.26 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 2	73
Gambar 4.27 Rasio tulangan total simulasi 2	75
Gambar 4.28 Pengaruh P-Delta pada struktur.....	76
Gambar 4.29 Perbandingan gaya geser simulasi 3	77
Gambar 4.30 Grafik perbandingan <i>displacement</i> simulasi 3	79

Gambar 4.31 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 3	79
Gambar 4.32 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 3.....	81
Gambar 4.33 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 3.....	82
Gambar 4.34 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 3	82
Gambar 4.35 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 3	83
Gambar 4.36 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 3	84
Gambar 4.37 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 3	84
Gambar 4.38 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 3	85
Gambar 4.39 Rasio tulangan total simulasi 3	86
Gambar 4.40 Perbandingan gaya geser simulasi 4	88
Gambar 4.41 Perbandingan <i>displacement</i> simulasi 4	90
Gambar 4.42 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 4	91
Gambar 4.43 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 4.....	92
Gambar 4.44 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 4.....	93
Gambar 4.45 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 4	94
Gambar 4.46 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 4	94
Gambar 4.47 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 4	95
Gambar 4.48 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 4	96
Gambar 4.49 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4	96
Gambar 4.50 Rasio tulangan total simulasi 4	98
Gambar 4.51 Perbandingan gaya geser simulasi 3	100
Gambar 4.52 Perbandingan <i>displacement</i> simulasi 5	101
Gambar 4.53 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 5	102
Gambar 4.54 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 5.....	104
Gambar 4.55 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 5.....	105
Gambar 4.56 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 5	105
Gambar 4.57 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 5	106
Gambar 4.58 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 5	107
Gambar 4.59 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 5	107
Gambar 4.60 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4	108
Gambar 4.61 Rasio tulangan total simulasi 5	109

DAFTAR TABEL

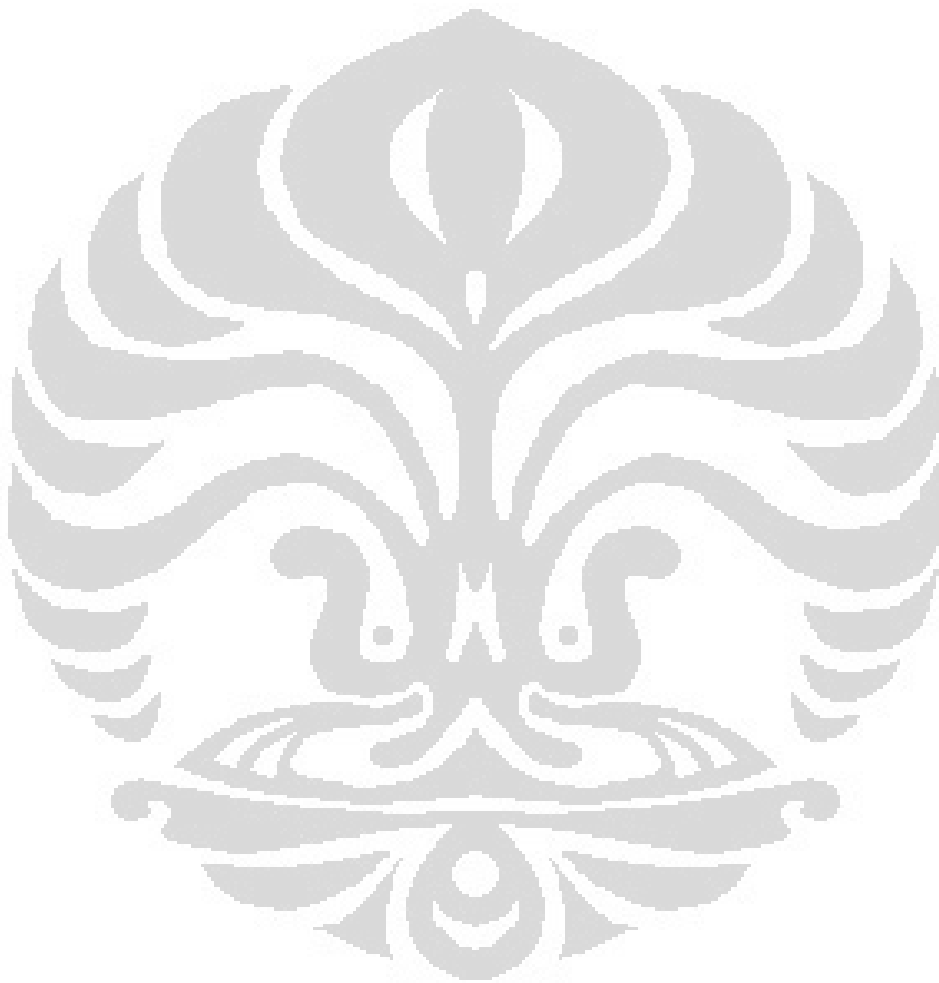
Tabel 2-1 <i>Soil profile types</i>	23
Tabel 2-2 <i>Seismic zone factor Z</i>	24
Tabel 2-3 <i>Seismic coefficient C_{VD}</i>	25
Tabel 2-4 <i>Damping coefficient, B_D and B_M</i>	25
Tabel 2-5 <i>Seismic coefficient, C_{VM}</i>	25
Tabel 2-6 <i>Near source factor N_V</i>	26
Tabel 2-7 <i>Maximum capable earthquake response coefficient, M_M</i>	26
Tabel 3-1 Simulasi model yang akan dianalisa.....	43
Tabel 4-1 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 1	146
Tabel 4-2 <i>Displacement</i> model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa	48
Tabel 4-3 Simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (kondisi layan - meter).....	49
Tabel 4-4 Simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (kondisi ultimit – meter)	49
Tabel 4-5 <i>Displacement</i> model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (meter)	50
Tabel 4-6 Simpangan antar lantai model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa dan batasannya (meter)	51
Tabel 4-7 Perbandingan <i>displacement</i> simulasi 1 (meter)	53
Tabel 4-8 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 1 (meter)	53
Tabel 4-9 Perbandingan gaya geser simulasi 1 (kN)	55
Tabel 4-10 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 1 (kg/m^3).....	56
Tabel 4-11 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 1 (kg/m^3).....	57
Tabel 4-12 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 1 (kg/m^3).....	58
Tabel 4-13 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 1 (kg/m^3).....	58
Tabel 4-14 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 1 (kg/m^3)	59
Tabel 4-15 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 1 (kg/m^3)	60
Tabel 4-16 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 1 (kg/m^3)	60

Tabel 4-17 Total rasio tulangan simulasi 1 (kg/m^3).....	62
Tabel 4-18 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 2	63
Tabel 4-19 Perbandingan <i>displacement</i> isolator arah X dan Y simulasi 2 (meter)	64
Tabel 4-20 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 2 (kN)	66
Tabel 4-21 Perbandingan <i>displacement</i> arah X dan Y simulasi 2 (meter).....	67
Tabel 4-22 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 2 (meter)	68
Tabel 4-23 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 2 (kg/m^3).....	69
Tabel 4-24 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 2 (kg/m^3).....	70
Tabel 4-25 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 2 (kg/m^3).....	70
Tabel 4-26 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 2 (kg/m^3).....	71
Tabel 4-27 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 2 (kg/m^3)	72
Tabel 4-28 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 2 (kg/m^3)	72
Tabel 4-29 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 2 (kg/m^3)	73
Tabel 4-30 Total rasio tulangan simulasi 2 (kg/m^3).....	74
Tabel 4-31 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 3	76
Tabel 4-32 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 3 (kN)	77
Tabel 4-33 Perbandingan <i>displacement</i> arah X dan Y simulasi 3 (meter).....	78
Tabel 4-34 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 3 (meter)	79
Tabel 4-35 Perbandingan <i>displacement</i> isolator arah X dan Y simulasi 3	80
Tabel 4-36 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 3 (kg/m^3).....	81
Tabel 4-37 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 3 (kg/m^3).....	81
Tabel 4-38 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 3 (kg/m^3).....	82
Tabel 4-39 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 3 (kg/m^3).....	83
Tabel 4-40 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 3 (kg/m^3)	83
Tabel 4-41 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 3 (kg/m^3)	84
Tabel 4-42 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 3 (kg/m^3)	85
Tabel 4-43 Total rasio tulangan simulasi 3 (kg/m^3).....	86

Tabel 4-44 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 4	87
Tabel 4-45 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 4 (kN)	88
Tabel 4-46 Perbandingan <i>displacement</i> arah X dan Y simulasi 4 (meter).....	89
Tabel 4-47 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 4 (meter)	90
Tabel 4-48 Perbandingan <i>displacement</i> isolator arah X dan Y simulasi 4	91
Tabel 4-49 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 4 (kg/m ³).....	92
Tabel 4-50 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 4 (kg/m ³).....	93
Tabel 4-51 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 4 (kg/m ³).....	93
Tabel 4-52 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 4 (kg/m ³).....	94
Tabel 4-53 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 4 (kg/m ³)	95
Tabel 4-54 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 4 (kg/m ³)	95
Tabel 4-55 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4 (kg/m ³)	96
Tabel 4-56 Total rasio tulangan simulasi 4 (kg/m ³).....	97
Tabel 4-57 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 5	98
Tabel 4-58 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 5 (kN)	99
Tabel 4-59 Perbandingan <i>displacement</i> arah X dan Y simulasi 5 (meter).....	101
Tabel 4-60 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 5 (meter)	102
Tabel 4-61 Perbandingan <i>displacement</i> isolator arah X dan Y simulasi 5 (meter)	103
Tabel 4-62 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 5 (kg/m ³).....	104
Tabel 4-63 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 5 (kg/m ³).....	104
Tabel 4-64 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 5 (kg/m ³).....	105
Tabel 4-65 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 5 (kg/m ³).....	106
Tabel 4-66 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 5 (kg/m ³)	106
Tabel 4-67 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 5 (kg/m ³)	107
Tabel 4-68 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 5 (kg/m ³)	108
Tabel 4-69 Total rasio tulangan simulasi 5 (kg/m ³).....	109

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Denah isolator	112
Lampiran 2. Periode getar dan partisipasi massa	113
Lampiran 3. Pengecekan gaya geser statik vs dinamik	114
Lampiran 4. Perhitungan <i>Performance Based Design</i>	115



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan karena lokasi Indonesia, baik ditinjau secara geografis maupun geologis terletak di titik yang rawan gempa. Ditinjau secara geografis, Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng India – Australia. Sedangkan ditinjau secara geologis, Indonesia berada pada pertemuan dua jalur gempa utama, yaitu jalur gempa sirkum pasifik dan jalur gempa *Alpide Transiatic*. Akibat letaknya ini, maka frekuensi terjadinya gempa di Indonesia cukup besar sehingga bangunan – bangunan yang ada harus dirancang untuk mampu menahan gaya gempa.

Dalam mengantisipasi gaya gempa yang bekerja, ada filosofi yang banyak digunakan hampir di seluruh belahan dunia, yaitu:

1. Pada gempa dengan skala kecil, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan.
2. Pada gempa dengan skala sedang, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan pada komponen struktural, sedangkan pada komponen non – struktural boleh rusak.
3. Pada gempa dengan skala besar, komponen struktural boleh rusak tetapi bangunan tidak boleh sampai runtuh untuk meminimalisir jumlah korban jiwa yang terjadi.

Desain bangunan tahan gempa di Indonesia masih menggunakan sistem yang konvensional. Perencanaan konvensional ini meliputi bangunan dengan menggunakan *shear wall* (elemen struktural yang digunakan untuk menahan gaya horizontal/ *shear forces* yang sejajar dengan bidang miring) ataupun *bracing* (pengaku yang digunakan untuk menahan gaya lateral). Kedua fungsi dari sistem ini adalah untuk meningkatkan kekuatan bangunan terhadap gaya lateral atau gaya gempa. Seiring dengan berjalannya waktu, maka penemuan – penemuan akan metode baru dalam bidang bangunan tahan gempa semakin berkembang. Jika sebelumnya menggunakan prinsip menambah perkuatan pada struktur bangunan

menggunakan konsep – konsep di atas, maka sekarang difokuskan kepada bagaimana cara memutus energi gempa atau mereduksi gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut agar tidak memberikan efek yang signifikan terhadap struktur bangunan sehingga struktur tetap aman.

Pada dasarnya pengontrol respon struktur dapat dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu kontrol aktif, kontrol aktif *hybrid* (semi aktif), dan kontrol pasif. Kontrol aktif menggunakan energi listrik untuk menghasilkan gaya kontrol, sedangkan kontrol pasif lebih mengandalkan energi potensial yang dibangkitkan oleh respon struktur untuk menghasilkan gaya kontrol. Kelebihan dari kontrol pasif dibandingkan dengan kontrol aktif adalah lebih sederhana dalam hal desain, pemasangan, dan pemeliharaan. Selain itu juga tidak membutuhkan energi luar sehingga lebih ramah lingkungan.

Salah satu metode yang untuk mereduksi gaya gempa adalah dengan menggunakan *base isolation*. *Base isolation* termasuk ke dalam kontrol pasif. *Base isolation* atau *seismic base isolation* adalah suatu bantalan isolasi yang berfungsi untuk meredam getaran bumi selama gempa mengguncang. Bantalan tersebut diletakkan di bagian bawah, yaitu antara kolom dengan pondasi. Sistem isolasi ini memisahkan struktur bangunan atas dengan pondasinya sehingga bila terjadi gempa, maka gaya gempa yang diterima pondasi tidak langsung ke kolom melainkan akan diredam oleh bantalan tersebut.

Ada banyak sekali jenis – jenis *base isolation*, salah satunya adalah *high damping rubber bearing*. Bahan ini secara umum tersusun atas tiga material, yaitu karet, lempengan atau lapisan baja, dan *lead*. *Elastomeric bearing* dapat diaplikasikan pada struktur gedung yang tidak terlalu tinggi. *Elastomeric bearing* didesain untuk menahan *axial forces* dan *shear forces*. Dengan menggunakan alat ini juga memungkinkan terjadinya *displacement* pada bangunan sebagai akibat dari deformasi yang terjadi pada *elastomeric bearing* yang disebabkan oleh gaya gempa.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis perilaku struktur gedung perkantoran yang menggunakan sistem konvensional dengan

yang menggunakan *base isolation* berupa *high damping rubber bearing* menggunakan bantuan *software* ETABS 9.6.

1.3 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini dilakukan menggunakan tahapan – tahapan sebagai berikut:

1.3.1 Pencarian literatur – literatur yang berkaitan dengan topik penulis.

Sumber yang diperoleh berupa jurnal, buku, dan juga tugas akhir. Literatur diperoleh baik secara *online* ataupun secara manual di perpustakaan.

1.3.2 Perancangan permodelan struktur

Pada tahap ini penulis merancang struktur bangunan secara tiga dimensi yang kemudian akan dianalisa.

1.3.3 Input data ke *software*

Penulis melakukan input data – data ke *software* ETABS 9.6.

1.3.4 Simulasi

Pada tahap ini diperoleh hasil berupa periode getar, gaya geser, *displacement* struktur dan isolator, dan tulangan.

1.3.5 Analisa dan kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap output yang diperoleh dan dibuat kesimpulan.

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Pembahasan pada skripsi ini adalah permodelan struktur gedung empat – enam lantai secara tiga dimensi. Simulasi yang dilakukan meliputi struktur gedung konvensional (tidak menggunakan *base isolation*) dan struktur gedung yang menggunakan *base isolation* berupa *high damping rubber bearing*. Pengamatan dilakukan pada struktur portal di atas isolator. Analisa dilakukan untuk mendapatkan respon struktur yang meliputi *dynamic behavior* dari struktur, nilai gaya geser, dan juga *displacement* struktur dan isolator, dan juga rasio tulangan kolom dan balok (tulangan diolah langsung dari output program tanpa

memperhitungkan pertimbangan praktis di lapangan). *Software* bantuan yang digunakan untuk menganalisis adalah ETABS 9.6.

1.5 Hipotesis

Struktur gedung terisolasi yang dianalisa menggunakan *Strength Based Design* akan memiliki kinerja atau *performance* yang lebih baik dibanding struktur gedung konvensional (SRPMB). Selain itu gaya – gaya dalamnya juga akan lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur gedung konvensional sehingga rasio tulangan yang dibutuhkan akan semakin sedikit. Struktur terisolasi yang dianalisa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta akan menghasilkan nilai gaya geser yang lebih besar. Begitu pula dengan struktur gedung yang dimodelkan tanpa *basement* akan menghasilkan gaya geser yang lebih besar.

1.6 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan skripsi, metode penelitian, ruang lingkup pembahasan, dan juga hipotesis awal.

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini penulis menjelaskan teori – teori yang berkaitan dengan topik skripsi yaitu gempa, persyaratan desain struktur gedung konvensional dan struktur gedung yang menggunakan *base isolation*.

Bab III Metode Penelitian dan Permodelan

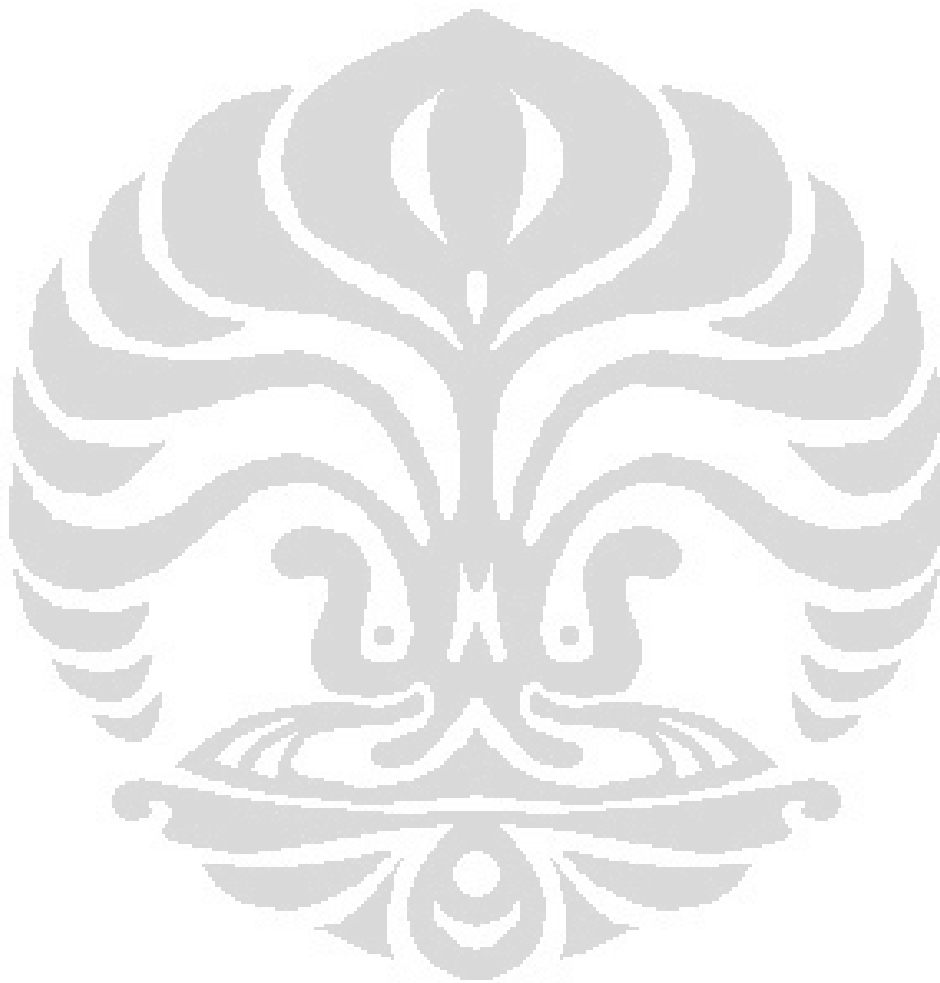
Pada bab ini penulis menjelaskan tentang kerangka berpikir dalam skripsi ini, jenis – jenis parameter yang akan digunakan dalam perhitungan dan penjabaran dari hasil perhitungan. Data bangunan yang meliputi dimensi dan juga permodelannya akan dijabarkan pula pada bab ini.

Bab IV Proses Simulasi dan Analisa

Pada bab ini penulis menjelaskan mengenai hasil dari proses simulasi menggunakan *software* ETABS 9.6 dan analisa perilaku struktur bangunan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini penulis memberikan kesimpulan dari hasil penelitian (skripsi) dan juga saran yang tentunya berguna untuk perkembangan dunia konstruksi.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dinamika Struktur

2.1.1 Persamaan dinamik

Gempa bumi merupakan gaya dinamik yang nilai gayanya tidak sama dengan yang sebelumnya, disebut gaya dinamik nondeterministik. Oleh karena gempa bumi merupakan gaya dinamik, maka perhitungannya pun harus menggunakan metode perhitungan dinamik. Persamaan umum kesetimbangan dinamik dari sebuah struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF) adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{p(t)\} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$[M]$ = matriks massa (simetris dan semi definit positif)

$[C]$ = matriks redaman (simetris dan semi definit positif)

$[K]$ = matriks kekakuan (simetris dan definit positif)

$\{\ddot{u}\}$ = vektor percepatan struktur

$\{\dot{u}\}$ = vektor kecepatan struktur

$\{u\}$ = vektor perpindahan struktur

$\{p(t)\}$ = vektor gaya dinamik

2.1.2 Getaran bebas (*free vibration*)

Getaran bebas pada sistem terjadi akibat bekerjanya gaya pada sistem itu sendiri tanpa adanya pengaruh dari luar. Suatu sistem akan mengalami getaran bebas jika sistem tersebut diganggu dari kesetimbangannya dan dibiarkan bergetar secara bebas.

Getaran bebas dibagi menjadi dua yaitu:

a. Getaran bebas tak teredam

Karena sistem tidak memiliki redaman, maka persamaan dinamikanya menjadi:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.2)$$

Persamaan lendutan:

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) \quad (2.3)$$

Dengan $\{\phi_n\}$ adalah vektor pola getar yang tidak bervariasi terhadap waktu dan $q_n(t)$ adalah koordinat modal ke-n yang bervariasi terhadap waktu.

Persamaan variasi perpindahan:

$$q_n(t) = A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t \quad (2.4)$$

Bila persamaan (2.4) disubstitusi ke persamaan (2.3) maka akan menghasilkan persamaan baru:

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} A_n \sin \omega_n t + B_n \cos \omega_n t \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) disubstitusi ke persamaan (2.2) akan menghasilkan:

$$-\omega_n^2 [M] \{\phi_n\} q_n(t) + [K] \{\phi_n\} q_n(t) = 0 \quad (2.6)$$

Berbeda dengan sistem SDOF, untuk sistem MDOF nilai ω_n yang dihasilkan jumlahnya lebih dari satu.

$$(-\omega_n^2 [M] + [K]) (-\omega_n^2 [M] + [K]) \{\phi_n\} = 0 = 0 \quad (2.7)$$

$\{\phi_n\}$ merupakan vektor eigen sehingga persamaan di atas akan menghasilkan solusi non-trivial jika:

$$|-\omega_n^2 [M] + [K]| = 0 \quad (2.8)$$

Dari persamaan di atas maka akan didapat nilai – nilai dari ω_n dengan $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \omega_n$. Nilai ω_n tadi dapat digunakan untuk mencari nilai ϕ_n yang merupakan *shape mode* dari sistem.

Persamaan lendutan merupakan fungsi dari $\{\phi_n\}$ dalam fungsi waktu.

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) \quad (2.9)$$

$$\{\ddot{u}_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) \quad (2.10)$$

Persamaan (2.11) disubstitusi ke persamaan (2.3) akan menghasilkan:

$$\sum_{n=1}^N \ddot{q}_n [M] \{\phi_n\} + \sum_{n=1}^N q_n [K] \{\phi_n\} = 0 \quad (2.11)$$

Lalu dilakukan *premultiply* dengan $\{\phi_n\}$ akan menghasilkan:

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} \quad (2.12)$$

Karena pada analisa getaran bebas pola getar yang terjadi harus orthogonal, maka persamaannya menjadi:

$$M_n \ddot{q}_n + K_n q_n = P_n \quad (2.13)$$

b. Getaran bebas teredam

Persamaan dinamikanya adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.14)$$

Terdapat dua kondisi untuk $[C]$, yaitu:

- *Classical damping*
Jika $[C]$ merupakan matriks orthogonal.
- *Non classical damping*
Jika $[C]$ tidak merupakan matriks orthogonal.

2.1.3 Getaran paksa (*forced vibration*)

Getaran paksa diakibatkan oleh adanya gaya luar yang bekerja sehingga sistem tersebut mengalami getaran. Getaran paksa dibagi menjadi dua yaitu:

a. Getaran paksa tak teredam

Persamaan dinamikanya adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\ddot{u}_{g(t)} \quad (2.15)$$

Analisa modalnya adalah:

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} \quad (2.16)$$

Maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = \{P\} \quad (2.17)$$

Dilakukan *premultiplying* dengan $\{\phi_r\}^T$ sehingga persamaan menjadi:

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \{\phi_r\}^T \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = \{\phi_r\}^T \{P\} \quad (2.18)$$

Persamaan modal untuk eksitasi gempa:

$$\ddot{D}_n + \omega_n^2 = \phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_{g(t)} \quad (2.19)$$

Dengan

$$q_{n(t)} = \Gamma_n D_{n(t)} \quad (2.20)$$

Maka total kontribusi dari mode ke-n pada nilai lendutan adalah:

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \Gamma_n D_{n(t)} \quad (2.21)$$

$$\{s\} = [M] \{i\} \quad (2.22)$$

$$[M] \{i\} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.23)$$

Dengan

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} ; L_n = \{\phi_n\}^T [M] \{i\} ; M_n = \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \quad (2.24)$$

Maka:

$$\{s_n\} = \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.25)$$

b. Getaran paksa teredam

Persamaan dinamikanya adalah:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\ddot{u}_{g(t)} \quad (2.26)$$

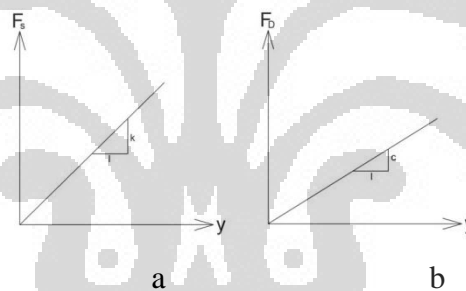
Persamaan modal untuk eksitasi gempa adalah:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta\omega_n\dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = \phi_n^T [M]\{i\}\ddot{u}_{g(t)} \quad (2.27)$$

2.1.4 Respon spektrum

Respon spektrum adalah suatu plot antara nilai – nilai respon maksimum terhadap periode getar struktur dengan redaman dan beban gempa tertentu.

Karena struktur berperilaku elastis maka antara kekakuan dan simpangan masih mempunyai hubungan yang lurus (linear). Koefisien redaman (c) umumnya juga dianggap mempunyai hubungan yang linier dengan kecepatan. Hubungan antara gaya – simpangan dan gaya redam – kecepatan ditunjukkan pada gambar di bawah:



Gambar 2.1 Hubungan gaya – simpangan (a); hubungan gaya redam – kecepatan (b)

Dengan demikian gaya elastik akan berbanding lurus dengan simpangan, dan gaya redam akan berbanding lurus dengan kecepatan.

Respon spektrum dapat digambarkan melalui tiga fungsi, yaitu fungsi perpindahan, fungsi kecepatan, dan fungsi percepatan. Setiap respon spektrum digambarkan dengan suatu rasio redaman, sehingga variasi respon dapat ditulis sebagai berikut:

$$u_0(T_n, \xi) \equiv \max|u(t, T_n, \xi)| \quad (2.28)$$

$$\dot{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max|\dot{u}(t, T_n, \xi)| \quad (2.29)$$

$$\ddot{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max|\ddot{u}(t, T_n, \xi)| \quad (2.30)$$

Untuk mendapatkan respon total dari struktur tersebut, maka dapat menggunakan tiga metode, yaitu:

1. Metode ABS (*Absolute Sum*)

Metode ini adalah menjumlahkan nilai mutlak dari setiap respon pola getar. Hasil perhitungan dari metode ABS akan memberikan nilai respon yang jauh lebih besar dibanding metode – metode yang lain.

$$r_0 \approx \sum_{n=1}^N |r_{n0}| \quad (2.31)$$

2. Metode SRSS (*Square Root of the Sum Square*)

Metode ini cukup sering dipakai dalam analisa karena memberikan hasil yang jauh lebih akurat dan mendekati hasil perhitungan dari *time history* bilamana struktur mempunyai frekuensi natural yang teratur.

$$r_0 \approx \sqrt{\sum_{n=1}^N r_{n0}^2} \quad (2.32)$$

3. Metode CQC (*Complete Quadratic Combination*)

Dengan menggunakan metode CQC, maka hasil yang akan diperoleh akan sangat mendekati hasil perhitungan menggunakan metode *time history* dan lebih akurat dibandingkan dengan metode SRSS. Metode ini akan memberikan hasil yang optimal bila jarak antara periode naturalnya (T_n) saling berdekatan. Jika periodenya berjauhan maka hasil perhitungannya akan mirip dengan metode SRSS.

$$r_0 \approx \sqrt{\sum_{n=1}^N r_{n0}^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{i0} r_{n0}} \quad (2.33)$$

$$\text{dengan } \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N i \neq n \quad (2.34)$$

Keterangan:

r_0 = respon maksimum total

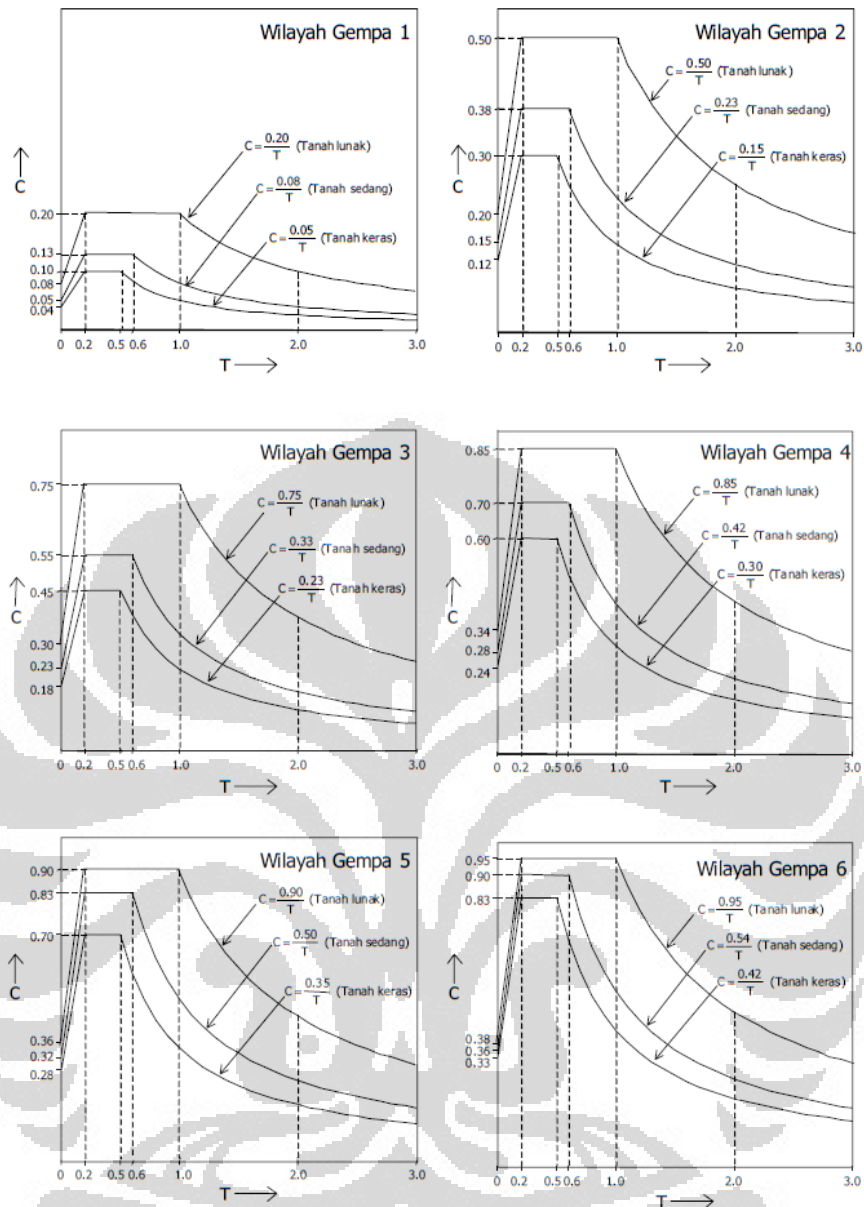
r_{n0} = respon maksimum mode ke-n

r_{i0} = respon maksimum mode ke-i

$$\rho_{in} = \frac{8\xi^2(1 + \beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1 - \beta_{in}^2) + 4\xi^2\beta_{in}(1 + \beta_{in})^2}$$

$$\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n} = \frac{T_n}{T_i}$$

Setiap wilayah gempa mempunyai respon spektrum gempa masing – masing, yaitu:



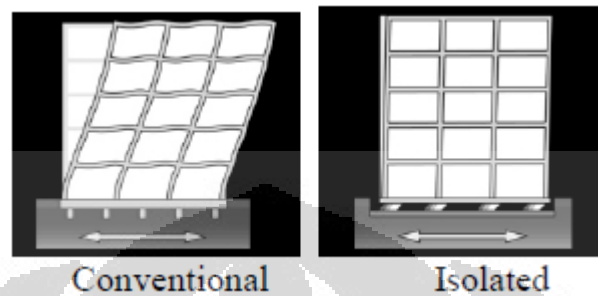
Gambar 2.2 Respon spektrum gempa untuk masing – masing daerah gempa

2.2 Base Isolation

Konsep sederhana dari *base isolation* adalah untuk memisahkan antara struktur bangunan dengan tanah atau pondasi sehingga gaya gempa dapat diputus dan tidak diteruskan ke struktur bangunan atau dengan kata lain tanah bergerak tetapi struktur tetap diam.

Selama gempa berlangsung, struktur konvensional yang tidak menggunakan *base isolation* akan mengalami *substantial storydrift* dimana akan terjadi *displacement* yang cukup besar pada puncak bangunan dan ada

kemungkinan menyebabkan terjadinya *collapse*. Untuk struktur yang menggunakan *base isolation*, *displacement* yang terjadi pada bangunan jauh lebih kecil dari struktur konvensional karena gaya gempa dari tanah akan terputus di *base isolation* sehingga gaya yang sampai ke struktur akan jauh lebih kecil.



Gambar 2.3 Konsep *base isolation*

Base isolation merupakan sistem kontrol pasif pada struktur bangunan yang proses kerjanya lebih mengandalkan energi potensial yang dibangkitkan oleh respon struktur untuk menghasilkan gaya kontrol. Oleh karena kontrol pasif ini tidak memerlukan energi luar, maka penggunaannya lebih menguntungkan.

2.2.1 Tipe – tipe *base isolation*

Ada banyak sekali tipe dari *base isolation* yang terdapat di pasaran, tetapi secara umum tipe – tipe *base isolation* yang sering dipakai terdiri dari:

1. *Elastomeric – Based System*

Pada awalnya jenis ini hanya menggunakan bantalan karet polos tanpa ada bahan lain. Perkembangan selanjutnya, alat ini dimodifikasi dengan menggunakan tambahan pelat baja yang disisipkan di dalam karet. Tipe dari *elastomeric bearing* adalah:

a. *Standard bearing*

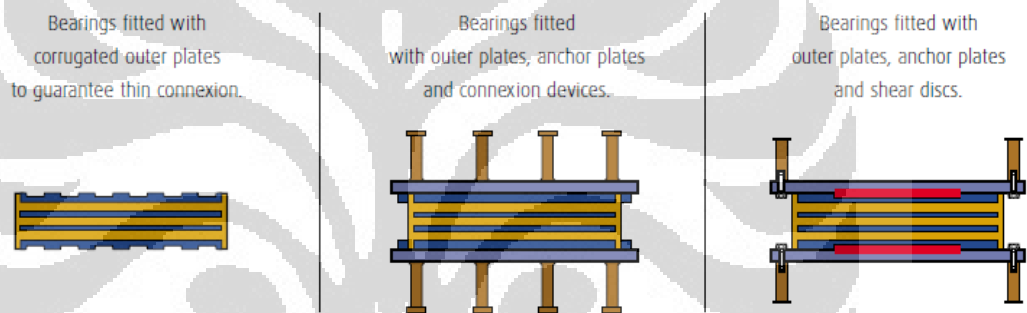
Bantalan karet yang disisipkan pelat baja dengan tebal penutup sekitar 2,5 mm (tipe B). ada juga *standard bearing* yang bantalan penutupnya tidak menggunakan karet seperti tipe B, melainkan menggunakan pelat baja, disebut tipe C.

Gambar 2.4 Jenis *standard bearing*

Bentuk *elastomeric bearing* bermacam – macam, ada yang berbentuk bujur sangkar, persegi, dan lingkaran.

b. *Bearing* yang dilengkapi dengan pelat angkur

Penggunaan *bearing* dengan tipe ini dikhususkan untuk struktur – struktur yang mengalami gaya lateral yang besar sehingga membutuhkan pengankuran yang lebih kuat.

Gambar 2.5 Jenis *anchor bearing*

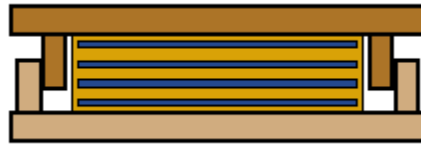
c. *Bearing* dengan permukaan yang dapat bergeser (*sliding surface*)

Laminated elastomeric bearing (*bearing* dengan sisipan pelat baja) dapat pula dikombinasikan dengan *sliding surface* yang terdiri dari *PTFE sheet* (*polytetrafluorethylene*) yang diletakkan di atas permukaan *bearing*.

Gambar 2.6 Jenis *bearing* with sliding surface

d. *Restrained bearing*

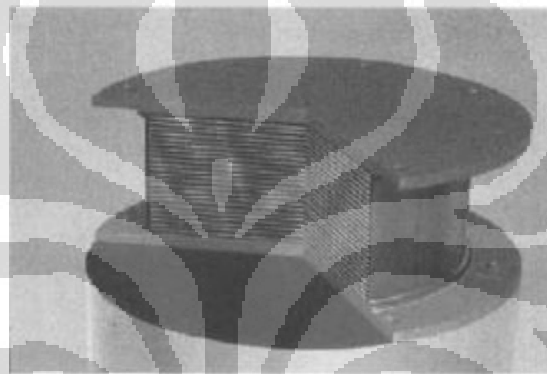
Digunakan pada struktur yang mengalami gaya horizontal yang besar pada arah tertentu.



Gambar 2.7 *Restrained bearing*

2. *Low Damping Natural Rubber bearing (LDRB)*

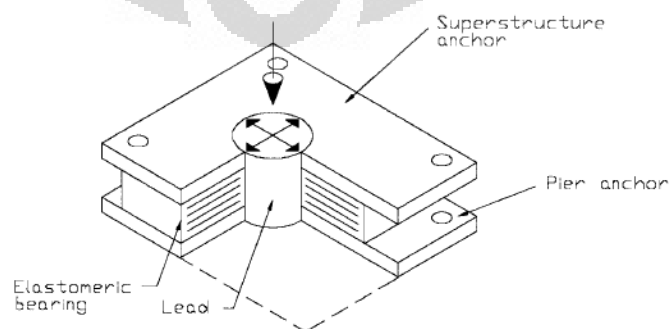
alat ini dilengkapi dengan dua pelat baja tebal yang terdapat pada sisi atas dan bawahnya. Pengisi pada bagian dalamnya terdiri dari banyak pelat baja tipis. Penggunaan alat ini banyak dijumpai di Jepang.



Gambar 2.8 *Low damping natural rubber bearing*

3. *Lead Plug Bearing (LRB)*

Mirip seperti LDRB, tetapi LRB memiliki *lead* (metal) yang dimasukkan ke dalam lubang yang terdapat pada *bearing*. Fungsi dari *lead* adalah untuk menambah kekakuan dari *bearing* tersebut. Alat ini telah terbukti kehandalannya pada gedung – gedung yang mengalami gempa Northridge 1994 dan gempa Kobe 1995.



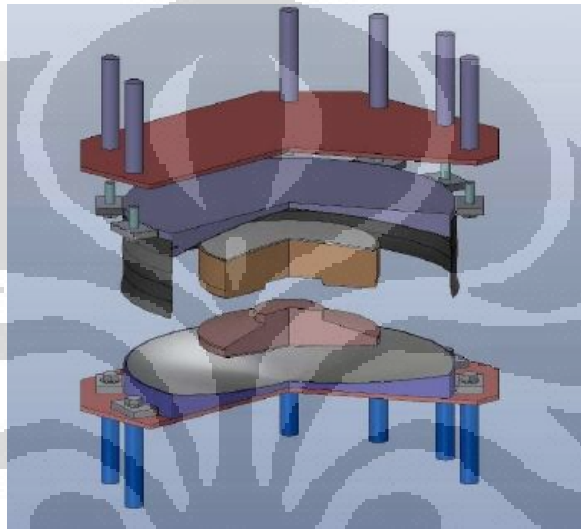
Gambar 2.9 *Lead plug bearing*

4. *High Damping Natural Rubber*

Prinsip dari alat ini adalah untuk meningkatkan *damping coefficient* dengan cara menambahkan material lain seperti *carbon block* dan *oil* ke dalam lubang pengisi.

5. *Friction Pendulum System*

sistem isolasi *seismic* yang menggunakan prinsip gerak pendulum. Bila terjadi gempa, maka struktur bangunan tersebut akan bergeser seperti gerak pendulum dan akan kembali ke posisi semula setelah gaya gempa tersebut hilang.



Gambar 2.10 *Friction pendulum system*

2.2.2 Persamaan dinamik

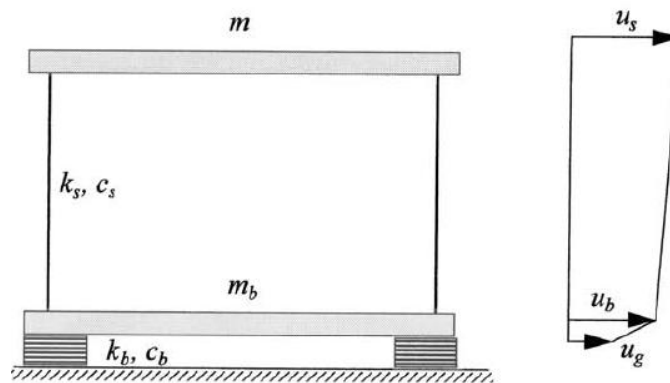
Kelakuan dari struktur yang menggunakan *base isolation* dapat diperoleh dengan menggunakan 2 DOF, yaitu m merepresentasikan berat struktur bangunan atau *superstructure*, m_b merepresentasikan berat struktur bangunan lantai dasar di atas *base isolation system*. Kekakuan dan redaman dari struktur direpresentasikan dengan k_s dan c_s ; kekakuan dan redaman dari *isolation system* direpresentasikan dengan k_b dan c_b . perpindahan absolut dinotasikan dengan u_s dan u_b , tetapi untuk mempermudah maka digunakan perpindahan relatif yang diperoleh dari:

$$v_b = u_b - u_g \quad v_s = u_s - u_b \quad (2.35)$$

Maka persamaan dinamiknya adalah:

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g \quad (2.36)$$

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_b = -m\ddot{u}_g \quad (2.37)$$



Gambar 2.11 Permodelan struktur bangunan yang menggunakan isolator

Sistem persamaan 2 – DOF ini dapat dipecahkan secara langsung atau melalui dekomposisi modal yang sesuai dengan respons sistem terisolasi dan dapat digunakan untuk lebih memperinci model yang ada.

Untuk mengembangkan frekuensi dan faktor partisipasi dari sistem, persamaan dapat dituliskan dalam bentuk matriks, yaitu:

$$M^* \ddot{v}^* + C^* \dot{v}^* + K^* v^* = -M^* r^* \ddot{u}_g \quad (2.38)$$

Dimana:

$$M^* = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \quad C^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix} \quad K^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}$$

$$v^* = \begin{bmatrix} v_b \\ v_s \end{bmatrix} \quad r^* = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

Dalam hal ini $M = m + m_b$

Jika kita mengasumsikan derajat besaran berikut sesuai dengan perkiraan, maka:

- $m_b < m$.
- $\omega_s = (k_s/m)^{1/2} \gg \omega_b = (k_b/M)^{1/2}$ dan didefinisikan $\varepsilon = (\omega_b / \omega_s)^2$ dan asumsi bahwa ε adalah derajat besaran 10^{-2} .
- Faktor redaman untuk struktur dan sistem terisolasi adalah β_s dan β_b , dimana $\beta_s = c_s / (2m\omega_s)$ dan $\beta_b = c_b / (2M\omega_b)$ mempunyai derajat besaran yang sama teradap ε .

Mode alamiah dari sistem yang tak teredam $\Phi^n = (\phi_b^n, \phi_s^n)^T; n = 1, 2$ diberikan oleh:

$$(-\omega_n^2 + \omega_b^2)\phi_b^n + (-\gamma\omega_n^2)\phi_s^n = 0 \quad (2.40)$$

dan

$$(-\omega_n^2)\phi_b^n + (-\omega_n^2 + \omega_b^2)\phi_s^n = 0 \quad (2.41)$$

dimana ω_n adalah frekuensi dari mode, dan $\gamma = m/M$ adalah rasio massa lebih kecil dari 1. Persamaan karakteristik untuk ω_n adalah:

$$(1 - \gamma)\omega_n^4 - (\omega_b^2 + \omega_s^2)\omega_n^2 + \omega_b^2\omega_s^2 = 0 \quad (2.42)$$

Dua akar persamaan terkecil ini (ω_1 dan ω_2) akan dihasilkan oleh ω_b^* , yang menunjukkan frekuensi isolasi yang bergeser dan akar tertinggi ω_s^* , yang menunjukkan frekuensi struktural yang dimodifikasi akibat adanya sistem isolasi. Akar yang eksak diberikan oleh:

$$\left\{ \begin{matrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ (\omega_s^2 - \omega_b^2) \pm [(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 - 4(1-\gamma)\omega_s^2\omega_b^2]^{1/2} \right\} \quad (2.43)$$

Jika diperhitungkan $\omega_b \ll \omega_s$, akar persamaan dapat dituliskan kembali menjadi:

$$(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2 \left[1 + 4\gamma \frac{\omega_s^2\omega_b^2}{(\omega_s^2 - \omega_b^2)^2} \right] \quad (2.44)$$

Bila dilakukan ekspansi seri binomial untuk memperoleh derajat yang sama dengan ε menghasilkan:

$$\omega_1^2 = \omega_b^{*2} = \omega_b^2 \left(1 - \gamma \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \quad (2.45)$$

dan

$$\omega_2^2 = \omega_s^{*2} = \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} \left(1 + \gamma \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \right) \quad (2.46)$$

Pada banyak kasus cukup akurat untuk mengambil ω_b^* , ω_s^* suku pertamanya saja, sehingga:

$$\omega_b^* = \omega_b \quad (2.47)$$

dan

$$\omega_s^* = \frac{\omega_s}{(1-\gamma)^{1/2}} \quad (2.48)$$

Ini menunjukkan bahwa frekuensi isolasi hanya berubah sedikit disebabkan fleksibilitas pada struktur, dengan derajat ε , sedangkan frekuensi struktur meningkat cukup signifikan oleh keberadaan masa *base isolator*. Pemisahan antara frekuensi isolasi dan frekuensi struktur *fixed base* meningkat oleh kombinasi dua elemen.

Bentuk mode Φ^I diberikan oleh:

$$(-\omega_b^{*2} + \omega_b^2)\phi_b^I + (-\gamma\omega_b^{*2})\phi_s^I = 0 \quad (2.49)$$

atau

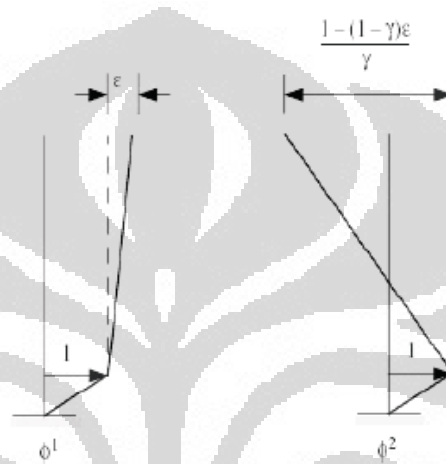
$$-\omega_b^{*2}\phi_b^1 + (\omega_s^2 - \omega_b^{*2})\phi_s^1 = 0 \quad (2.50)$$

Dan jika mengabaikan suku dari derajat ε dan mengambil $\phi_b^1 = 1$, maka diperoleh:

$$\phi^1 = \begin{Bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{Bmatrix} \quad (2.51)$$

Untuk menyamakan derajat dari ε diperoleh:

$$\phi^2 = \begin{Bmatrix} 1 \\ \frac{1-(1-\gamma)\varepsilon}{\gamma} \end{Bmatrix} \quad (2.52)$$



Gambar 2.12 *Mode Shape 2DOF* pada struktur dengan isolator

Dari *mode shape* di atas dapat dilihat bahwa struktur hampir kaku pada ϕ^1 , dimana ϕ^2 meliputi deformasi pada struktur dan sistem terisolasi. Perpindahan atas dari struktur mempunyai derajat yang sama dengan perpindahan dasar, tetapi dalam arah yang berlawanan.

Ketika dua mode dari ϕ^1 dan ϕ^2 diperoleh, perpindahan relative, v_b dan v_s dapat ditulis sebagai berikut:

$$v_b = q_1\phi_b^1 + q_2\phi_b^2 \quad (2.53)$$

dan

$$v_s = q_1\phi_s^1 + q_2\phi_s^2 \quad (2.54)$$

Maka persamaan matriks menjadi:

$$q_2 + 2\omega_b^*\beta_b^*q_1 + \omega_b^{*2}q_1 = -L_1u_g \quad (2.55)$$

dan

$$q_1 + 2\omega_s^*\beta_s^*q_2 + \omega_b^{*2}q_2 = -L_2u_g \quad (2.56)$$

Dimana redaman dari sistem secara implisit diasumsikan cukup rendah untuk menjamin sifat ortogonalitas mode. Faktor partisipasi, L_1 dan L_2 untuk dua mode pada persamaan di atas diberikan oleh:

$$L_n = \frac{\phi^{nT} M^* r^*}{\phi^{nT} M^* \phi^n} \quad (2.57)$$

Perhitungan dari L_1 meliputi perkalian matriks sebagai berikut:

$$L_1 M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = M + m\varepsilon \quad (2.58)$$

dimana

$$M_1 = (1, \varepsilon) \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{bmatrix} = M + 2m\varepsilon + m\varepsilon^2 \quad (2.59)$$

Dengan mempertahankan suku tingkat ε , didapat:

$$L_1 = 1 - \gamma\varepsilon \quad (2.60)$$

Masa efektif pada mode pertama diberikan oleh:

$$M_1^{eff} = \frac{(L_1 M_1)^2}{M_1} \quad (2.61)$$

Adalah derajat yang sama:

$$M_1^{eff} = M[1 - \gamma(1 - \gamma)\varepsilon^2] \quad (2.62)$$

Atau terhadap derajat ε , $M_1^{eff} \approx M$. perhitungan yang sama untuk L_2 diberikan sebagai berikut:

$$L_2 M_2 = M + ma \quad (2.63)$$

dimana

$$M_2 = M + 2ma + a^2 m \quad (2.64)$$

dan

$$a = -\frac{1}{\gamma} [1 - (1 - \gamma)\varepsilon] \quad (2.65)$$

$$\gamma = \frac{m}{M} \quad (2.66)$$

jadi

$$M_2 = M \frac{(1-\gamma)[1-2(1-\gamma)\varepsilon]}{\gamma} \quad (2.67)$$

dan

$$L_2 M_2 = M(1 - \gamma)\varepsilon \quad (2.68)$$

dimana

$$L_2 = \gamma\varepsilon \quad (2.69)$$

Bersama dengan pergeseran dalam frekuensi, hasil ini menunjukkan mengapa sistem isolasi adalah efektif.

Faktor partisipasi untuk mode kedua, L2, dimana meliputi deformasi struktur dan dengan derajat ε adalah sangat kecil bila frekuensi awal (ω_b , ω_s) adalah terpisah dengan baik.

Ketika frekuensi mode kedua bergeser menjadi lebih besar daripada frekuensi dasar yang terjepit, ini akan membawa struktur terisolasi keluar dari rentang erakan gempa kuat jika masukan gempa mempunyai percepatan spektrum dominan pada frekuensi struktur awal. Terlebih lagi faktor partisipasi untuk mode kedua adalah sangat kecil, mode ini hampir orthogonal terhadap karakteristik masukan gempa oleh $r^* u_g$, sebagai Φ^1 dan r^* hanya berbeda oleh ε , contoh:

$$\Phi^{1T} = [1 \quad \varepsilon] \quad \text{dan} \quad r^{*T} = [1 \quad 0] \quad (2.70)$$

Jadi

$$r^* = \Phi^1 \quad (2.71)$$

dengan ortogonalitas $\Phi^{nT} M \Phi^1 = 0$ untuk $n \neq 1$ menunjukkan bahwa $\Phi^{nT} M r^* = 0$.

Karena itu, bahkan jika gempa benar – benar mempunyai energi pada frekuensi mode kedua, pergerakan tanah tidak akan ditransfer ke dalam struktur. Sistem isolasi seismik bekerja tidak menyerap energi, melainkan mengelakkan energi melalui sifat ortogonalitas ini.

2.3 *Strength Based dan Performance Based Seismic Design*

2.3.1 *Strength Based Seismic Design*

Dalam mendesain bangunan tingkat tinggi, metode *Strength Based Design* paling banyak diterapkan. Desain ini menganggap bahwa semua beban (baik statik maupun dinamik) diketahui nilai maksimumnya. Beban – beban yang selama ini diaplikasikan pada perhitungan sebenarnya mewakili beban rata – rata dan kemungkinan untuk besarnya beban tersebut terlampaui adalah sangat kecil. Sedangkan untuk beban gempa yang dipakai di peraturan gempa tidak mewakili beban dinamis puncak yang kemungkinan akan bekerja pada bangunan tersebut bila terkena gaya gempa.

Pada perhitungan struktur dengan menggunakan *Strength Based Design*, struktur tersebut direncanakan sedemikian rupa agar *load capacity* lebih besar daripada *load demand*. Namun dalam kenyataannya terkadang *load demand* dapat lebih besar nilainya daripada *load capacity*. Namun metode ini masih sering sekali digunakan karena lebih praktis dan lebih hemat.

Dalam menghitung gaya gempa, analisa dilakukan secara linear. Setelah nilai gaya – gaya dalam diperoleh, maka dilakukan desain, yaitu mencari kapasitas komponen – komponen struktur dengan memakai rumus yang tersedia dalam peraturan perencanaan, di Indonesia misalnya SNI.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, analisa ini dilakukan secara linear (struktur dianggap berperilaku elastis). Dalam kenyataannya, bila struktur bangunan terkena gempa besar maka struktur tersebut tidak lagi berperilaku elastic, namun bersifat non linear dan analisa tersebut tidak dapat memberikan gambaran yang sesuai.

Oleh karena kondisi di atas, maka diperlukan suatu analisa non linear yang dapat memberikan hasil yang benar – benar dapat menunjukkan kondisi sesungguhnya.

2.3.2 *Performance Based Seismic Design*

Pada metode ini, kriteria dari suatu struktur dinyatakan dalam persyaratan untuk mencapai suatu sasaran daya guna tertentu (*performance*). *Performance* bergantung pada bagaimana suatu kapasitas struktur dari struktur tersebut dapat menanggulangi kebutuhan gaya gempa. Jadi struktur harus memiliki kapasitas untuk menahan gaya gempa sehingga kinerja struktur tersebut sejalan dengan maksud dan tujuan perencanaan.

Jadi intinya adalah memenuhi persyaratan *performance* untuk gempa berarti bahwa kapasitas kekuatan dan deformasi yang tersedia harus lebih besar dari tuntutan yang terjadi akibat gempa.

Pemilihan sasaran daya guna disesuaikan dengan kriteria perencanaan dan taraf kerusakan. Penentuan taraf kerusakan ini berdasarkan beberapa factor, misalnya tingkat kepentingan struktur, nilai sejarah, pertimbangan ekonomis, dan

keinginan dari pemiliknya sendiri. Tingkatan *performance* yang dipakai di Amerika antara lain:

a. *Fully operational*

Tidak ada kerusakan pada bangunan sehingga tidak ada perbaikan struktur setelah gempa.

b. *Operational*

Terjadi kerusakan kecil pada bangunan dan diperlukan sedikit perbaikan pada bagian yang rusak.

c. *Life safety*

Struktur mengalami kerusakan namun tidak sampai runtuh sehingga tidak menelan korban jiwa.

d. *Near collapse*

Terjadi kerusakan yang lebih parah dari *life safety*, namun komponen struktur masih dapat menahan beban gravitasi. Elemen non structural runtuh secara keseluruhan.

e. *Collapse*

Struktur bangunan mengalami keruntuhan, baik sebagian maupun keseluruhan.

Tingkatan sasaran daya guna di atas dapat dinyatakan dalam besaran *damage index*. *Damage index* adalah suatu besaran yang menyatakan tingkat kerusakan struktur dengan skala 0 sampai 1. Nilai 0 menyatakan struktur tidak rusak sama sekali, dan nilai 1 menyatakan struktur benar – benar *collapse*. Nilai *damage index* menurut *Park and Ang*, tingkatan – tingkatan sasaran daya guna dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. $D < 0,1$ (*fully operational*)
- b. $0,1 \leq D < 0,25$ (*operational*)
- c. $0,25 \leq D < 0,4$ (*life safety*)
- d. $0,4 \leq D < 1$ (*near collapse*)
- e. $D \geq 1$ (*collapse*)

2.4 Persyaratan Desain Menggunakan *Base Isolation*

Persyaratan desain struktur gedung yang menggunakan base isolation mengacu kepada UBC (Uniform Building Code) tahun 1997 pada bagian

Appendix – Division IV Earthquake Regulations For Seismic – Isolated Structures.

2.4.1 Design method

A. Analisa statik

Analisa statik perlu dilakukan pada semua desain struktur yang menggunakan isolasi seismic atau *base isolation*. Analisa statik juga penting dalam *preliminary design*.

- Lokasi struktur berada pada jarak paling tidak 10 km dari *active faults*.
- Lokasi struktur berada pada daerah dengan profil tanah S_A , S_B , S_C , atau S_D .

Tabel 2-1 *Soil profile types*

SOIL PROFILE TYPE	SOIL PROFILE NAME/GENERIC DESCRIPTION	AVERAGE SOIL PROPERTIES FOR TOP 100 FEET (30 480 mm) OF SOIL PROFILE		
		Shear Wave Velocity, \bar{v}_s feet/second (m/s)	Standard Penetration Test, \bar{N} [or \bar{N}_{60} for cohesionless soil layers] (blows/foot)	Undrained Shear Strength, \bar{s}_u psf (kPa)
S_A	Hard Rock	> 5,000 (1,500)	—	—
S_B	Rock	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)	—	—
S_C	Very Dense Soil and Soft Rock	1,200 to 2,500 (360 to 760)	> 50	> 2,000 (100)
S_D	Stiff Soil Profile	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 to 2,000 (50 to 100)
S_E^1	Soft Soil Profile	< 600 (180)	< 15	< 1,000 (50)
S_F	Soil Requiring Site-specific Evaluation. See Section 1629.3.1.			

¹Soil Profile Type S_E also includes any soil profile with more than 10 feet (3048 mm) of soft clay defined as a soil with a plasticity index, $PI > 20$, $w_{mc} \geq 40$ percent and $s_u < 500$ psf (24 kPa). The Plasticity Index, PI , and the moisture content, w_{mc} , shall be determined in accordance with approved national standards.

- Struktur di atas *base isolation* ketinggiannya tidak melebihi empat lantai atau 65 kaki (19,8 m).
- Periode efektif dari struktur terisolasi, T_M , tidak melebihi 3 detik.
- Periode efektif dari struktur terisolasi, T_D , lebih besar tiga kali dari struktur konvensional (tanpa *base isolation*).
- Struktur di atas *base isolation* harus regular.
- Sistem terisolasi dijelaskan sesuai dengan kriteria sebagai berikut:
 - Kekakuan efektif dari struktur pada perpindahan rencana harus lebih besar dari sepertiga kekakuan efektif pada 20% perpindahan rencana.
 - Sistem isolasi harus dapat menghasilkan gaya pemulih atau pengembali.
 - Sistem isolasi mempunyai properti gaya – lendutan yang independen terhadap laju pembebanan.

g.4. Sistem isolasi mempunyai properti gaya – lendutan yang independen terhadap beban vertikal dan beban bilateral.

g.5. Sistem isolasi tidak membatasi MCE (*Maximum Capable Earthquake*) kurang dari C_{VM} / C_{VD} dikalikan dengan perpindahan desain total.

B. Analisa dinamik

Ada tiga metode untuk analisa dinamik, yaitu:

1. *Response Spectrum Analysis*

Analisa ini digunakan jika struktur memenuhi kriteria poin b dan poin g pada analisa statik.

2. *Time – History Analysis*

Analisa ini digunakan jika struktur tidak memenuhi kriteria untuk *response spectrum analysis*.

3. *Site – Spesific Design Spectra*

Analisa ini digunakan jika:

- Jenis tanah di lokasi struktur tersebut adalah tanah dengan tipe S_E atau S_F .
- Struktur terletak pada lokasi *active fault* sejarak 10 km.

2.4.2 Prosedur Analisa Statik

1. *Displacement*

Ada empat jenis *displacement* yang diperhitungkan dalam analisa struktur menggunakan *base isolation*, yaitu:

- D_D (*Design Displacement*), perpindahan pada pusat kekakuan dari sistem isolasi pada DBE (*Design – Basis Earthquake*).

$$D_D = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VD} T_D}{B_D} \quad (2.72)$$

Keterangan:

C_{VD} = koefisien seismic

Tabel 2-2 *Seismic zone factor Z*

ZONE	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tabel 2-3 Seismic coefficient C_{VD}

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
S_F	See Footnote 1				

T_D = periode efektif dari struktur terisolasi pada perpindahan rencana

B_D = koefisien redaman

Tabel 2-4 Damping coefficient, B_D and B_M

EFFECTIVE DAMPING, β_D or β_M (percentage of critical) ^{1,2}	B_D or B_M FACTOR
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

b. D_M (*Maximum Displacement*), yaitu perpindahan pada pusat kekakuan dari sistem isolasi pada MCE (*Maximum Capable Earthquake*).

$$D_M = \frac{\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) C_{VM} T_M}{B_M} \quad (2.73)$$

Keterangan:

C_{VM} = koefisien seismic

Tabel 2-5 Seismic coefficient, C_{VM}

SOIL PROFILE TYPE	MAXIMUM CAPABLE EARTHQUAKE SHAKING INTENSITY $M_M Z N_v$				
	$M_M Z N_v = 0.075$	$M_M Z N_v = 0.15$	$M_M Z N_v = 0.20$	$M_M Z N_v = 0.30$	$M_M Z N_v \geq 0.40$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.8M_M Z N_v$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$1.0M_M Z N_v$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	$1.4M_M Z N_v$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	$1.6M_M Z N_v$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	$2.4M_M Z N_v$
S_F	See Footnote 2				

Tabel 2-6 Near source factor N_V

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE ^{2,3}			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tabel 2-7 Maximum capable earthquake response coefficient, M_M

DESIGN BASIS EARTHQUAKE SHAKING INTENSITY, Z_N	MAXIMUM CAPABLE EARTHQUAKE RESPONSE COEFFICIENT, M_M
0.075	2.67
0.15	2.0
0.20	1.75
0.30	1.50
0.40	1.25
≥ 0.50	1.20

T_M = periode efektif dari struktur terisolasi pada perpindahan rencana

B_M = koefisien redaman

- c. D_{TD} (Total Design Displacement), yaitu perpindahan dari bearing pada ujung bangunan dan termasuk didalamnya komponen torsional displacement pada arah D_D .

$$D_{TD} = D_D \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (2.74)$$

- d. D_{TM} (Total Maximum Displacement), sama seperti D_{TD} tetapi untuk MCE.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad (2.75)$$

Keterangan:

b dan d = dimensi dari struktur dengan $d > b$

e = eksentrisitas actual ditambah eksentrisitas rencana

y = jarak tegak lurus terhadap arah pembebanan gempa

D_{TD} dan D_{TM} nilainya diambil kurang dari hasil perhitungan persamaan di atas, namun tidak boleh lebih kecil dari 1,1 dikalikan dengan D_D dan D_M .

2. Periode efektif sistem isolasi

Ada dua jenis periode yang diperhitungkan dalam analisa, yaitu:

a. T_D

Periode efektif dalam sekon dari struktur terisolasi pada perpindahan rencana.

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Dmin} g}} \quad (2.76)$$

b. T_M

Periode efektif dalam sekon dari struktur yang terisolasi pada perpindahan maksimum

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{Mmin} g}} \quad (2.77)$$

Keterangan:

W = berat dari struktur

g = percepatan gravitasi bumi

k_{Dmin} = kekakuan horizontal efektif minimum dari sistem isolasi pada desain rencana

k_{Mmin} = kekakuan horizontal efektif minimum dari sistem isolasi pada perpindahan maksimum

nilai dari k_{Dmin} dan k_{Mmin} tidak dapat diketahui nilainya selama proses *preliminary design* sehingga pada awalnya menggunakan asumsi. Asumsi ini dapat diperoleh dari pengujian – pengujian sebelumnya pada material yang sama. Setelah proses *preliminary design* selesai, maka *prototype* dari isolator dapat dipesan dan diuji sehingga nilai dari k_{Mmin} , k_{Mmax} , k_{Dmin} , dan k_{Dmax} dapat diperoleh dari hasil pengujian tersebut.

3. Gaya geser dasar

Struktur di atas dan di bawah sistem isolasi dirancang untuk gaya yang berdasarkan pada DBE *design displacement* , D_D . sistem isolasi, pondasi, dan elemen struktur di bawah sistem isolasi harus dirancang untuk mampu menahan gaya lateral seismik minimum:

$$V_b = K_{Dmax} D_D \quad (2.78)$$

Jika ada perpindahan lain yang lebih besar dari D_D menghasilkan gaya yang besar, maka gaya tersebut harus digunakan pada desain.

Struktur di atas sistem isolasi harus mampu menahan gaya geser minimum , V_s seperti jika itu merupakan *fixed base*:

$$V_s = \frac{K_{Dmax} D_D}{R_I} \quad (2.79)$$

K_{Dmax} adalah kekakuan efektif maksimum dari sistem isolasi pada perpindahan rencana pada arah horizontal, dan R_I adalah faktor reduksi yang sejalan dengan R (faktor untuk struktur yang tidak terisolasi).

Pada semua kasus, nilai V_s tidak boleh kurang dari:

- Gaya seismik yang ditentukan oleh peraturan untuk struktur *fixed – base*
- Geser dasar sesuai dengan faktor desain beban angin
- Satu setengah kali ($1^{1/2}$) gaya lateral dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem isolasi

4. Persebaran gaya lateral tiap lantai

Gaya – gaya total akan didistribusikan dengan rumus:

$$F_x = \frac{V_s w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (2.80)$$

Keterangan:

w_x dan w_i = berat pada ketinggian i atau x

h_x dan h_i = ketinggian dari struktur di atas sistem isolasi

5. Batasan simpangan

Rasio simpangan antar lantai maksimum dari struktur di atas sistem terisolasi tidak boleh melebihi $0,015 \cdot h_{sx}$ (h_{sx} = tinggi lantai di bawah level yang ditinjau).

2.4.3 Prosedur Analisa Dinamik

1. Sistem isolasi dan elemen struktur di bawah sistem isolasi

- D_{TD} dari sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 90% dari D_{TD} pada analisa statik
- D_{TM} dari sistem terisolasi tidak boleh diambil kurang dari 80% dari D_{TM} pada analisa statik
- Gaya geser dasar pada sistem isolasi dan struktur di bawah sistem isolasi tidak boleh diambil kurang dari 90% dari V_b pada analisa statik.

Batasan dari poin pertama dan kedua akan dievaluasi menggunakan nilai D_{TD} dan D_{TM} yang ditentukan sesuai dengan ketentuan desain untuk statik, kecuali D_D' digunakan untuk menggantikan nilai D_D dan D_M' digunakan untuk menggantikan nilai D_M (D_D' dan D_M' merupakan reduksi dari D_D dan D_M).

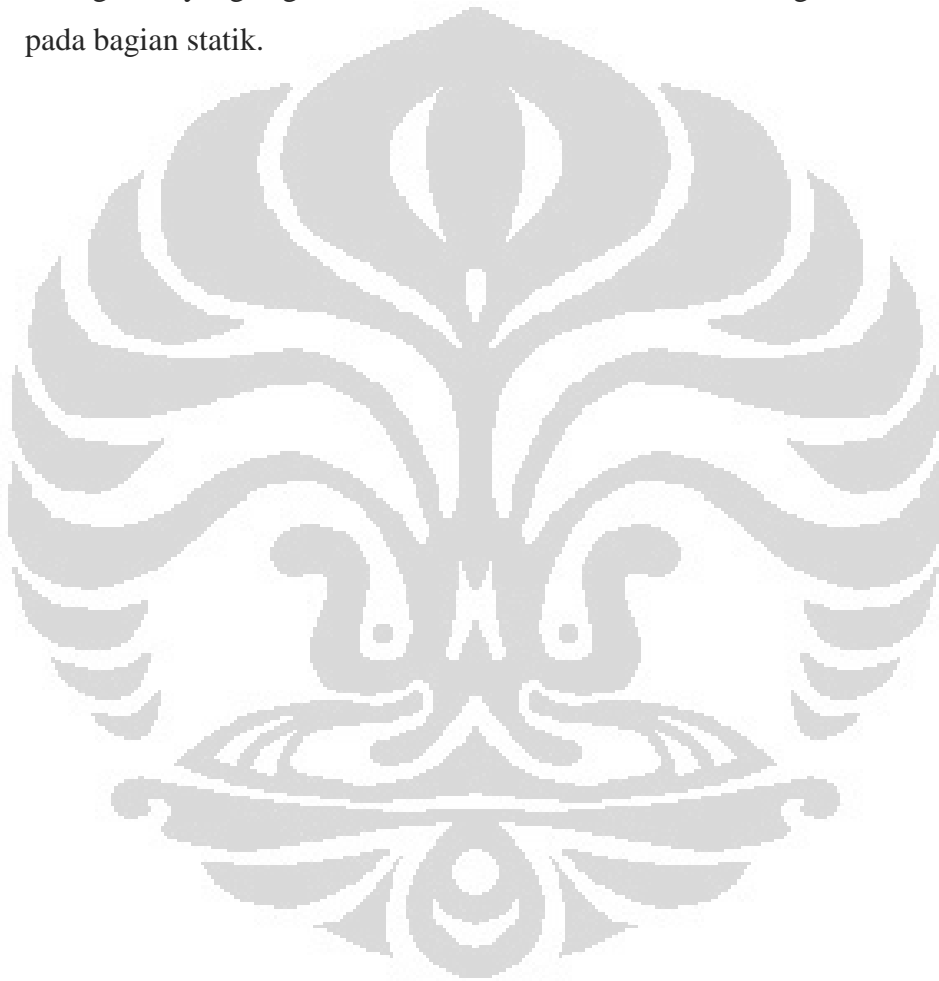
$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1+(T/T_D)^2}} \quad (2.81)$$

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1+(T/T_D)^2}} \quad (2.82)$$

T adalah periode dari struktur *fixed – base* di atas sistem isolasi.

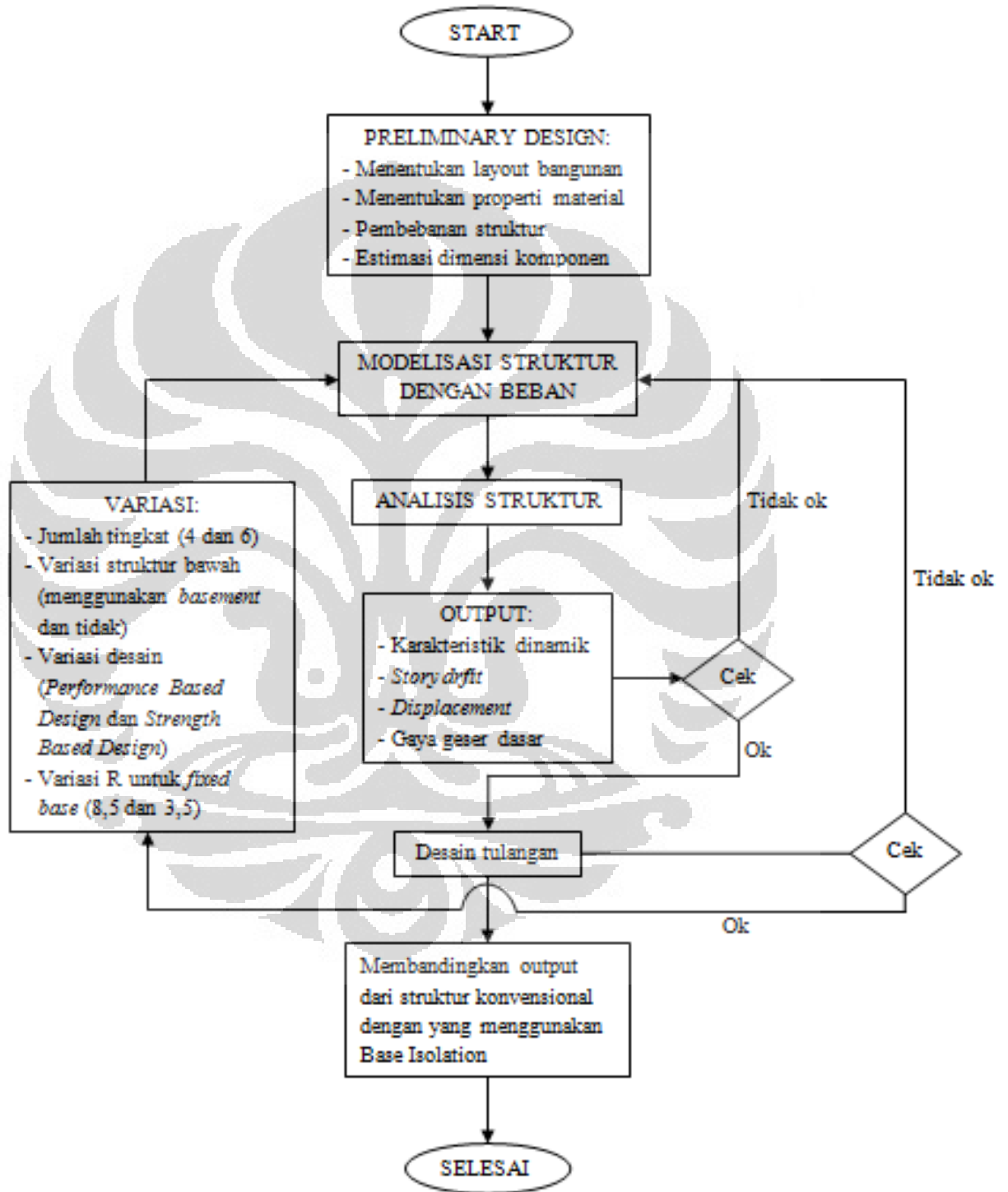
2. Elemen struktur di atas sistem isolasi

Gaya lateral tiap lantai pada struktur di atas sistem isolasi jika merupakan konfigurasi yang regular, maka tidak boleh diambil kurang dari 80% dari V_s pada bagian statik.



BAB 3
METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN

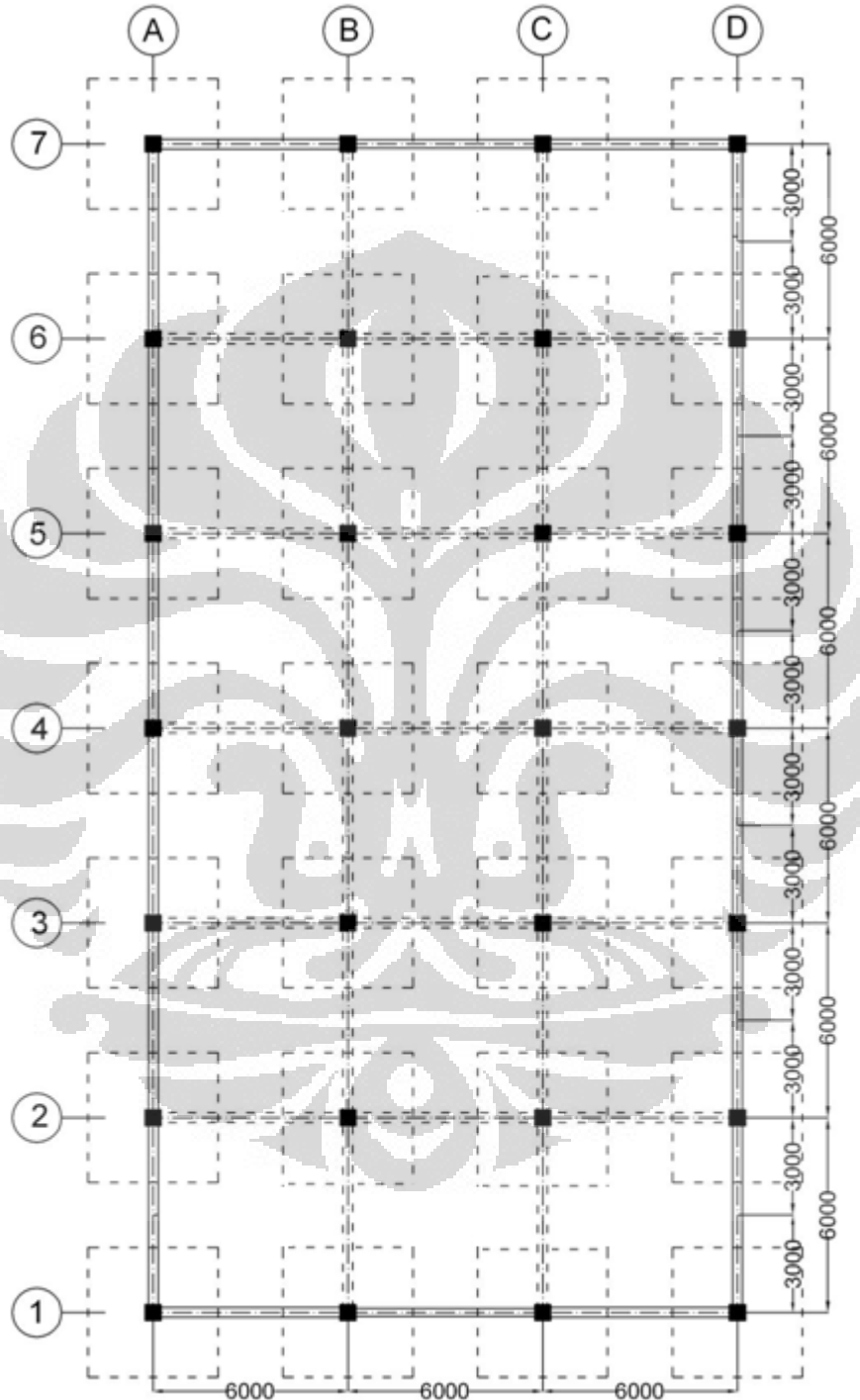
3.1 Alur Berpikir



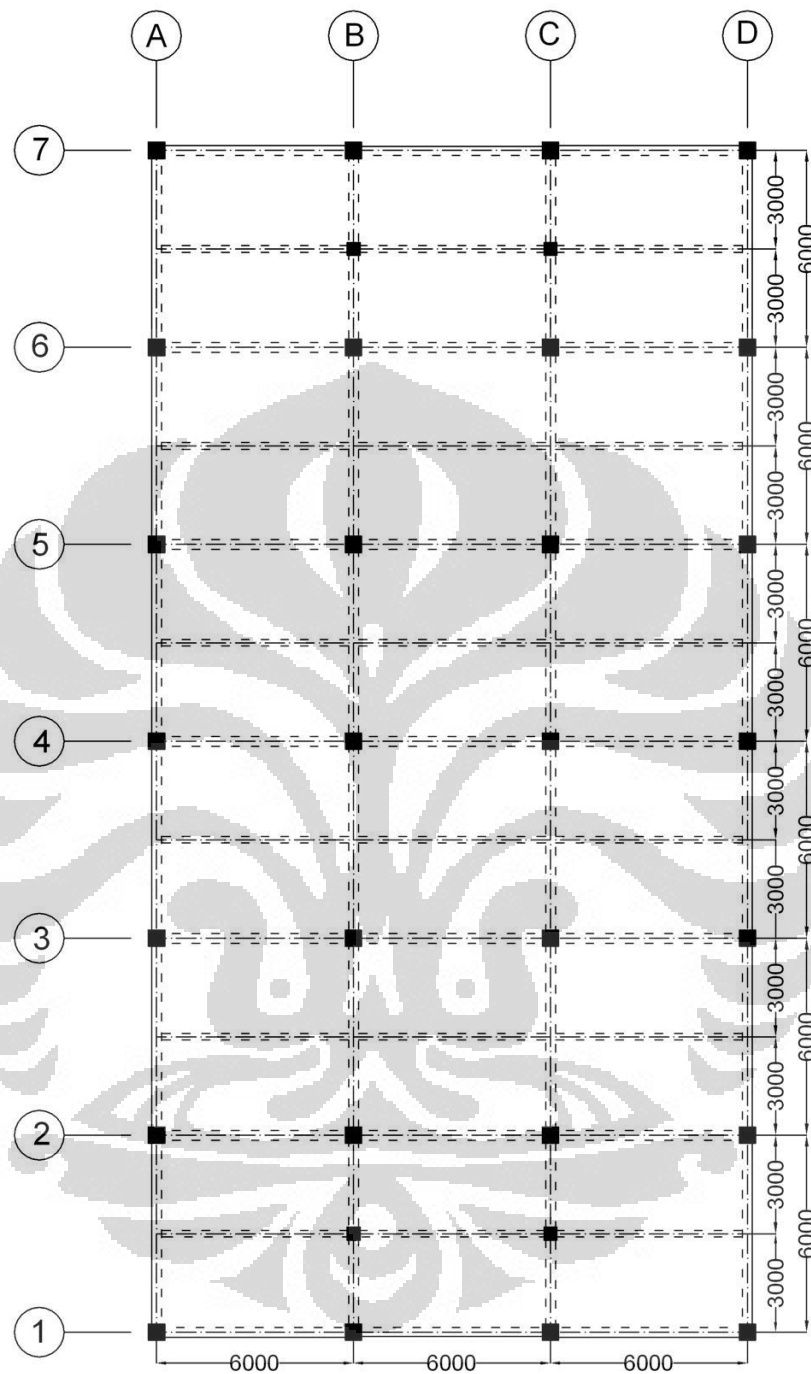
Gambar 3.1 Diagram alur berpikir

3.2 Layout Bangunan

Struktur bangunan yang dianalisis adalah struktur gedung perkantoran dengan luas 18 m x 36 m. Desain *layout* bangunan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Denah balok – kolom – pondasi



Gambar 3.3 Denah tipikal per lantai

3.3 Properti Material

Properti material yang digunakan pada struktur gedung perkantoran ini adalah sebagai berikut:

a. Beton

- Kuat tekan (f_c') : 33 MPa
- Modulus Elastisitas (E_c) : 26999,44 MPa
- Berat jenis (γ) : 24 kN/m³

b. Baja tulangan

- f_y : 400 MPa
- E_s : 2×10^5 MPa

c. Isolator

Isolator yang digunakan adalah jenis *High Damping Rubber Bearing*.

- Struktur 4 lantai
 - HT090X6R
 - $K_D = 1560$ kN/m
 - $K_M = 926$ kN/m
 - $B_D = 0,24$
 - Berat = 16,2 kN
 - Tinggi = 496,4 mm
 - Jumlah = 28 buah
 - Displacement* maksimum = 496,4 mm
- Struktur 6 lantai
 - HT090X6R
 - $K_D = 1560$ kN/m
 - $K_M = 926$ kN/m
 - $B_D = 0,24$
 - Berat = 16,2 kN
 - Tinggi = 496,4 mm
 - Jumlah = 16 buah
 - Displacement* maksimum = 496,4 mm
 - HT110X6R
 - $K_D = 2340$ kN/m
 - $K_M = 1383$ kN/m
 - $B_D = 0,24$
 - Berat = 23 kN

Tinggi = 472,8 mm

Jumlah = 12 buah

Displacement maksimum = 472,8 mm

3.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur menganut kepada Pedoman Perancangan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURdG) tahun 1987.

a. Beban mati (dilambangkan dengan M)

Berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian – penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

- Berat sendiri struktur

- γ Beton : 24 kN/m³

- γ Baja : 78,5 kN/m³

- Mortar dan penutup lantai : 1,1 kN/m²

- MEP : 0,3 kN/m²

- Dinding bata : 1,5 kN/m²

- Partisi dalam : 1,0 kN/m²

b. Beban hidup (dilambangkan dengan H)

Semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung.

- Beban lantai perkantoran : 2,5 kN/m²

- Beban lantai atap : 1,0 kN/m²

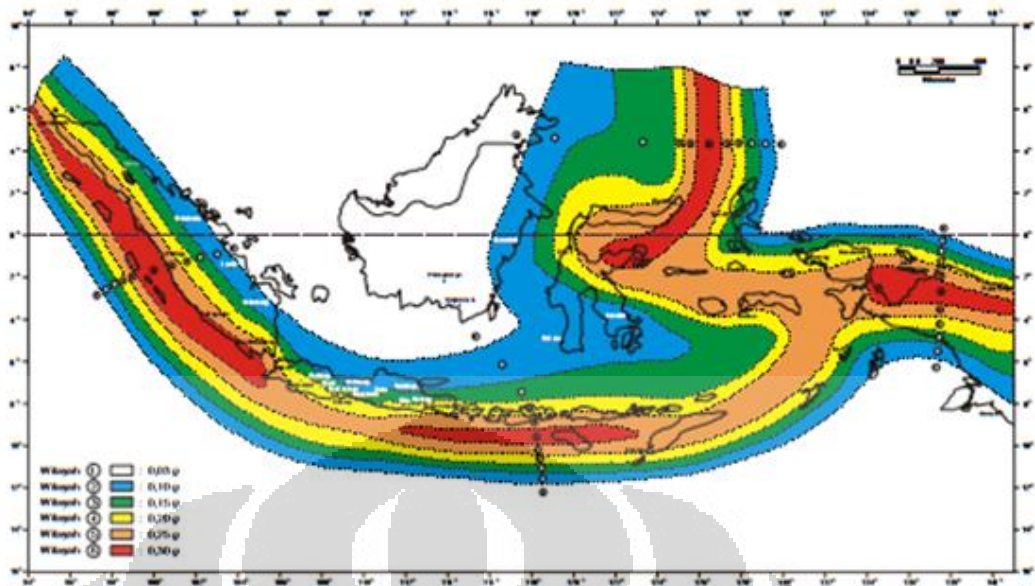
- Beban tangga : 3,0 kN/m²

c. Beban angin (dilambangkan dengan A)

Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

d. Beban gempa (dilambangkan dengan G)

Semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu.



Gambar 3.4 Pembagian wilayah gempa di Indonesia

- Wilayah gempa : zona 3
 - Jenis tanah : tanah sedang (S_D)
 - Faktor keutamaan (I) : 1 (perkantoran)
 - Faktor reduksi (R)
 - SRPMK : 8,5
 - SRPMB : 3,5
 - *Isolation system* : 2
- e. Beban khusus (dilambangkan dengan K)
 Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya – gaya tambahan yang berasal dari beban hidup.

3.5 Estimasi Dimensi Komponen

Estimasi dimensi komponen struktur adalah sebagai berikut:

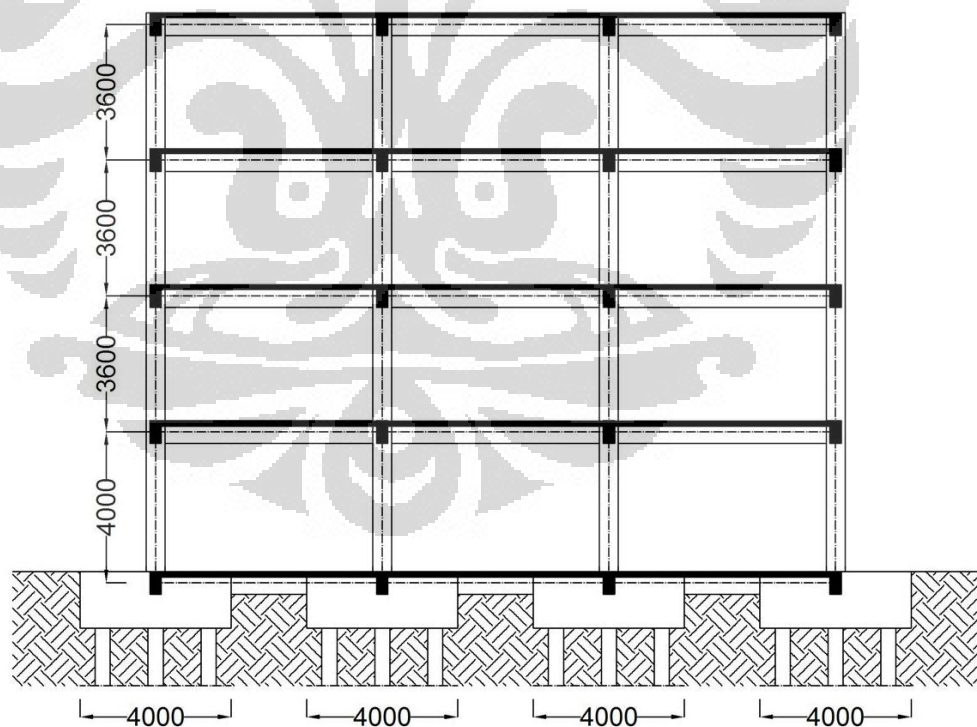
- a. Luas bangunan : $18000 \times 36000 \text{ mm}^2$
- b. Tinggi lantai : Lantai 1 tingginya 4 meter dan lantai di atasnya adalah setinggi 3,6 meter.
- c. Dimensi struktur
 - Dimensi balok anak : $200 \times 400 \text{ mm}^2$

- Dimensi balok induk:
 - ✓ 4 lantai : $400 \times 700 \text{ mm}^2$
 - ✓ 6 lantai : $400 \times 800 \text{ mm}^2$ (lantai dasar – lantai 3) dan $400 \times 700 \text{ mm}^2$ (lantai 3 – lantai 6)
- Dimensi kolom
 - ✓ 4 lantai : $750 \times 500 \text{ mm}^2$ untuk semua kolom, kecuali kolom *basement* $950 \times 700 \text{ mm}^2$
 - ✓ 6 lantai : $800 \times 600 \text{ mm}^2$ (3 lantai pertama) dan $600 \times 600 \text{ mm}^2$ (3 lantai terakhir), kolom *basement* $1000 \times 800 \text{ mm}^2$

Seperti yang telah dijelaskan di bagian awal, struktur ini akan dimodelkan dengan 6 model, yaitu struktur konvensional (4 lantai dan 6 lantai), struktur yang menggunakan isolator tanpa *basement* (4 lantai dan 6 lantai), dan struktur yang menggunakan isolator dengan *basement* (4 lantai dan 6 lantai).

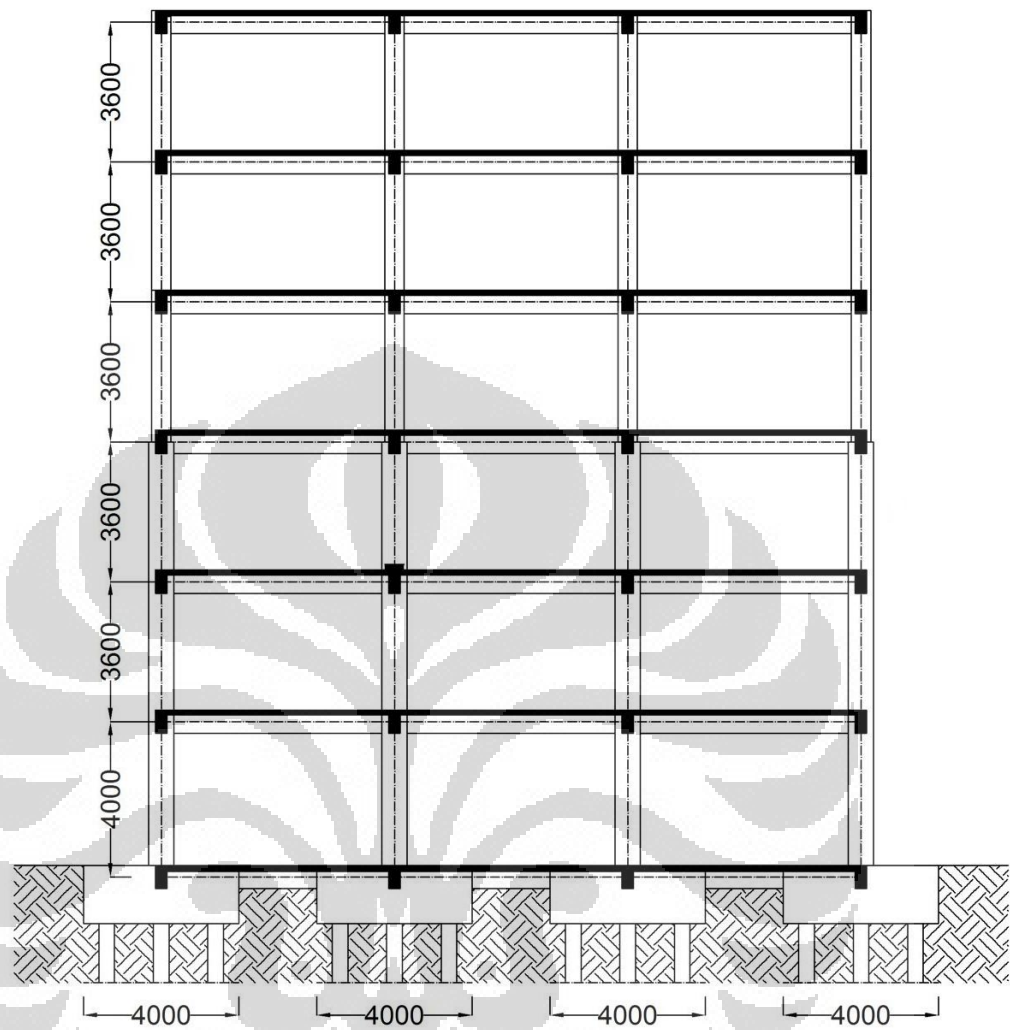
1. Struktur gedung konvensional (tanpa *base isolation*)

a. 4 lantai



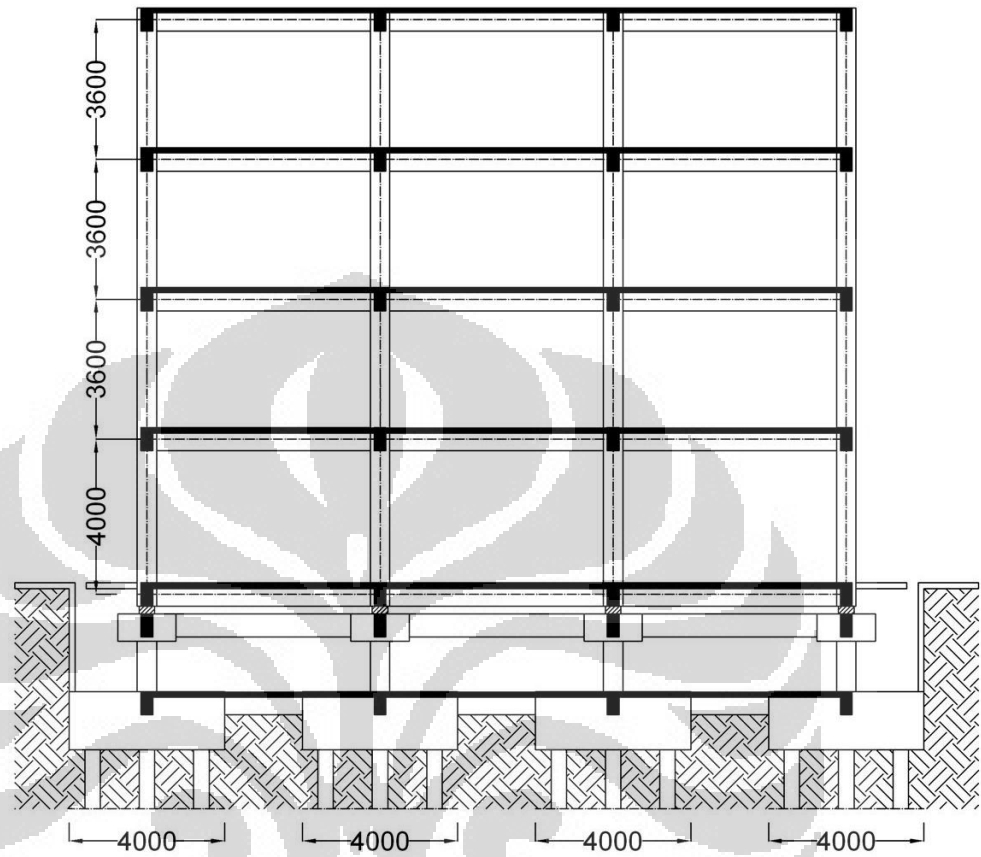
Gambar 3.5 Potongan struktur konvensional 4 lantai

b. 6 lantai



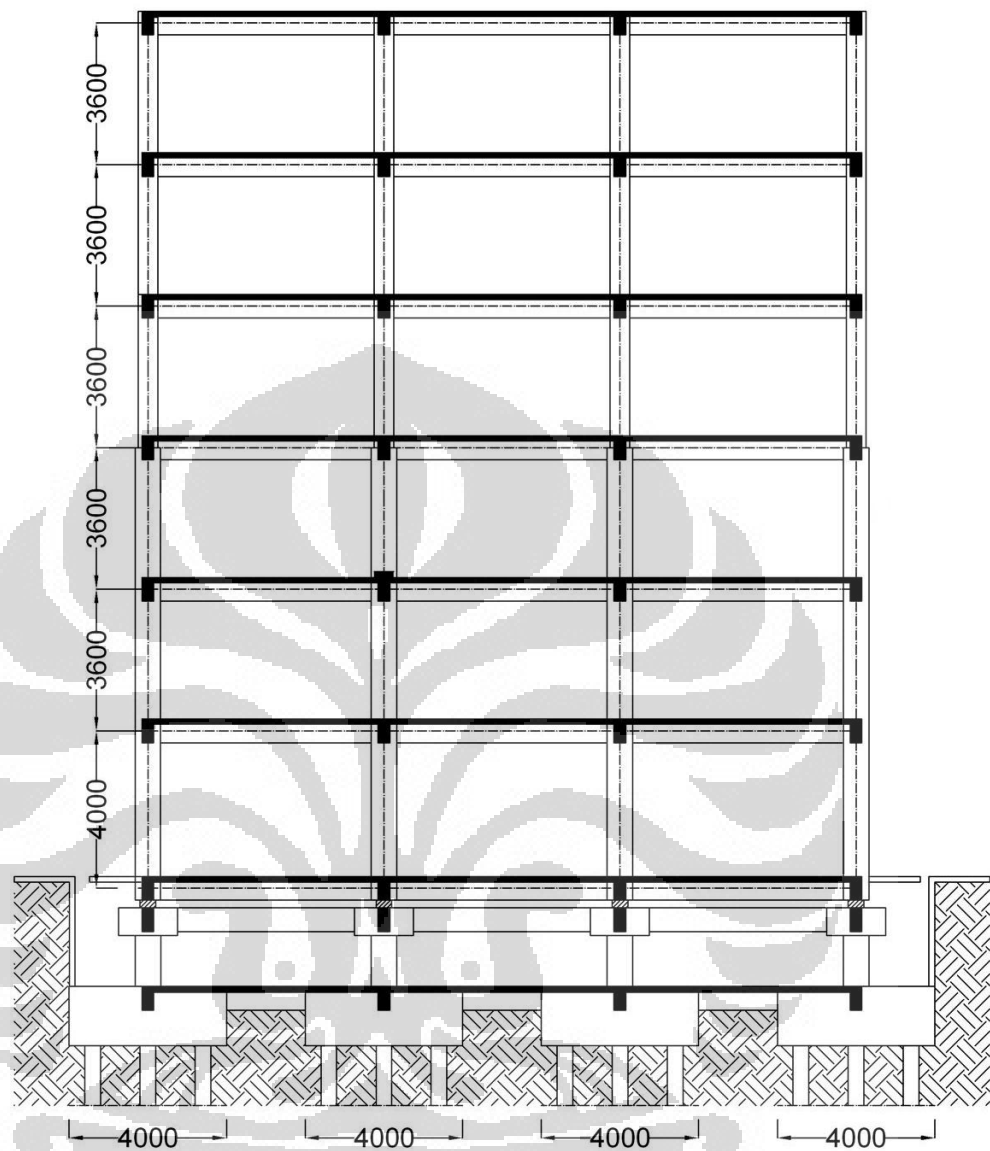
Gambar 3.6 Potongan struktur konvensional 6 lantai

2. Struktur gedung menggunakan *base isolation*
 - a. 4 lantai



Gambar 3.7 Potongan struktur menggunakan *base isolation* 4 lantai

b. 6 lantai

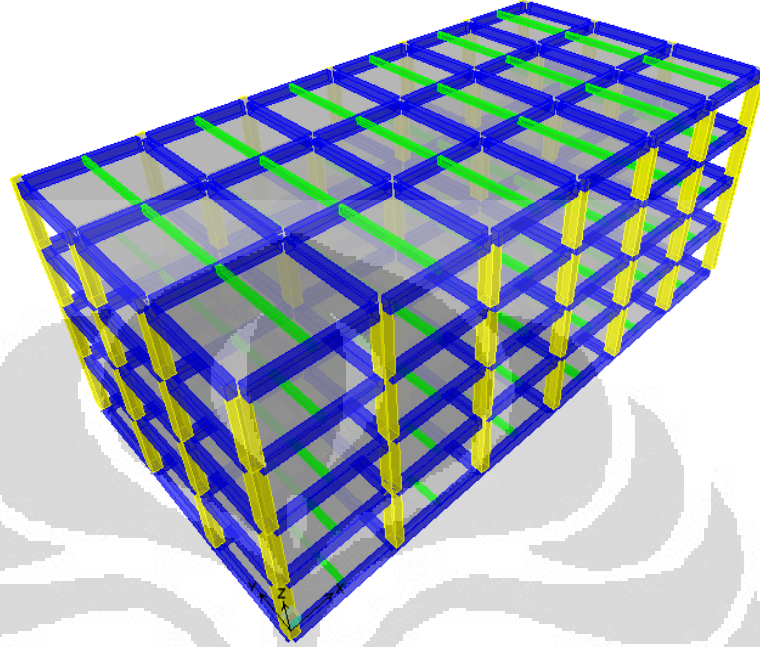


Gambar 3.8 Potongan struktur menggunakan *base isolation* 6 lantai

3.6 Modelisasi Struktur

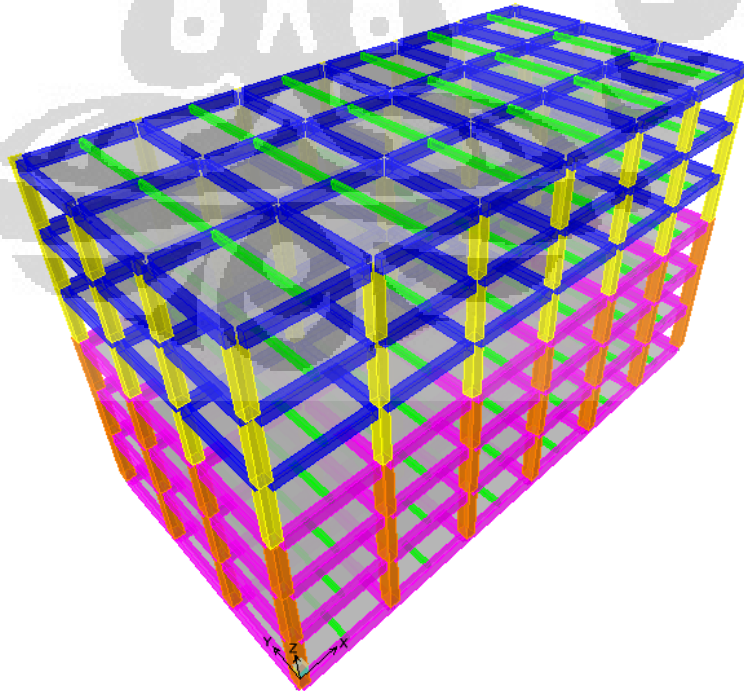
3.6.1 Modelisasi struktur konvensional

a. Struktur 4 lantai



Gambar 3.9 Modelisasi struktur konvensional 4 lantai

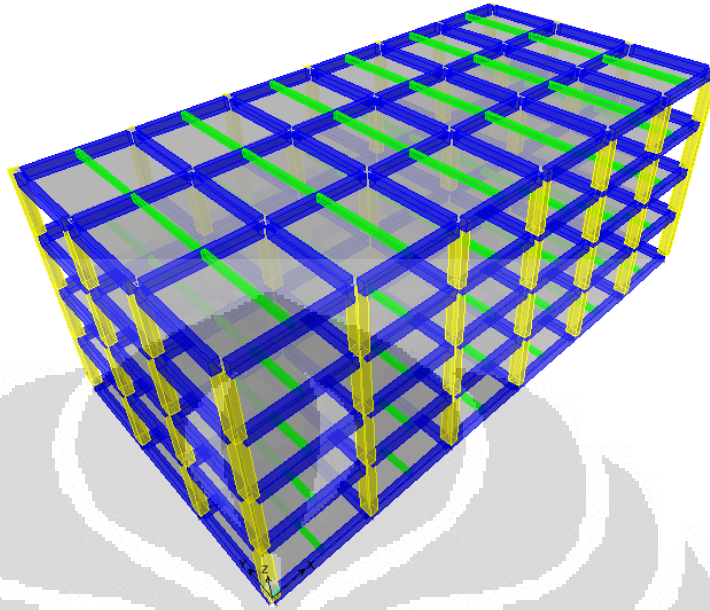
b. Struktur 6 lantai



Gambar 3.10 Modelisasi struktur konvensional 6 lantai

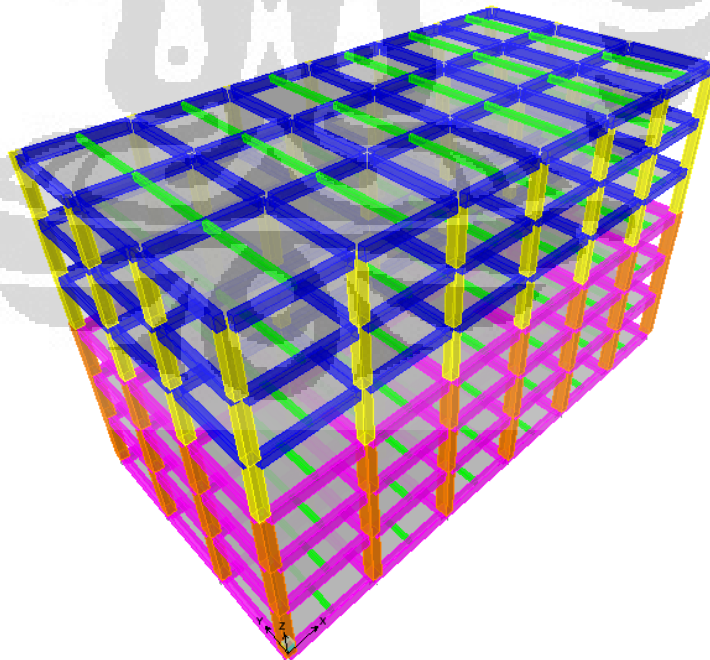
3.6.2 Modelisasi struktur dengan isolator (tanpa *basement*)

a. Struktur 4 lantai



Gambar 3.11 Modelisasi struktur dengan isolator 4 lantai

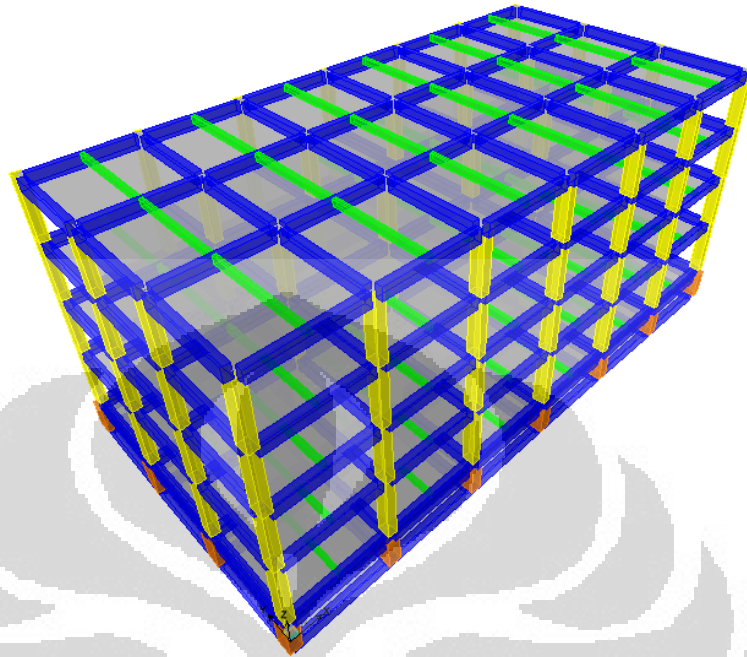
b. Struktur 6 lantai



Gambar 3.12 Modelisasi struktur dengan isolator 6 lantai

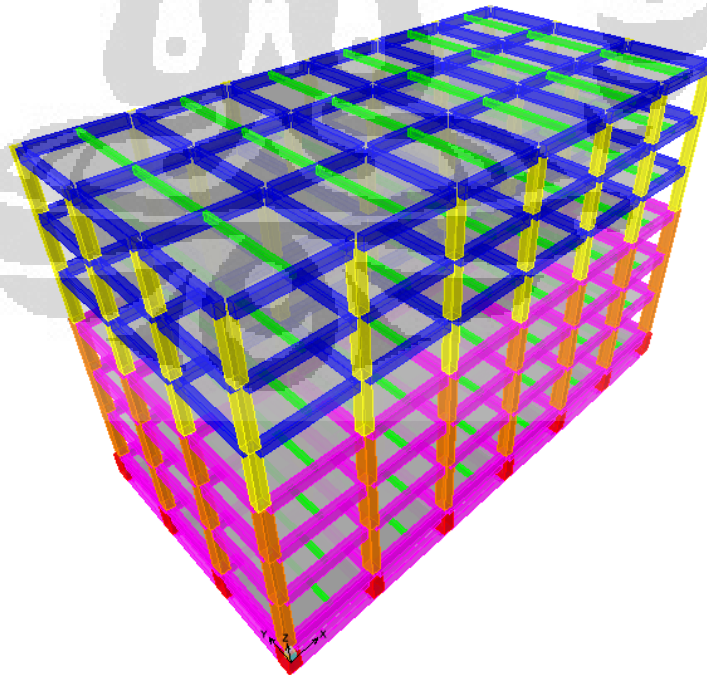
3.6.3 Modelisasi struktur dengan isolator (dengan *basement*)

a. Struktur 4 lantai



Gambar 3.13 Modelisasi struktur dengan isolator + *basement* 4 lantai

b. Struktur 6 lantai



Gambar 3.14 Modelisasi struktur dengan isolator + *basement* 6 lantai

3.7 Simulasi

Simulasi yang akan dilakukan pada penelitian skripsi ini lebih jelasnya ditampilkan melalui tabel berikut:

Tabel 3-1 Simulasi model yang akan dianalisa

Simulasi	Jumlah Lantai	Isolator/ Konvensional	Dengan/ Tanpa Basement	Performance/ Strength Based Design	Dengan/ Tanpa P-Delta
I	6	Isolator dan Konvensional	Basement	PBD dan SBD	P-Delta
II	6	isolator	Basement	PBD dan SBD	P-Delta
III	6	isolator	Basement	PBD	P-Delta dan no P-Delta
IV	4 dan 6	isolator	Basement	PBD	P-Delta
V	6	Isolator	Basement dan no basement	PBD	P-Delta

Untuk setiap simulasi yang dibandingkan, yang akan dianalisa adalah:

1. Periode getar alami, sifat pola getar, dan jumlah mode untuk mencapai partisipasi massa sebesar 90%
2. Perpindahan dan simpangan antar lantai
3. Perpindahan dari isolator
4. Gaya geser dasar dan tingkat
5. Rasio tulangan lentur dan geser untuk portal (kolom dan balok induk)

Berikut penjelasan singkat dari tiap simulasi:

1. Simulasi 1

Pada simulasi pertama ini ada 2 tipe struktur yang akan dianalisa yaitu struktur gedung 6 lantai dengan perletakan konvensional (*fixed base*) dan yang menggunakan isolator. Dari 2 model itu masing – masing dipecah menjadi 2 model lagi, sehingga total model menjadi 4 buah. Untuk struktur *fixed base*, ada dua model yang digunakan, yaitu model dengan SRPMK ($R= 8,5$) dan SRPMB ($R= 3,5$). Permodelan struktur dengan isolator juga ada dua macam, yaitu yang didesain dengan metode *Performance Based Design* (PBD) dan yang didesain dengan metode *strength based design* (SBD).

2. Simulasi 2

Pada simulasi kedua ini, model yang akan dianalisa adalah struktur gedung 6 lantai dengan *basement* namun dengan metode yang berbeda, yaitu

Performance Based Design (PBD) dan *Strength Based Design* (SBD). Sebenarnya pada simulasi 1 model ini telah sedikit dibahas namun masih secara umum sehingga pada bagian ini akan dibahas lebih dalam.

Dalam peraturan – peraturan yang membahas tentang desain menggunakan *base isolation*, struktur tersebut harus didesain menggunakan metode PBD. Alasannya adalah agar struktur tersebut benar – benar memiliki performa yang baik ketika terjadi gempa dan harapannya adalah struktur tersebut tidak mengalami kerusakan sedikitpun sehingga struktur tetap dapat beroperasi dengan baik setelah terjadi gempa. Yang menjadi pembeda antara metode SBD dan PBD adalah pada metode PBD ditentukan dahulu nilai *displacement* dari struktur tersebut, kemudian setelah itu dicari gaya – gaya geser yang menyebabkan *displacement* tersebut. Tentunya gaya – gaya geser tersebut akan jauh lebih besar nilainya jika dibandingkan dengan metode SBD.

Permodelan struktur pada penelitian ini didesain juga menggunakan metode SBD dan akan dibandingkan antara keduanya. Selain itu, di peraturan juga ditentukan bahwa nilai R maksimum untuk struktur terisolasi adalah sebesar 2 sehingga dalam penelitian ini semua struktur yang menggunakan isolator nilai R nya adalah 2.

3. Simulasi 3

Pada simulasi ketiga yang akan dibahas adalah pengaruh P-Delta terhadap struktur yang terisolasi. Pengaruh P-Delta adalah suatu gejala yang terjadi pada struktur gedung yang fleksibel, dimana terjadi simpangan lateral yang besar akibat beban gempa sehingga menimbulkan beban tambahan akibat momen guling yang terjadi oleh beban gravitasi. Dalam SNI gempa, pengaruh P-Delta diperhitungkan untuk struktur yang tingginya lebih dari 40 meter atau 10 lantai.

Struktur yang akan dianalisa pada simulasi ini adalah struktur 6 lantai yang didesain dengan metode *Performance Based Design* dan dilengkapi *basement*. Model pertama akan dianalisa tanpa memperhitungkan pengaruh P-Delta dan model kedua akan dianalisa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta. Bila melihat ke penjelasan pada paragraf pertama, seharusnya struktur yang akan dianalisa ini tidak perlu memperhatikan pengaruh P-Delta karena ketinggiannya tidak lebih dari 40 meter atau 10 lantai. Yang menjadi

pertimbangan bahwa struktur ini perlu diperhitungkan pengaruh P-Delta adalah karena terjadi deformasi yang besar di bagian isolatornya. Oleh karena itu pada simulasi ketiga ini akan dianalisa bagaimana pengaruh P-Delta terhadap struktur yang menggunakan isolasi seismik dan akan dibandingkan dengan struktur yang tidak diperhitungkan pengaruh P-Deltanya.

4. Simulasi 4

Pada simulasi keempat ini yang akan dibandingkan adalah pengaruh menggunakan isolator gempa terhadap jumlah lantai struktur. Telah dijelaskan pada bagian dasar teori bahwa struktur yang terletak di atas level isolator jumlah lantainya kurang dari atau sama dengan 4 lantai atau ketinggiannya 19,8 meter. Struktur gedung yang jumlah lantainya lebih dari 4 lantai biasanya periode getarnya lebih dari 1 detik, artinya struktur tersebut cukup fleksibel. Sedangkan untuk struktur yang menggunakan isolasi seismik periode getarnya dibatasi tidak boleh lebih dari 3 detik dan periode getar struktur terisolasi kurang lebih 3x periode getar struktur *fixed base*. Artinya bahwa struktur *fixed base* periodenya tidak boleh lebih dari 1 detik agar persyaratan periode getar maksimum struktur terisolasi terpenuhi.

Sebenarnya tidak menjadi masalah apabila akan menggunakan *base isolation* untuk struktur yang lebih dari 4 lantai, namun struktur tersebut harus benar – benar kaku agar periodenya tidak lebih dari 1 detik dan tentunya ini akan menambah biaya konstruksi.

5. Simulasi 5

Dalam mendesain struktur yang menggunakan *base isolation*, harus disediakan *basement* yang berfungsi sebagai tempat untuk melakukan *maintenance* terhadap isolator tersebut. Dalam memodelkan struktur ini, ada yang memodelkan struktur secara utuh, yaitu struktur atas beserta dengan *basement*nya, tetapi ada juga yang memodelkan hanya struktur atasnya saja. Melalui simulasi ini akan diketahui bagaimana pengaruh memodelkan struktur terisolasi dengan *basement* penuh dan tanpa *basement*.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Setelah struktur yang dijelaskan di bab sebelumnya dimodelkan dan di-*run* beserta dengan jenis – jenis variasi yang telah ditentukan, selanjutnya data – data yang diperoleh dari proses *running* tersebut akan dianalisa. Model – model tersebut akan dianalisa berdasarkan lima buah simulasi dan kemudian akan dibandingkan hasilnya. Kelima simulasi tersebut telah dijelaskan pada bab 3.

4.1 Simulasi Pertama

Untuk mempermudah penyampaian, pada simulasi pertama ini model *fixed base* dengan SRPMB disebut Model 1, *fixed base* dengan SRPMK disebut Model 2, struktur terisolasi dengan analisa SBD (*Strength Based Design*) disebut model 3, dan struktur terisolasi dengan analisa PBD (*Performance Based Design*) disebut model 4. Pada bagian ini akan diketahui pengaruh penggunaan isolator terhadap karakteristik dinamik struktur yang meliputi periode getar, partisipasi massa, sifat pola getar, gaya geser dasar dan tingkat, dan rasio kebutuhan tulangan yang dibutuhkan.

4.1.1 Periode getar, sifat pola getar, dan jumlah mode

Salah satu perbedaan mendasar antara struktur *fixed base* dan struktur terisolasi adalah pada periode getarnya. Periode getar, jumlah mode, dan sifat pola ragam getar untuk keempat model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-1 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 1

Model	Jumlah Mode	Partisipasi Massa								
		Mode 1			Mode 2			Mode 3		
		Periode	Arah	%	Periode	Arah	%	Periode	Arah	%
1	6	0.765	X	85.310	0.744	Y	82.947	0.681	Torsi	83.681
2	6	0.765	X	85.310	0.744	Y	82.947	0.681	Torsi	83.681
3	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146	Torsi	94.735
4	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146	Torsi	94.735

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa periode struktur yang menggunakan *base isolation* lebih besar daripada struktur *fixed base*. Pembesaran periode ini disebabkan karena berkurangnya kekakuan struktur pada bagian dasar bangunan akibat penggunaan isolator gempa. Dengan adanya isolator, maka gaya gempa yang mengenai struktur akan terlebih dahulu bekerja pada isolator baru kemudian diteruskan ke struktur atas. Perbedaan periode getar antara model 1-2 dan model 3-4 adalah sebesar 1,456 detik (mode 1), 1,469 detik (mode 2), dan 1,465 detik (mode 3). Bila dirata – rata maka periode struktur dengan isolator sama dengan 3x periode getar struktur konvensional. Hal ini sesuai dengan yang telah dijelaskan di dasar teori bahwa periode getar struktur terisolasi besarnya sama dengan 3x struktur *fixed base*.

Periode getar struktur untuk model 1 dan model 2 nilainya sama walaupun gaya gempa yang bekerja pada model 1 dan 2 nilainya berbeda. Hal ini dikarenakan periode getar alami bangunan hanya dipengaruhi oleh berat sendiri struktur dan juga beban – beban lain yang telah diinput pada *mass source* (1 DL + 1 SDL + 0,3 LL) dan juga kekakuannya sedangkan seberapa besar gaya gempa yang bekerja tidak berpengaruh. Begitu juga untuk model 3 dan model 4 yang nilai gaya gempanya jauh berbeda namun periodenya tetap sama.

Dari keempat model yang dianalisa, mode pertama adalah translasi pada arah X, mode kedua adalah translasi pada arah Y, dan mode ketiga adalah torsi (momen Z). artinya hal kondisi ini telah memenuhi persyaratan bahwa mode – mode awal harus translasi.

Untuk model 1 dan 2, dibutuhkan 6 mode untuk mencapai partisipasi massa 90%, sedangkan model 3 dan 4 pada mode ketiga partisipasi massa telah mencapai 90%. Hal ini terjadi karena kekakuan dari struktur pada model 3 dan 4 lebih kecil dibanding model 1 dan 2 sehingga pada mode – mode awal kondisi itu telah tercapai.

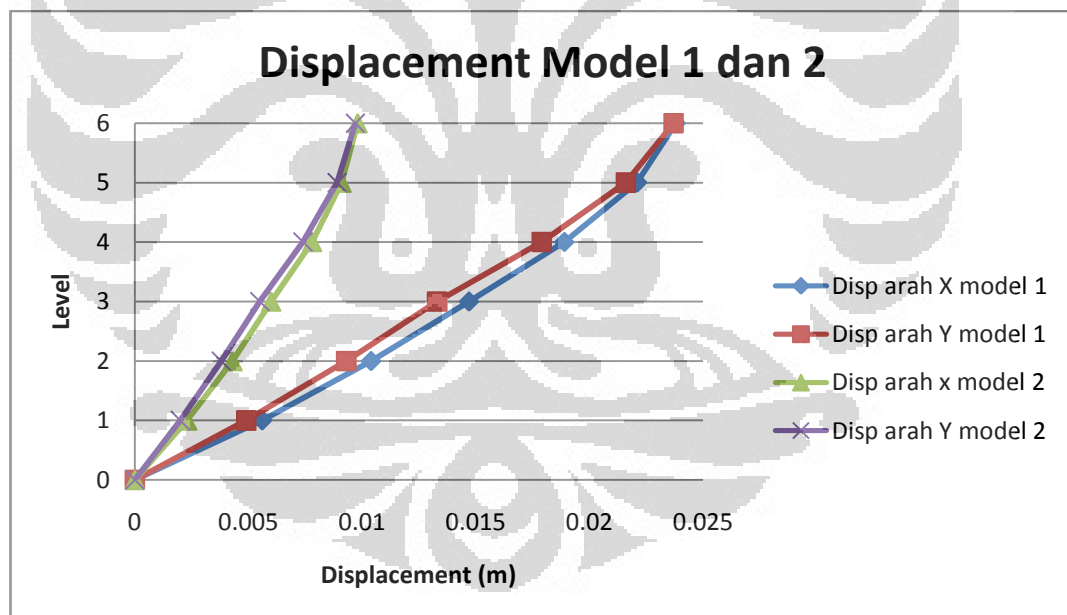
4.1.2 *Displacement* dan simpangan antar lantai

Pada bagian ini pertama akan ditampilkan nilai dari displacement dan simpangan untuk masing – masing model (model 1 – 2 dan model 3 – 4), tujuannya agar dapat mengecek batasan untuk kondisi layan dan ultimitnya

kemudian digabung untuk mengetahui perbedaannya. Pembatasan simpangan yang ditentukan di peraturan berfungsi untuk mencegah defleksi yang berlebihan dari struktur dan untuk mencegah terjadinya persenggolan antara struktur yang satu dengan yang lain yang posisinya berdekatan bila terjadi gempa.

Tabel 4-2 *Displacement* model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa

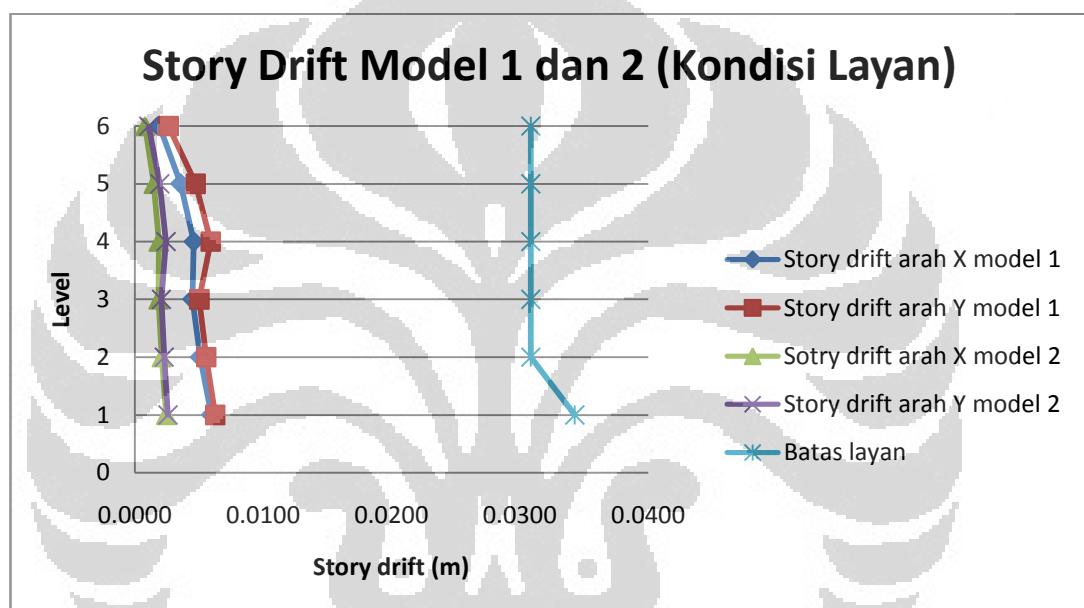
Level	Model 1		Model 2	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.0238	0.0237	0.0098	0.0097
Lantai 5	0.0221	0.0216	0.0091	0.0089
Lantai 4	0.0189	0.0179	0.0078	0.0074
Lantai 3	0.0147	0.0133	0.006	0.0055
Lantai 2	0.0104	0.0093	0.0043	0.0038
Lantai 1	0.0056	0.0049	0.0023	0.002
Dasar	0	0	0	0



Gambar 4.1 Grafik *displacement* model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1

Tabel 4-3 Simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (kondisi layan - meter)

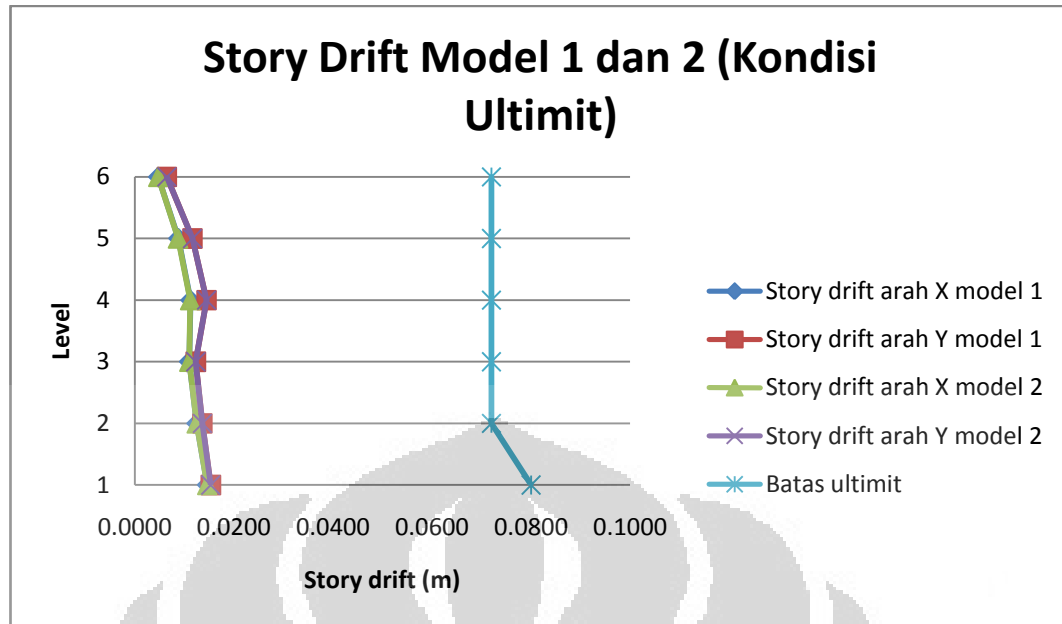
Level	Model 1		Model 2		Layan
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6	0.0019	0.0026	0.0008	0.0011	0.0309
Lantai 5	0.0036	0.0047	0.0015	0.0020	0.0309
Lantai 4	0.0046	0.0059	0.0019	0.0024	0.0309
Lantai 3	0.0045	0.0050	0.0018	0.0021	0.0309
Lantai 2	0.0051	0.0056	0.0021	0.0023	0.0309
Lantai 1	0.0060	0.0063	0.0025	0.0026	0.0343



Gambar 4.2 Grafik simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 (kondisi layan)

Tabel 4-4 Simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (kondisi ultimit – meter)

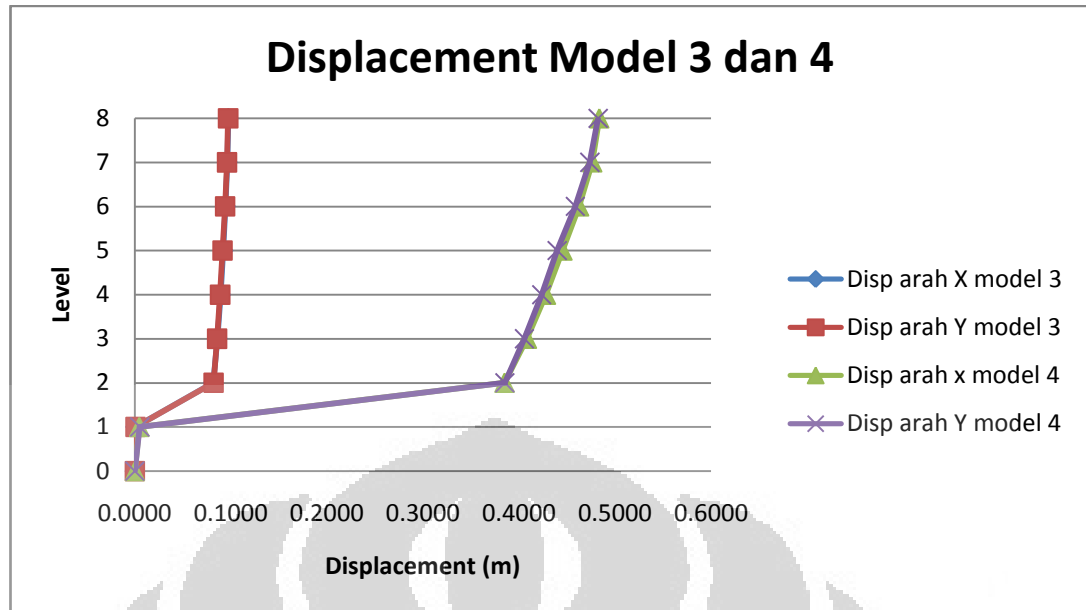
Level	Model 1		Model 2		Ultimit
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6	0.0047	0.0064	0.0047	0.0064	0.0720
Lantai 5	0.0088	0.0116	0.0088	0.0116	0.0720
Lantai 4	0.0112	0.0145	0.0112	0.0145	0.0720
Lantai 3	0.0110	0.0123	0.0110	0.0123	0.0720
Lantai 2	0.0125	0.0136	0.0125	0.0136	0.0720
Lantai 1	0.0146	0.0153	0.0146	0.0153	0.0800



Gambar 4.3 Grafik simpangan antar lantai model 1 dan 2 arah X dan Y simulasi 1 (kondisi ultimit)

Tabel 4-5 *Displacement* model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa (meter)

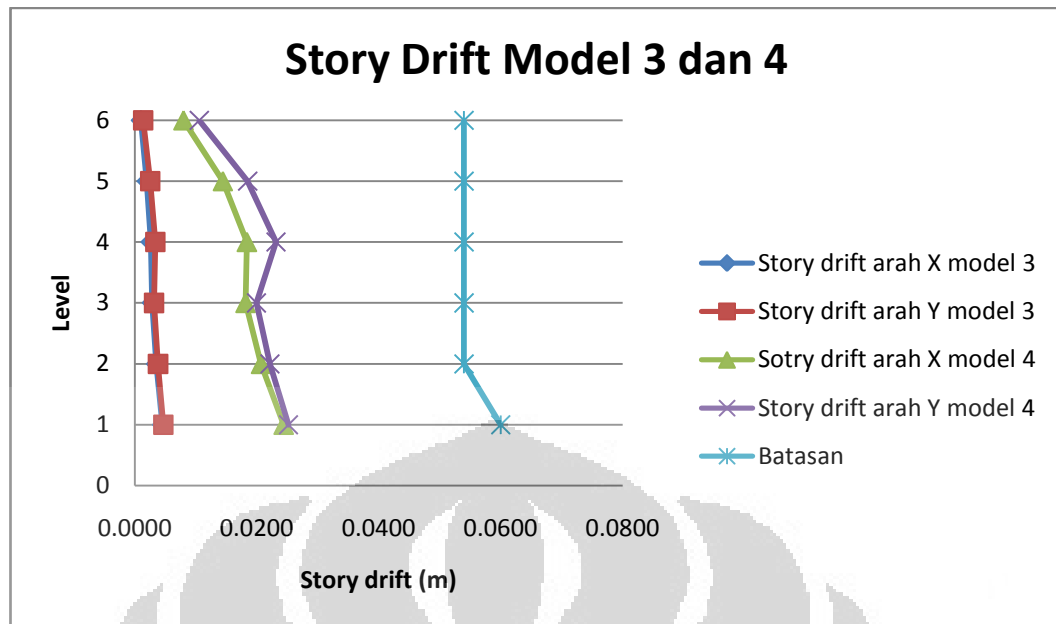
Level	Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.0972	0.0971	0.4836	0.4824
Lantai 5	0.0963	0.0960	0.4761	0.4737
Lantai 4	0.0945	0.0940	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.0920	0.0913	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.0894	0.0888	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.0860	0.0857	0.4083	0.4056
Dasar	0.0817	0.082	0.3851	0.3853
SDasar	0.0006	0.0006	0.0048	0.0051
Base	0	0	0	0



Gambar 4.4 Grafik *displacement* model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1

Tabel 4-6 Simpangan antar lantai model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1 akibat beban gempa dan batasannya (meter)

Level	Model 3		Model 4		Max
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6	0.0010	0.0013	0.0080	0.0106	0.0540
Lantai 5	0.0019	0.0025	0.0144	0.0185	0.0540
Lantai 4	0.0027	0.0034	0.0184	0.0232	0.0540
Lantai 3	0.0029	0.0032	0.0182	0.0199	0.0540
Lantai 2	0.0035	0.0038	0.0207	0.0222	0.0540
Lantai 1	0.0045	0.0047	0.0244	0.0252	0.0600



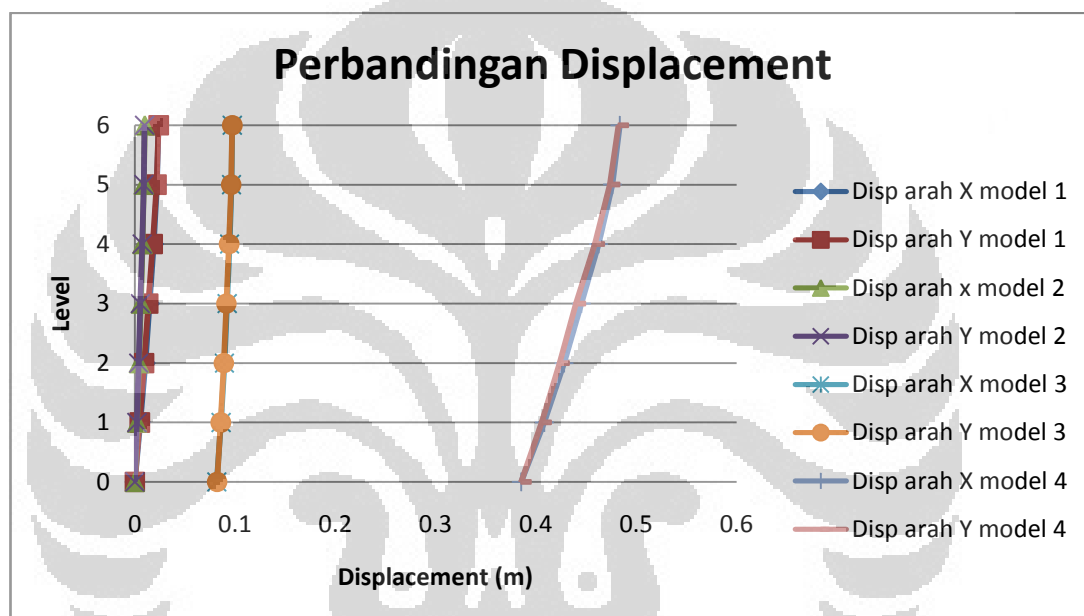
Gambar 4.5 Grafik simpangan antar lantai model 3 dan 4 arah X dan Y simulasi 1

Dari grafik dan tabel yang telah ditampilkan maka simpangan pada struktur tidak melebihi nilai maksimumnya, baik kondisi layannya maupun kondisi ultimitnya. Untuk model 3 dan 4 perhitungan batasan simpangan maksimumnya tidak menggunakan rumus yang ada di SNI, melainkan menggunakan rumus $0,015.h_{sx}$ (h_{sx} adalah ketinggian lantai di bawah level yang ditinjau). Rumus tersebut digunakan untuk struktur di atas isolator sehingga pada tabel 4.6 dan gambar 4.5 level ketinggiannya tidak dimulai dari dasar bangunan melainkan dari lantai 1.

Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa terdapat perpindahan yang cukup besar dari level 1 ke level 2 untuk model 3 dan 4. Perpindahan yang besar itu disebabkan karena defleksi dari isolator akibat dari beban gempa yang terjadi, sedangkan besar perpindahannya berbeda antara model 3 dan 4 karena gaya gempanya berbeda (akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya).

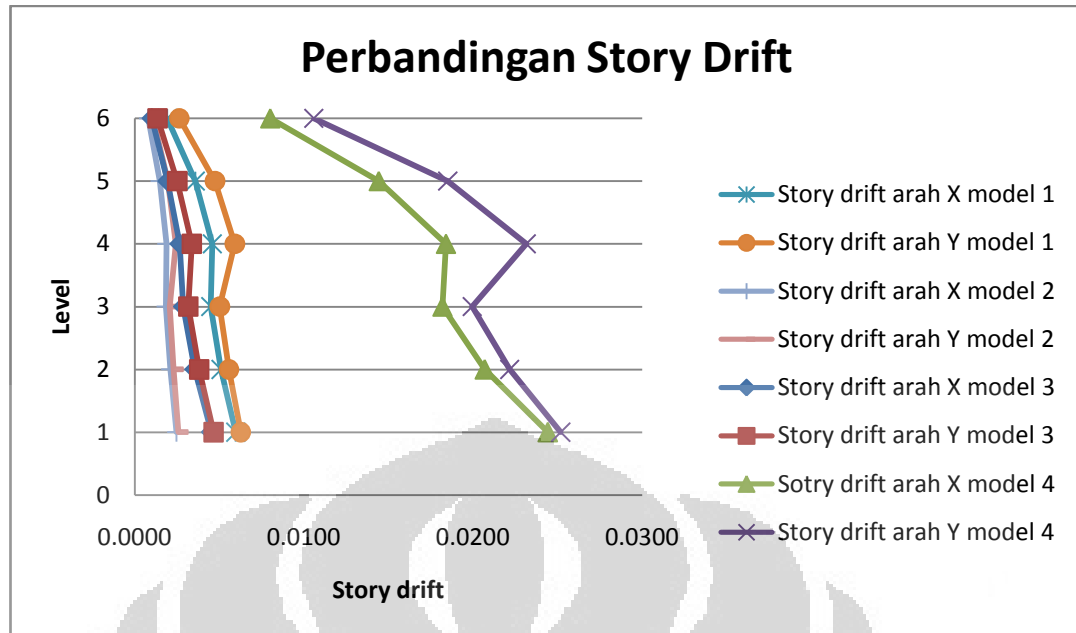
Tabel 4-7 Perbandingan *displacement* simulasi 1 (meter)

Level	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.0238	0.0237	0.0098	0.0097	0.0972	0.0971	0.4836	0.4824
Lantai 5	0.0221	0.0216	0.0091	0.0089	0.0963	0.0960	0.4761	0.4737
Lantai 4	0.0189	0.0179	0.0078	0.0074	0.0945	0.0940	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.0147	0.0133	0.006	0.0055	0.0920	0.0913	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.0104	0.0093	0.0043	0.0038	0.0894	0.0888	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.0056	0.0049	0.0023	0.002	0.0860	0.0857	0.4083	0.4056
Dasar	0	0	0	0	0.0817	0.082	0.3851	0.3853

Gambar 4.6 Grafik perbandingan *displacement* simulasi 1

Tabel 4-8 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 1 (meter)

Level	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.0019	0.0026	0.0008	0.0011	0.0010	0.0013	0.0080	0.0106
Lantai 5	0.0036	0.0047	0.0015	0.0020	0.0019	0.0025	0.0144	0.0185
Lantai 4	0.0046	0.0059	0.0019	0.0024	0.0027	0.0034	0.0184	0.0232
Lantai 3	0.0045	0.0050	0.0018	0.0021	0.0029	0.0032	0.0182	0.0199
Lantai 2	0.0051	0.0056	0.0021	0.0023	0.0035	0.0038	0.0207	0.0222
Lantai 1	0.0060	0.0063	0.0025	0.0026	0.0045	0.0047	0.0244	0.0252



Gambar 4.7 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 1

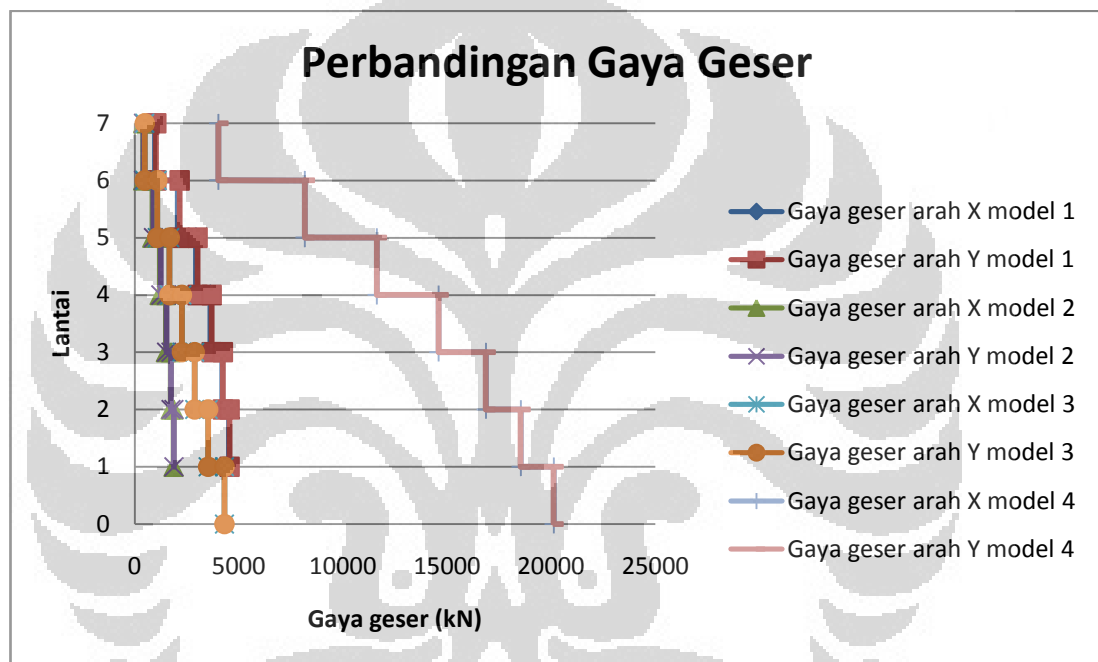
Dari tabel dan grafik perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa *displacement* model 3 dan 4 lebih besar daripada model 1 dan 2. Hal ini dikarenakan deformasi dari isolator itu sendiri sehingga menyebabkan lompatan *displacement* dan berdampak pada lantai – lantai di atasnya. *Displacement* lantai atas model 3 setelah dikurangi *displacement* isolator adalah 0,0155 meter untuk arah X dan 0,0151 meter untuk arah Y. artinya bahwa *displacement* lantai atas model 3 lebih kecil 34,87% dari model 1 untuk arah X dan lebih kecil 36,29% untuk arah Y. Selain itu nilai simpangan model 3 lebih kecil dibanding model 1. Ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator mengurangi simpangan antar lantai. Namun simpangan model 3 masih lebih besar dibanding model 2 karena gaya gempa pada model 3 ($R=2$) lebih besar daripada model 2 ($R=8,5$). Sedangkan untuk model 4 juga menggunakan isolator namun nilai simpangannya jauh lebih besar dibanding model 1 dan 2. Ini disebabkan karena model 4 didesain menggunakan metode *Performance Based Design* dengan gaya yang jauh lebih besar sesuai dengan persyaratan dan ketentuan yang tercantum pada UBC 1997.

4.1.3 Gaya geser dasar dan tingkat

Tabel perbandingan gaya geser dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-9 Perbandingan gaya geser simulasi 1 (kN)

Level	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	964.14	1019.39	396.58	419.32	467.86	471.14	4009.69	4009.41
Lantai 5	2064.98	2153.3	849.39	885.75	1072.54	1077.79	8164.86	8163.74
Lantai 4	2931.35	3013.9	1205.75	1239.75	1659.69	1664.54	11619.81	11617.03
Lantai 3	3634.14	3688.75	1494.83	1517.35	2260.42	2263.43	14590.69	14584.84
Lantai 2	4193.17	4228.28	1724.78	1739.28	2872.34	2875.84	16861.41	16852.12
Lantai 1	4527.26	4545.79	1862.2	1869.89	3508.98	3514.93	18539.64	18527
Dasar					4295.6	4308.05	20121.42	20109.41



Gambar 4.8 Perbandingan gaya geser simulasi 1

Dari tabel 4.9 dan gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa model 4 nilai gaya geser tingkat dan dasarnya jauh lebih besar dibanding ketiga model lainnya. Sekali lagi hal ini disebabkan karena model 4 menggunakan metode *Performance Based Design* yang mengakibatkan gaya gesernya meningkat. Untuk model 3 gaya geser tingkat dan dasarnya lebih kecil dari model 1, namun masih lebih besar dari model 2. Kondisi ini sebagai konsekuensi dari nilai R untuk model 3 adalah sebesar 2 sehingga gaya – gaya gempanya secara perhitungan akan lebih besar dari model 1 dan 2. Adanya isolator pada model 3 dan 4 memberikan indikasi bahwa isolator juga menerima sebagian gaya geser yang bekerja pada struktur

sehingga gaya geser yang diterima struktur menjadi lebih kecil, terbukti dari model 3 ($R=2$) dengan gaya gempa lebih besar tetapi menghasilkan gaya geser tingkat yang lebih kecil dari model 1 ($R=3,5$) namun tidak lebih kecil dari model 2 ($R=8,5$) karena gaya gempa pada model 2 jauh lebih kecil. Gaya geser arah X lantai 1 model 3 lebih kecil 22,49% dari model 1 dan untuk arah Y lebih kecil 22,68%. Gaya geser arah X lantai 1 pada model 3 masih lebih besar 88,43% dari model 2 dan untuk arah Y lebih besar 87,98%.

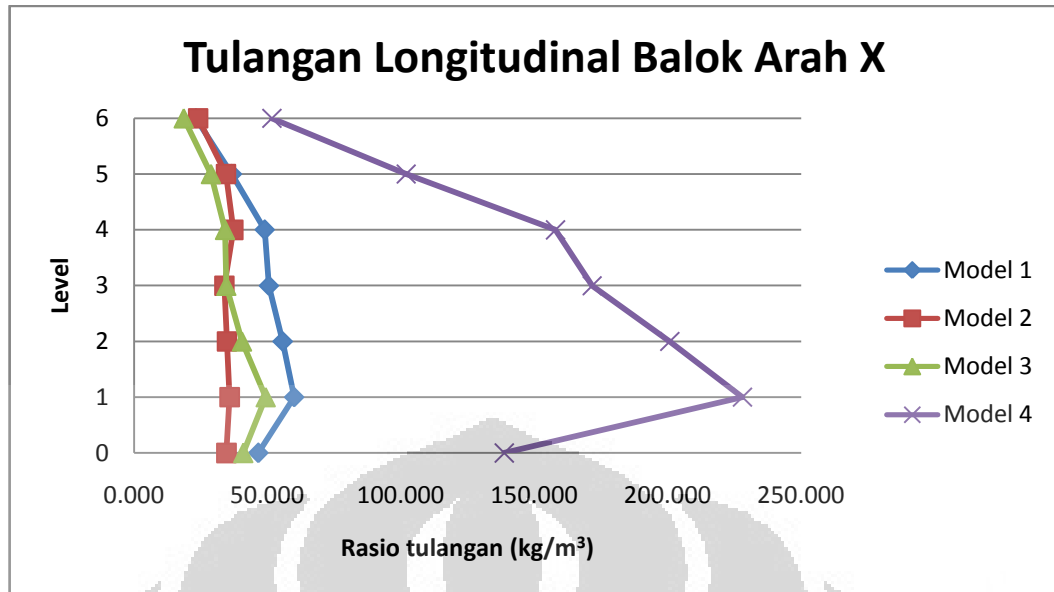
Dari percobaan yang pernah dilakukan penulis, bila struktur terisolasi (model 3) menggunakan nilai $R = 8,5$ maka gaya – gaya geser yang dihasilkan jauh lebih kecil daripada gaya geser model 1 dan 2 namun di peraturan disebutkan bahwa nilai R maksimum untuk struktur terisolasi adalah 2.

4.1.4 Rasio tulangan lentur dan geser

Rasio tulangan yang akan dibandingkan adalah rasio tulangan longitudinal balok arah X dan Y, rasio tulangan geser balok dan kolom arah X dan Y, dan rasio tulangan longitudinal kolom.

Tabel 4-10 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 1 (kg/m^3)

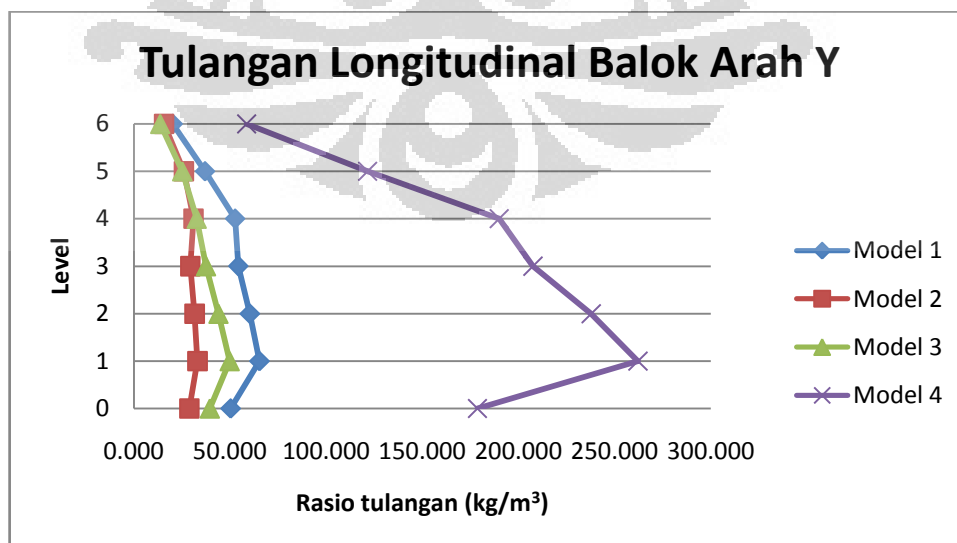
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	23.119	24.016	18.601	51.629
Lantai 5	36.628	34.440	28.747	101.945
Lantai 4	48.916	37.219	34.037	157.927
Lantai 3	50.492	33.798	34.581	171.712
Lantai 2	55.708	34.796	40.383	200.757
Lantai 1	59.982	35.802	49.264	228.012
Dasar	46.545	34.607	40.861	138.760



Gambar 4.9 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 1

Tabel 4-11 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 1 (kg/m³)

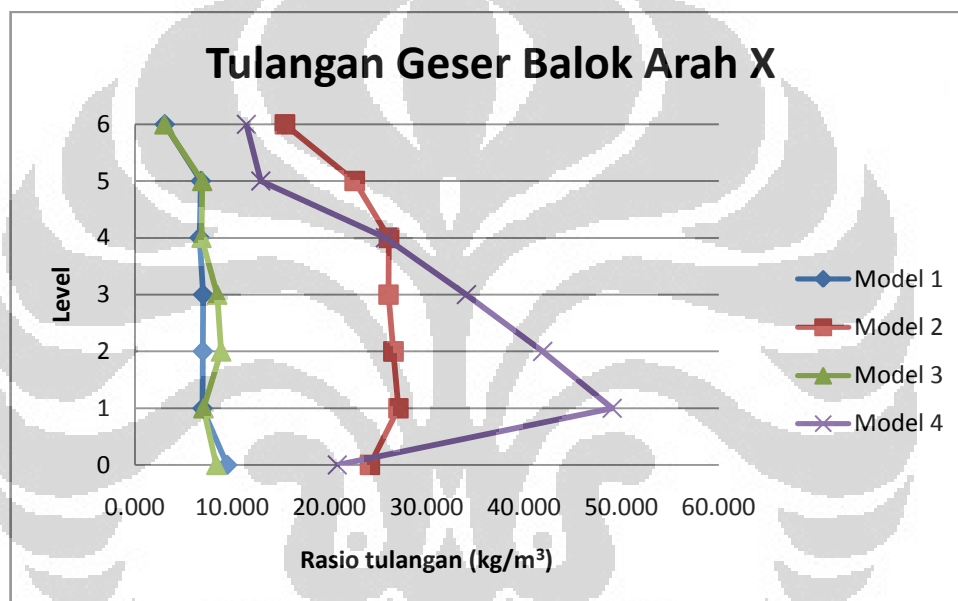
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	20.072	15.681	13.624	58.557
Lantai 5	36.916	25.958	25.176	121.434
Lantai 4	52.622	30.931	32.579	189.883
Lantai 3	54.218	29.229	37.393	207.455
Lantai 2	60.293	31.534	43.911	237.746
Lantai 1	65.286	33.005	49.778	262.020
Dasar	50.334	28.814	39.449	178.530



Gambar 4.10 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 1

Tabel 4-12 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 1 (kg/m^3)

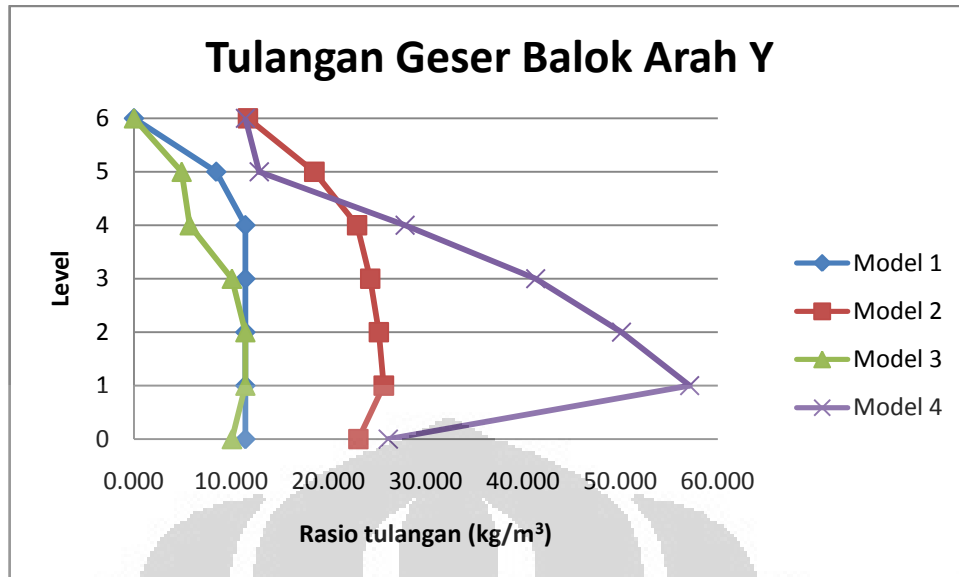
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	3.066	15.411	3.027	11.443
Lantai 5	6.780	22.588	6.908	12.920
Lantai 4	6.643	26.100	6.845	25.737
Lantai 3	7.020	26.053	8.458	34.066
Lantai 2	6.970	26.563	8.862	41.892
Lantai 1	6.931	27.066	7.054	49.046
Dasar	9.478	24.145	8.348	20.793



Gambar 4.11 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 1

Tabel 4-13 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 1 (kg/m^3)

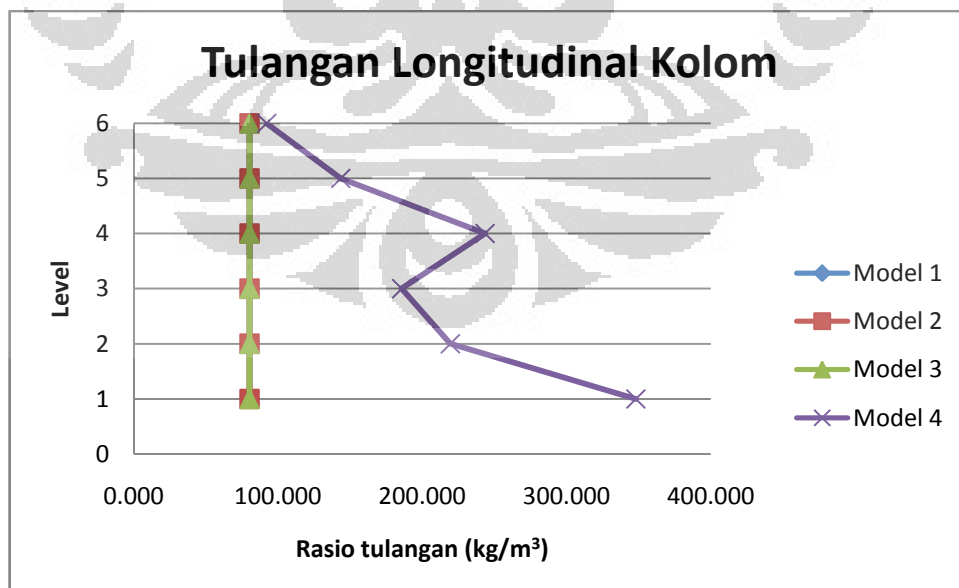
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	0.000	11.718	0.000	11.443
Lantai 5	8.446	18.539	4.904	12.881
Lantai 4	11.443	22.929	5.722	27.864
Lantai 3	11.443	24.268	10.081	41.295
Lantai 2	11.443	25.168	11.443	50.100
Lantai 1	11.443	25.672	11.443	57.114
Dasar	11.443	23.055	10.081	26.137



Gambar 4.12 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 1

Tabel 4-14 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 1 (kg/m^3)

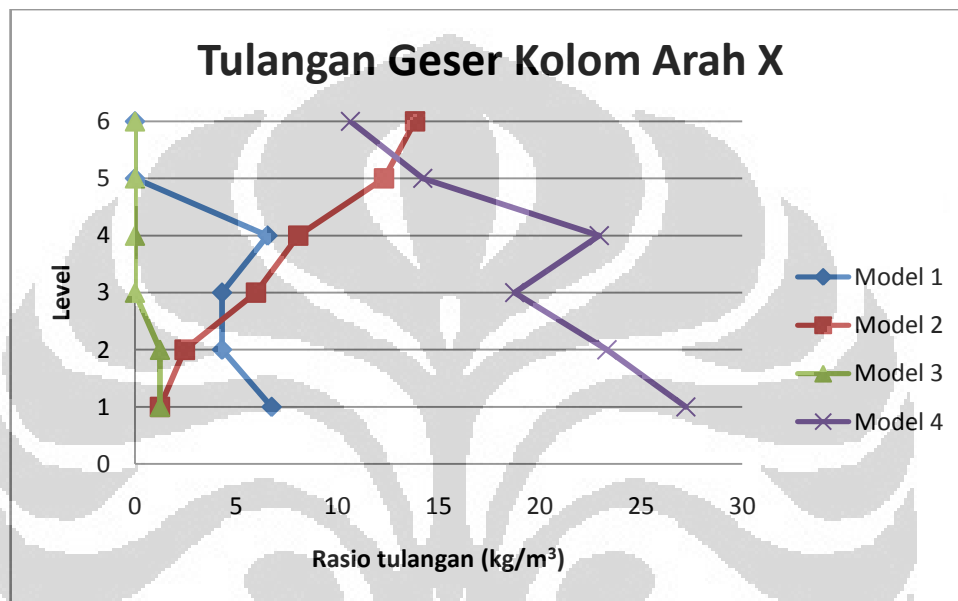
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	80.020	80.020	80.020	91.955
Lantai 5	80.020	80.020	80.020	143.346
Lantai 4	80.020	80.020	80.020	243.467
Lantai 3	80.020	80.020	80.020	185.599
Lantai 2	80.020	80.020	80.020	219.319
Lantai 1	80.020	80.020	80.020	348.011



Gambar 4.13 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 1

Tabel 4-15 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 1 (kg/m^3)

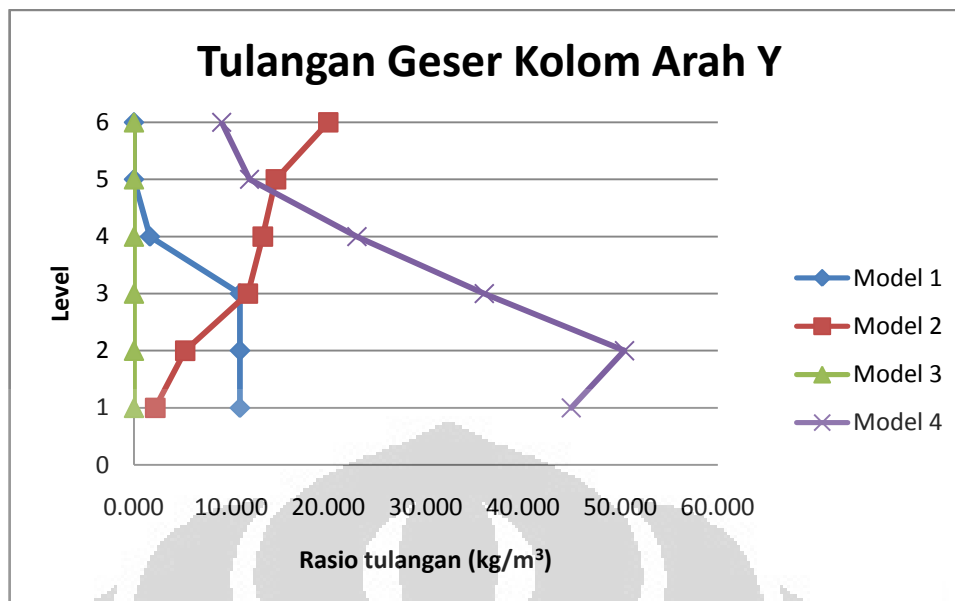
Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	0	13.828	0.000	10.638
Lantai 5	0	12.304	0.000	14.208
Lantai 4	6.546	8.058	0.000	22.932
Lantai 3	4.296	5.978	0.000	18.745
Lantai 2	4.296	2.455	1.227	23.312
Lantai 1	6.751	1.227	1.227	27.208



Gambar 4.14 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 1

Tabel 4-16 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 1 (kg/m^3)

Level	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Lantai 6	0.000	19.963	0.000	9.001
Lantai 5	0.000	14.591	0.000	11.875
Lantai 4	1.637	13.235	0.000	22.917
Lantai 3	10.908	11.716	0.000	36.012
Lantai 2	10.908	5.264	0.000	50.418
Lantai 1	10.908	2.182	0.000	44.938



Gambar 4.15 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 1

Dari tabel tulangan longitudinal balok arah X dan Y, dapat dilihat bahwa rasio tulangan longitudinal tiap lantai pada model 3 lebih kecil dibanding model 1. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *base isolation* pada struktur yang didesain dengan metode *Strength Based Design* dapat mereduksi gaya – gaya dalam pada struktur. Untuk model 3 rasio tulangan longitudinal lantai 4 sampai lantai 6 lebih kecil dibanding model 2, namun di lantai dasar sampai lantai 3 rasionya lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator efektif mengurangi gaya dalam bagian atas struktur, sedangkan rasio yang lebih besar pada lantai dasar sampai lantai 3 diakibatkan karena perbedaan gaya gempa yang bekerja, yaitu model 2 menggunakan $R=8,5$ sedangkan model 3 menggunakan $R=2$. Untuk model 4 rasio tulangan longitudinalnya sangat jauh berbeda karena nilai gaya dalamnya jauh lebih besar.

Dari tabel tulangan geser balok arah X, rasio tulangan model 3 dari lantai 1 sampai lantai 5 lebih besar dibanding model 1. Dari tabel tulangan geser balok arah Y, rasio tulangan model 3 lebih kecil dibanding model 1 untuk seluruh lantai.

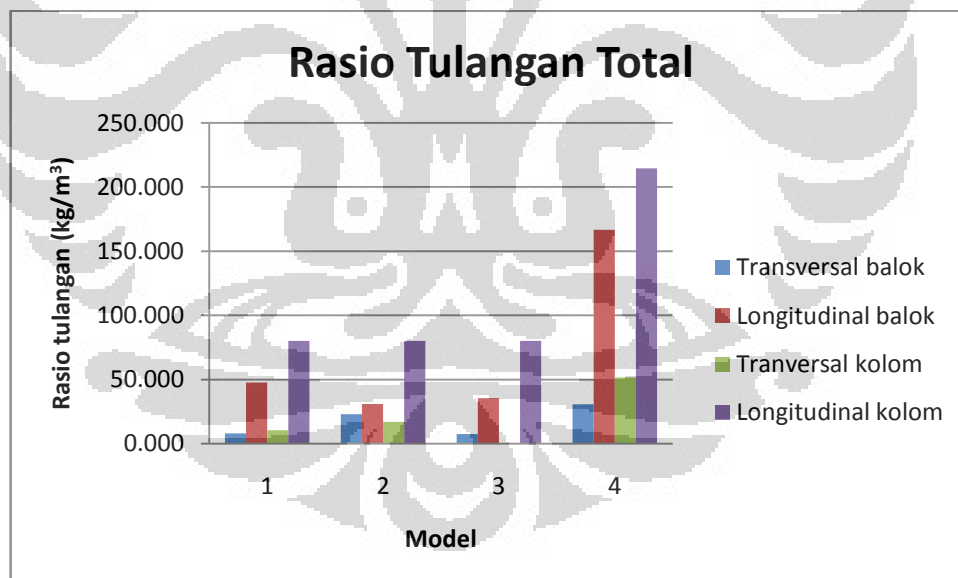
Dari tabel tulangan longitudinal kolom dapat dilihat bahwa nilai rasio tulangan per lantai antara model 1, model 2, dan model 3 nilainya sama, yaitu $80,02 \text{ kg/m}^3$. Nilai rasio ini merupakan nilai rasio minimum dikarenakan dimensi

kolom yang besar. Sedangkan untuk model 4 rasio tulangnya tidak minimum karena gayanya lebih besar.

Dari tabel tulangan geser kolom arah X dan Y, rasio tulangan tiap lantai model 3 lebih kecil dibanding model 1. hal ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator dapat mengurangi kebutuhan tulangan geser kolom. Rasio tulangan model 3 juga lebih kecil dibanding model 2 walaupun gaya gesernya lebih besar daripada gaya geser model 2. Sama halnya dengan balok, penggunaan isolator juga dapat mengurangi kebutuhan tulangan geser kolom.

Tabel 4-17 Total rasio tulangan simulasi 1 (kg/m^3)

Model	Balok		Kolom		TOTAL
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	
1	8.059	47.746	10.476	80.020	29.362
2	23.066	31.037	16.916	80.020	29.816
3	7.504	35.435	0.483	80.020	22.871
4	30.785	166.643	51.730	214.633	100.570



Gambar 4.16 Rasio tulangan total simulasi 1

Dari tabel dan grafik dapat dilihat bahwa penggunaan isolator pada model 3 dapat mereduksi kebutuhan tulangan transversal dan longitudinal bila dibandingkan dengan model 1 yang keduanya didesain dengan SRPMB. Sedangkan untuk model 2 walaupun didesain dengan gaya gempa yang lebih kecil

namun rasio tulangan gesernya masih lebih besar karena didesain dengan SRPMK yang menuntut pendetailan tulangan geser lebih.

4.2 Simulasi Kedua

Pada simulasi kedua ini untuk selanjutnya struktur dengan metode SBD (*Strength Based Design*) akan disebut model 5 dan struktur yang di desain dengan metode PBD (*Performance Based Design*) akan disebut model 6.

4.2.1 Periode getar, sifat pola getar, dan jumlah mode

Periode getar, jumlah mode, dan sifat pola ragam getar untuk kedua model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-18 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 2

Model	Jumlah Mode	Partisipasi Massa								
		Mode 1			Mode 2			Mode 3		
		Periode	Arah	%	Periode	Arah	%	Periode	Arah	%
5	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146071	Torsi	94.735
6	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146071	Torsi	94.735

Dari tabel 4.18 dapat dilihat bahwa baik model 5 maupun model 6 memiliki periode getar, jumlah mode, dan persentase partisipasi massa yang sama. Hal ini dikarenakan struktur model 5 dan model 6 adalah sama, baik dari segi dimensi penampang komponen struktur, kekakuan dari isolator – isolator yang digunakan, dan juga beban – beban yang bekerja pada struktur. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa faktor yang mempengaruhi periode getar dan partisipasi massa adalah kekakuan struktur dan massa yang dimasukkan di *mass source (seismic dead load)* dengan kombinasi 1 DL + 1 SDL + 0,3 LL, sedangkan gaya gempa tidak berpengaruh terhadap periode sehingga walaupun gaya gempa pada model 6 jauh lebih besar dibanding model 5 namun menghasilkan periode dan partisipasi massa yang sama.

Pada kedua model tersebut hanya membutuhkan tiga mode untuk mencapai partisipasi massa minimum sebesar 90%. Kondisi ini disebabkan karena pengaruh isolator gempa yang digunakan. Walaupun struktur di atas isolator dapat

dikatakan sangat kaku dengan dimensi penampang yang besar, namun karena sifat elastis dari isolator maka struktur tersebut tetap elastis sehingga pada mode – mode awal hampir seluruh massa dapat digetarkan.

Bila kekakuan isolator ditingkatkan, maka akan berpengaruh langsung pada periode getarnya, yaitu periode getar struktur akan lebih kecil karena semakin besar kekakuan maka periode akan semakin kecil dan sebaliknya. Yang perlu diperhatikan dalam mendesain struktur menggunakan isolator gempa adalah besarnya periode getar yang diperoleh kurang lebih sebesar 3x periode struktur *fixed base* dan periodenya tidak boleh melebihi 3 detik (tercantum dalam persyaratan di UBC 1997 dan telah disebutkan pada bagian dasar teori). Periode getar yang dialami struktur masih di bawah 3 detik sehingga memenuhi persyaratan yang ada.

4.2.2 Displacement isolator gempa

Fungsi isolator gempa yang dipasang pada struktur adalah untuk menyerap sebagian besar gaya gempa yang bekerja pada struktur sehingga gaya gempa yang akan dialami struktur akan lebih kecil dan terlebih dahulu telah diterima oleh isolator. Yang menjadi perbedaan mendasar antara model 5 dan model 6 adalah pada model 5 *displacement* isolatornya tidak ditentukan di awal, namun nilainya diperoleh dari gaya – gaya gempa yang terjadi. Untuk model 6 besar *displacement* ditentukan dahulu di awal baru kemudian dari besarnya *displacement* tersebut dicari nilai gaya gesernya yang kemudian disebar ke lantai – lantai di atasnya. Karena ini merupakan *Performance Based Design*, maka tentunya besarnya *displacement* isolator model 6 akan jauh lebih besar dibanding model 5.

Tabel 4-19 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 2 (meter)

Model	Tipe Isolator	Displacement Isolator		Limit
		Arah X	Arah Y	
5	HT090X6R	0.0865	0.1035	0.4964
	HT110X6R	0.0865	0.0886	0.4728
6	HT090X6R	0.4048	0.4809	0.4964
	HT110X6R	0.4048	0.4131	0.4728

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa *displacement* model 6 jauh lebih besar dibanding model 5. Inilah yang menjadi pembeda antara desain struktur menggunakan metode *Strength Based Design* dan *Performance Based Design*. Besar *displacement* isolator tipe HT090X6R untuk arah X pada model 6 lebih besar 367,98% dari model 5 dan untuk arah Y lebih besar 364,64% dari model 5. Sedangkan besar *displacement* isolator tipe HT110X6R untuk arah X pada model 6 lebih besar 364,64% dari model 5 dan untuk arah Y lebih besar 366,25% dari model 5. Akibat pengaruh *displacement* isolator yang besar ini maka akan berdampak pula pada *displacement* dan simpangan antar lantai, lalu gaya geser dasar dan tingkat, dan kemudian gaya geser akan berdampak pada kebutuhan tulangan yang jauh lebih besar (semuanya akan dibahas pada bagian selanjutnya).

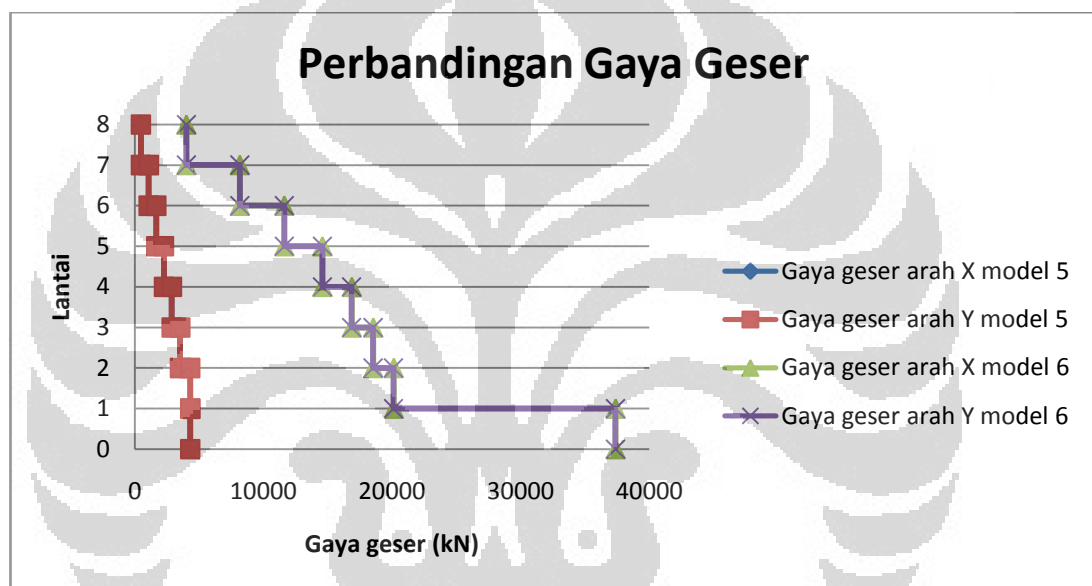
Dari tabel dapat dilihat bahwa *displacement* dari isolator tidak melebihi batas maksimumnya. Perlu diperhatikan bahwa *displacement* isolator tersebut harus tidak boleh melebihi besarnya *displacement* maksimum dari isolator itu sendiri. Bagian inilah yang menjadi salah satu kesulitan mendesain struktur menggunakan isolator gempa, khususnya dengan metode *Performance Based Design*. Perlu dilakukan *trial and error* dalam menentukan konfigurasi isolator sampai akhirnya diperoleh konfigurasi yang tepat dalam artian periode getarnya memenuhi persyaratan, tidak ada komponen struktur yang mengalami *overstress* dan rasio tulangannya tidak melebihi maksimum, dan yang terpenting juga *displacement* isolator tidak melebihi batasan maksimumnya.

4.2.3 Gaya geser dasar dan gaya geser tingkat

Pada bagian ini akan ditampilkan perbedaan gaya geser model 5 dan model 6. Untuk model 5 analisisnya menggunakan analisa dinamik (respon spektrum), sedangkan model 6 menggunakan analisa statik (statik ekuivalen). Perbandingan gaya geser dari kedua model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-20 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 2 (kN)

Level	Model 5		Model 6	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	467.86	471.14	4009.69	4009.41
Lantai 5	1072.54	1077.79	8164.86	8163.74
Lantai 4	1659.69	1664.54	11619.81	11617.03
Lantai 3	2260.42	2263.43	14590.69	14584.84
Lantai 2	2872.34	2875.84	16861.41	16852.12
Lantai 1	3508.98	3514.93	18539.64	18527
Dasar	4295.6	4308.05	20121.42	20109.41
SDasar	4297.67	4310.28	37371.99	37360.43



Gambar 4.17 Grafik perbandingan gaya geser simulasi 2

Dari tabel dan gambar di atas dapat dilihat bahwa adanya perbedaan gaya geser yang besar antara model 5 dan 6 dimana model 5 didesain dengan metode SBD dan model 6 didesain dengan metode PBD. Yang menyebabkan model 6 memiliki gaya geser yang besar adalah karena pada model 6 gaya geser yang dihitung ditentukan dari besarnya *displacement* yang dialami oleh isolator. Pada bagian sebelumnya telah diketahui bahwa *displacement* isolator model 6 lebih besar dari model 5. Dari *displacement* yang besar itu maka diperoleh nilai gaya geser dasar struktur. Gaya geser dasar ini berbanding lurus dengan *displacement* isolator, sehingga semakin besar *displacement*nya maka gaya geser dasarnya makin besar pula. Setelah diperoleh gaya geser dasar, maka selanjutnya dicari

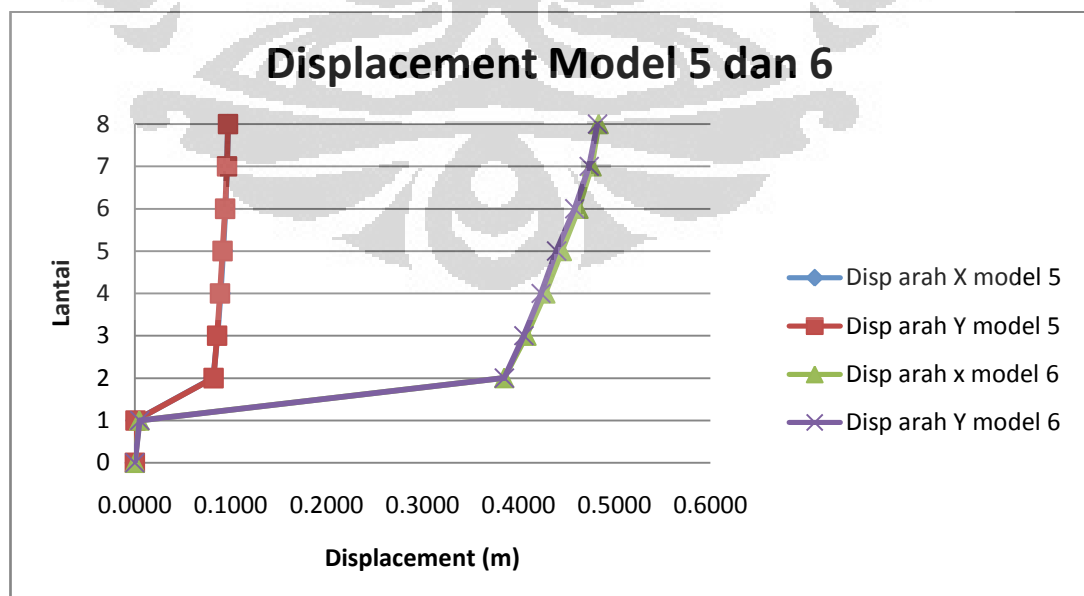
gaya geser untuk struktur di atas isolator, caranya yaitu gaya geser dasar yang diperoleh tadi dibagi dengan R untuk struktur terisolasi, yaitu 2 baru kemudian disebar per lantai menggunakan metode statik ekuivalen. Gaya geser di level isolator pada model 6 arah X lebih besar 368,42% dari model 5 dan untuk arah Y lebih besar 366,79% dari model 5.

4.2.4 Displacement dan simpangan antar lantai

Perbandingan *displacement* model 5 dan model 6 akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4-21 Perbandingan *displacement* arah X dan Y simulasi 2 (meter)

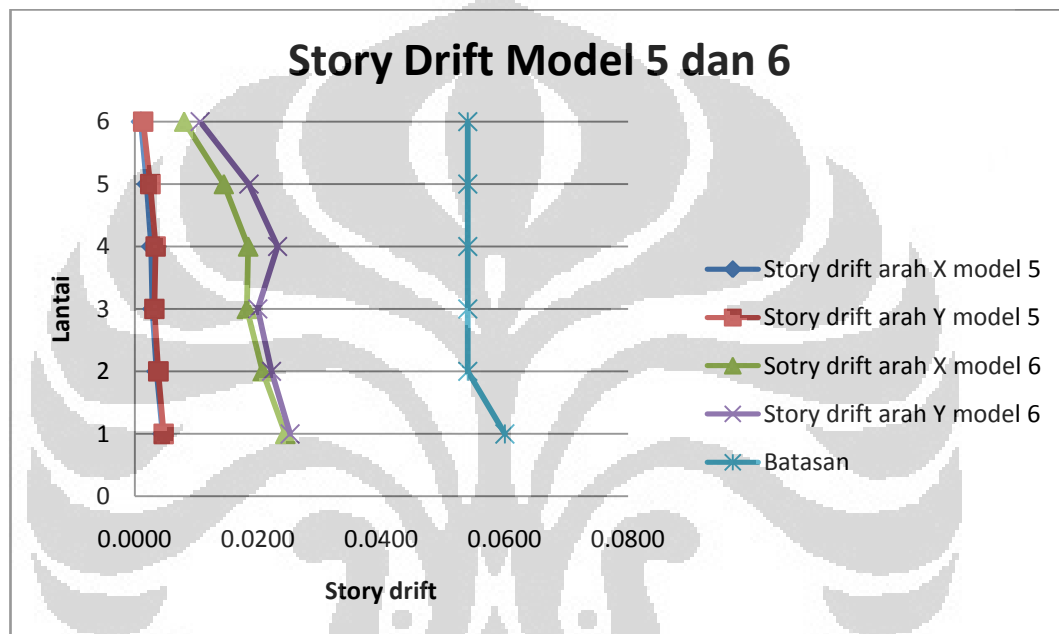
Level	Model 5		Model 6	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.0972	0.0971	0.4836	0.4824
Lantai 5	0.0963	0.0960	0.4761	0.4737
Lantai 4	0.0945	0.0940	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.0920	0.0913	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.0894	0.0888	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.0860	0.0857	0.4083	0.4056
Dasar	0.0817	0.082	0.3851	0.3853
SDasar	0.0006	0.0006	0.0048	0.0051
Base	0	0	0	0



Gambar 4.18 Grafik perbandingan *displacement* simulasi 2

Tabel 4-22 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 2 (meter)

Level	Model 5		Model 6		Max
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6	0.0010	0.0013	0.0080	0.0106	0.0540
Lantai 5	0.0019	0.0025	0.0144	0.0185	0.0540
Lantai 4	0.0027	0.0034	0.0184	0.0232	0.0540
Lantai 3	0.0029	0.0032	0.0182	0.0199	0.0540
Lantai 2	0.0035	0.0038	0.0207	0.0222	0.0540
Lantai 1	0.0045	0.0047	0.0244	0.0252	0.0600



Gambar 4.19 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 2

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat perbedaan *displacement* dan simpangan antar lantai yang sangat besar antara model 5 dan model 6. Perbedaan yang sangat besar ini sebagai akibat dari gaya geser model 6 yang nilainya jauh lebih besar dari model 5 yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Semakin besar gaya geser maka secara otomatis nilai *displacement* dan simpangan lantai strukturnya juga semakin besar. *Displacement* lantai 6 arah X pada model 6 setelah dikurangi *displacement* isolator adalah sebesar 0,0155 meter dan arah Y sebesar 0,0151 meter. Sedangkan *displacement* lantai 6 arah X pada model 6 setelah dikurangi *displacement* isolator adalah sebesar 0,0985 meter dan arah Y sebesar 0,0971 meter. Artinya bahwa *displacement* lantai 6 model 6 untuk arah X

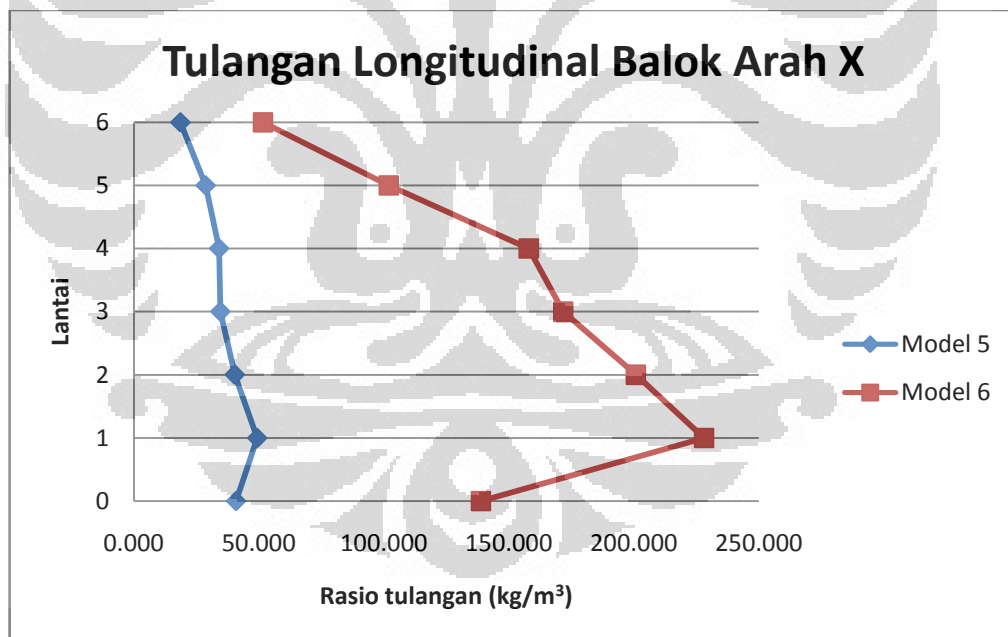
lebih besar 535,48% dari model 5 dan untuk arah Y lebih besar 543,05% dari model 5.

4.2.5 Rasio tulangan lentur dan geser

Rasio tulangan yang akan dibandingkan adalah rasio tulangan longitudinal balok arah X dan Y, rasio tulangan geser balok dan kolom arah X dan Y, dan rasio tulangan longitudinal kolom.

Tabel 4-23 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 2 (kg/m^3)

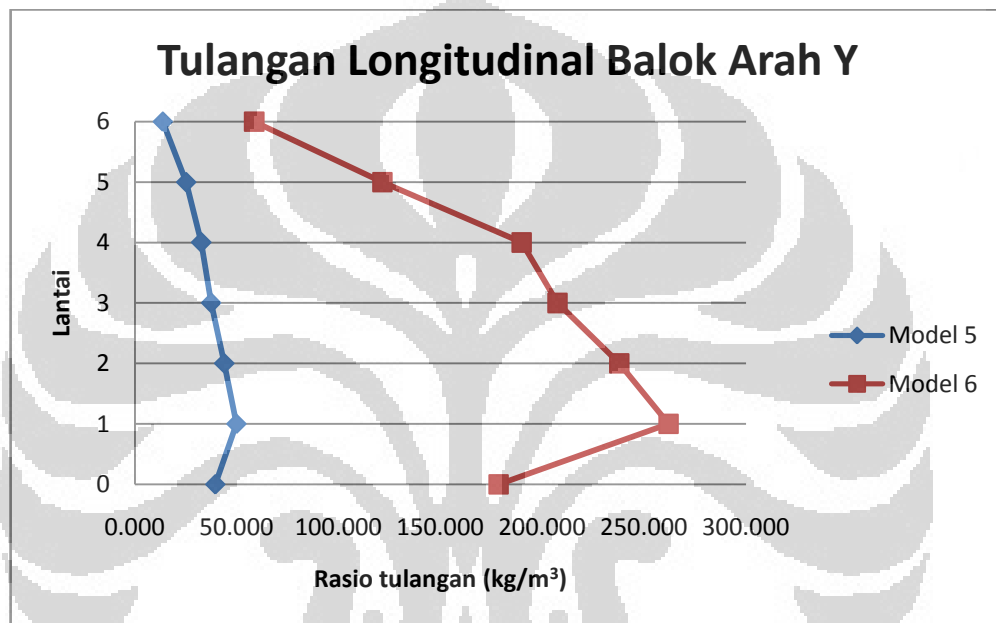
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	18.601	51.629
Lantai 5	28.747	101.945
Lantai 4	34.037	157.927
Lantai 3	34.581	171.712
Lantai 2	40.383	200.757
Lantai 1	49.264	228.012
Dasar	40.861	138.760



Gambar 4.20 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 2

Tabel 4-24 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 2 (kg/m^3)

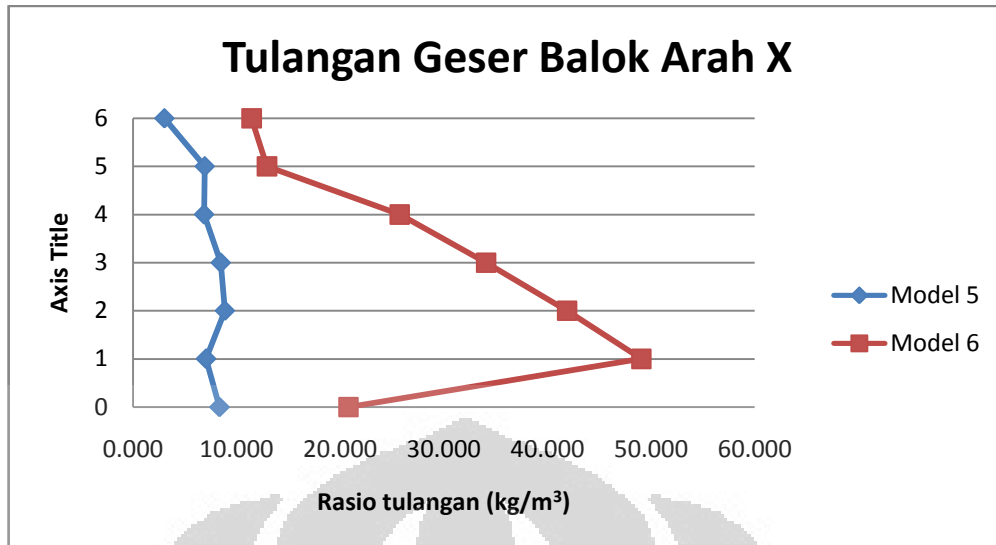
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	13.624	58.557
Lantai 5	25.176	121.434
Lantai 4	32.579	189.883
Lantai 3	37.393	207.455
Lantai 2	43.911	237.746
Lantai 1	49.778	262.020
Dasar	39.449	178.530



Gambar 4.21 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 2

Tabel 4-25 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 2 (kg/m^3)

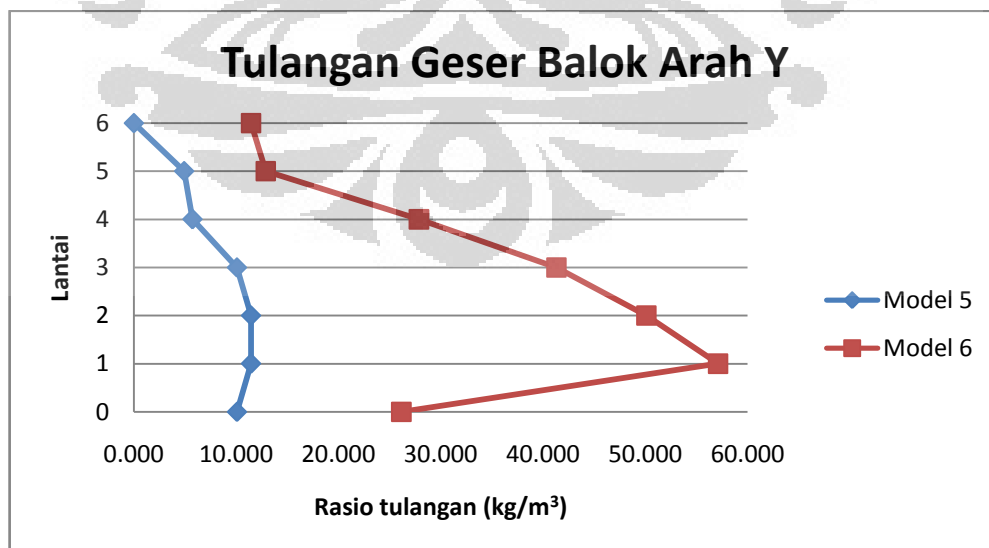
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	3.027	11.443
Lantai 5	6.908	12.920
Lantai 4	6.845	25.737
Lantai 3	8.458	34.066
Lantai 2	8.862	41.892
Lantai 1	7.054	49.046
Dasar	8.348	20.793



Gambar 4.22 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 2

Tabel 4-26 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 2 (kg/m³)

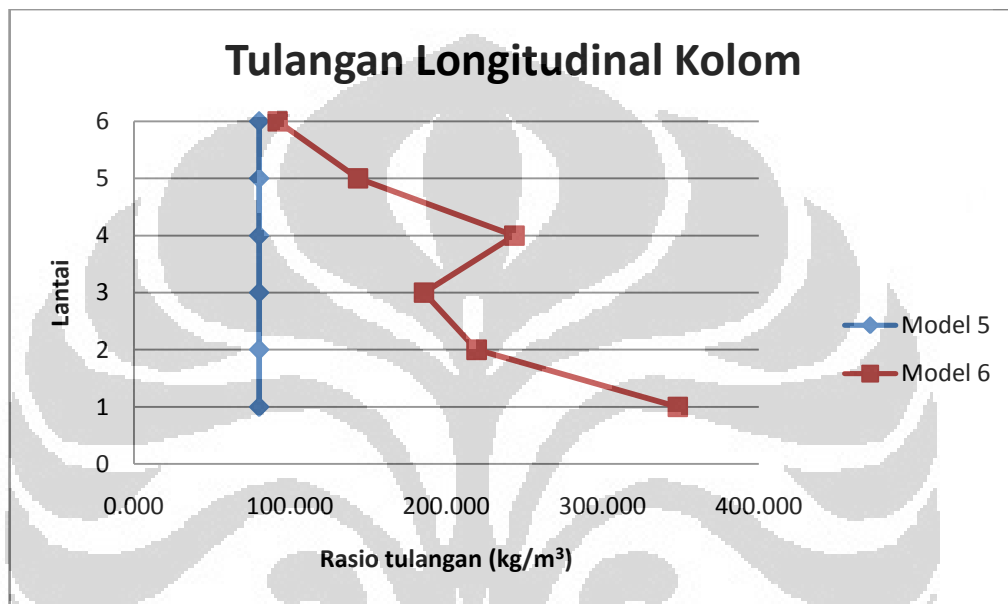
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	0.000	11.443
Lantai 5	4.904	12.881
Lantai 4	5.722	27.864
Lantai 3	10.081	41.295
Lantai 2	11.443	50.100
Lantai 1	11.443	57.114
Dasar	10.081	26.137



Gambar 4.23 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 2

Tabel 4-27 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 2 (kg/m^3)

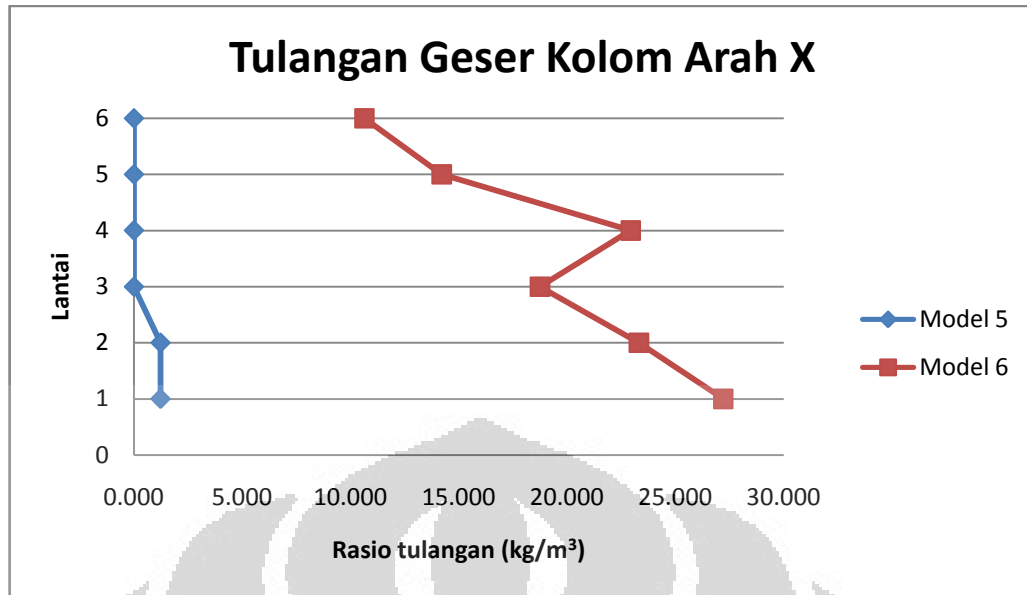
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	80.020	91.955
Lantai 5	80.020	143.346
Lantai 4	80.020	243.467
Lantai 3	80.020	185.599
Lantai 2	80.020	219.319
Lantai 1	80.020	348.011



Gambar 4.24 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 2

Tabel 4-28 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 2 (kg/m^3)

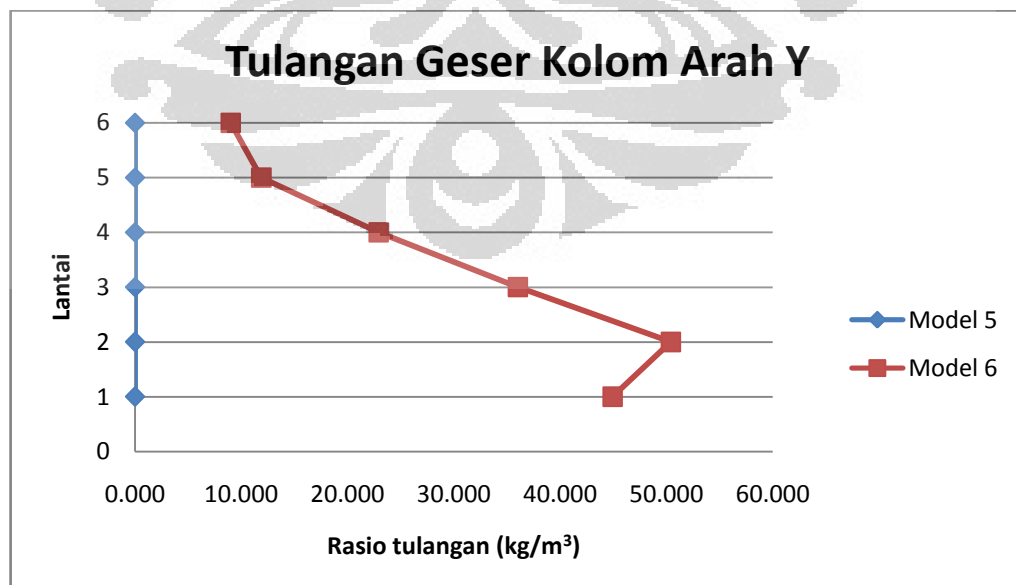
Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	0.000	9.820
Lantai 5	0.000	12.579
Lantai 4	0.000	19.950
Lantai 3	0.000	16.353
Lantai 2	1.227	22.119
Lantai 1	1.227	24.223



Gambar 4.25 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 2

Tabel 4-29 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 2 (kg/m³)

Level	Model 5	Model 6
Lantai 6	0.000	9.001
Lantai 5	0.000	11.875
Lantai 4	0.000	22.917
Lantai 3	0.000	36.012
Lantai 2	0.000	50.418
Lantai 1	0.000	44.938



Gambar 4.26 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 2

Dari tabel tulangan longitudinal balok arah X dan Y, dapat dilihat bahwa rasio tulangan longitudinal tiap lantai pada model 5 lebih kecil dibanding model 6. Hal ini dikarenakan pada model 6 gaya – gaya yang bekerja jauh lebih besar dibanding model 5 karena didesain dengan metode *Performance Based Design*. Untuk model 6, rasio tulangan baloknya mendekati batasan rasio tulangan balok maksimum, yaitu 2,5%. Sebenarnya rasio tersebut dapat lebih dikecilkan karena dalam pelaksanaan akan sangat susah dalam memasang tulangnya, namun konsekuensinya harus memperbesar dimensi balok.

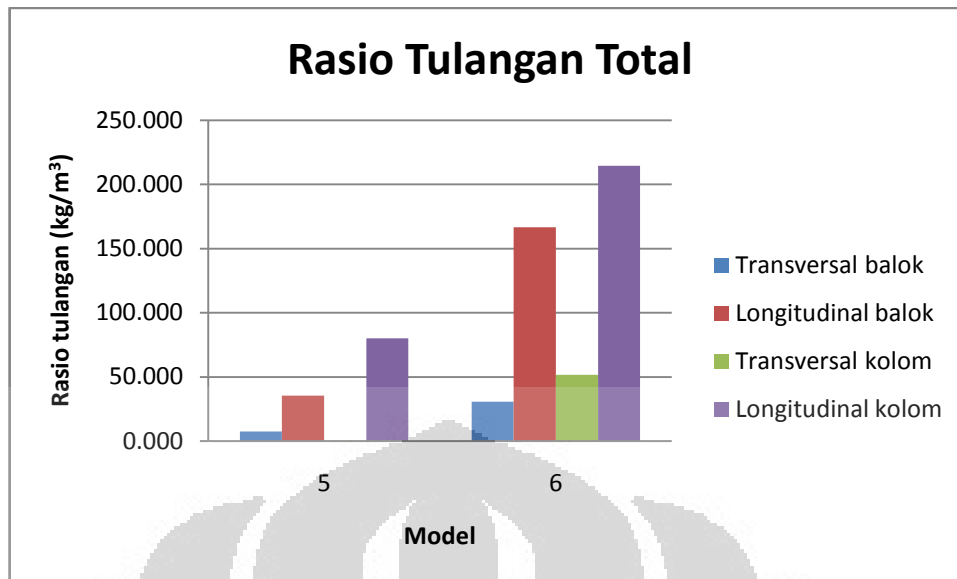
Dari tabel tulangan geser balok arah X dan Y, rasio tulangan model 6 lebih kecil dibanding model 5 untuk seluruh lantai. Hal ini disebabkan karena gaya geser model 5 yang jauh lebih kecil dibanding gaya geser model 6.

Dari tabel tulangan longitudinal kolom dapat dilihat bahwa nilai rasio tulangan per lantai antara model 5 nilainya 80,02 kg/m³. Nilai rasio ini merupakan nilai rasio minimum dikarenakan dimensi kolom yang besar oleh karena dimensinya harus disamakan dengan dimensi struktur yang didesain dengan metode *Performance Based Design*. Sedangkan untuk model 6 rasio tulangnya tidak minimum karena gayanya lebih besar. Rasio tulangan longitudinal pun mendekati limit maksimumnya, yaitu sebesar 6%.

Dari tabel tulangan geser kolom arah X dan Y, rasio tulangan tiap lantai model 5 lebih kecil dibanding model 6. Sekali lagi hal ini disebabkan karena perbedaan gaya geser yang bekerja pada kedua model tersebut.

Tabel 4-30 Total rasio tulangan simulasi 2 (kg/m³)

Model	Balok		Kolom		TOTAL
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	
5	7.504	35.435	0.483	80.020	22.871
6	30.785	166.643	51.730	214.633	100.570



Gambar 4.27 Rasio tulangan total simulasi 2

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa rasio tulangan model 5 jauh lebih kecil dibanding model 6. Memang dalam mendesain struktur menggunakan metode *Performance Based Design* akan diperoleh jumlah tulangan yang banyak dan dimensi komponen struktur yang besar. Namun tentunya struktur tersebut akan memiliki performa yang lebih baik, lebih kuat, dan benar – benar aman sehingga biaya yang dikeluarkan sesuai dengan keamanan dan kenyamanan yang diperoleh.

4.3 Simulasi ketiga

Pada simulasi ini untuk selanjutnya struktur gedung 6 lantai yang dianalisa tanpa memperhitungkan pengaruh P-Delta akan disebut model 7, dan struktur gedung yang dianalisa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta akan disebut model 8. Kedua model tersebut didesain menggunakan *Performance Based Design*.

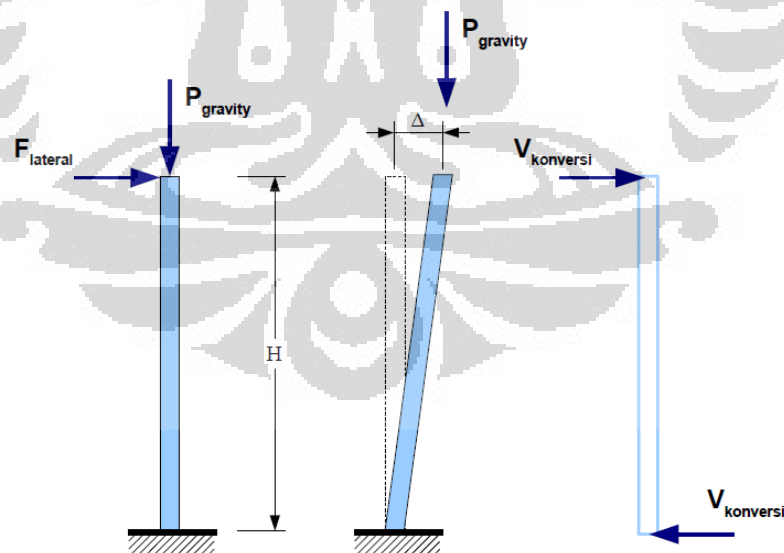
4.3.1 Periode getar, sifat pola getar, dan jumlah mode

Periode getar, jumlah mode, dan sifat pola ragam getar untuk kedua model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-31 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 3

Model	Jumlah Mode	Partisipasi Massa								
		Mode 1			Mode 2			Mode 3		
		Periode	Arah	%	Periode	Arah	%	Periode	Arah	%
7	3	2.067	X	94.899	2.060	Y	94.919	2.004	Torsi	94.700
8	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146	Torsi	94.735

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa periode getar model 8 lebih besar dari model 7. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta, maka periode getar struktur meningkat. Peningkatan periode getar pada mode pertama untuk model 8 sebesar 7,45%, mode kedua sebesar 7,43%, dan mode ketiga sebesar 7,09%. Peningkatan periode getar ini diakibatkan karena timbul tambahan momen, biasa disebut momen sekunder. Idealnya beban gravitasi terletak segaris dengan perletakan, namun akibat gaya gempa maka struktur berdeformasi ke arah lateral (X dan Y) sehingga beban gravitasi tersebut tidak lagi terletak segaris dengan perletakan dan menyebabkan terjadinya momen tambahan atau momen sekunder tadi. Besarnya momen sekunder diperoleh dari beban gravitasi (P) dikali dengan *displacement* (delta, Δ).



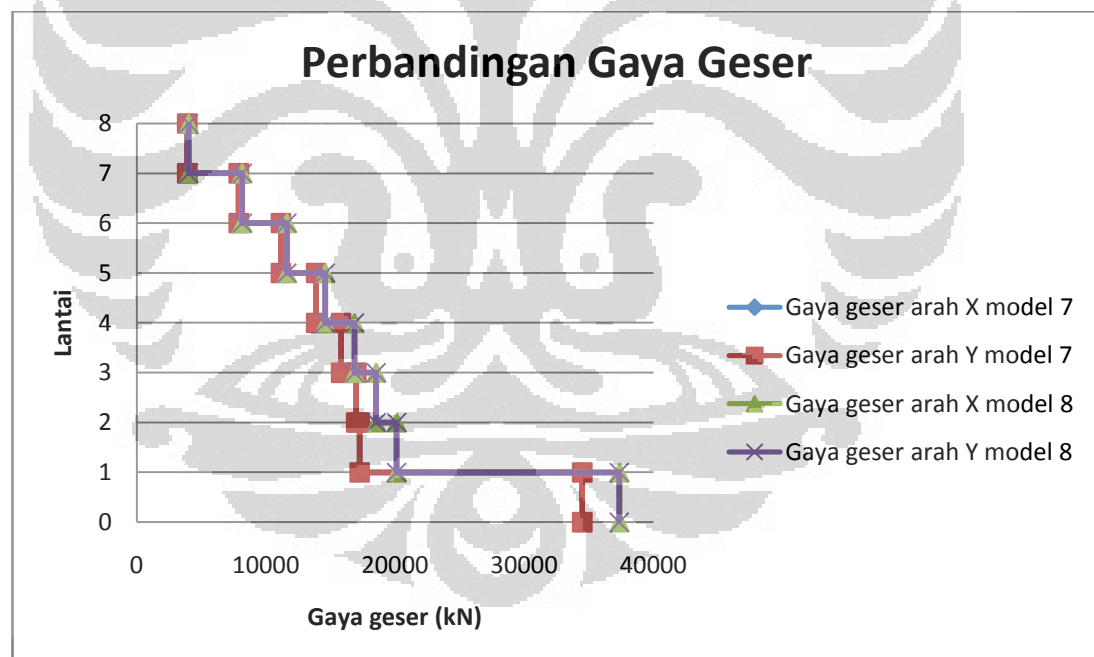
Gambar 4.28 Pengaruh P-Delta pada struktur

4.3.2 Gaya geser dasar dan gaya geser tingkat

Salah satu efek dalam memperhitungkan pengaruh P-Delta adalah meningkatnya gaya geser struktur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-32 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 3 (kN)

Level	Model 7		Model 8	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	3901.66	3901.66	4009.69	4009.41
Lantai 5	7892.62	7892.62	8164.86	8163.74
Lantai 4	11154.27	11154.27	11619.81	11617.03
Lantai 3	13877.59	13877.59	14590.69	14584.84
Lantai 2	15816.6	15816.6	16861.41	16852.12
Lantai 1	16990.3	16990.3	18539.64	18527
Dasar	17243.87	17243.87	20121.42	20109.41
SDasar	34487.74	34487.74	37371.99	37360.43



Gambar 4.29 Perbandingan gaya geser simulasi 3

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa gaya geser model 8 lebih besar dibandingkan dengan gaya geser model 7. Peningkatan gaya geser ini disebabkan oleh momen sekunder yang telah dijelaskan sebelumnya. Momen

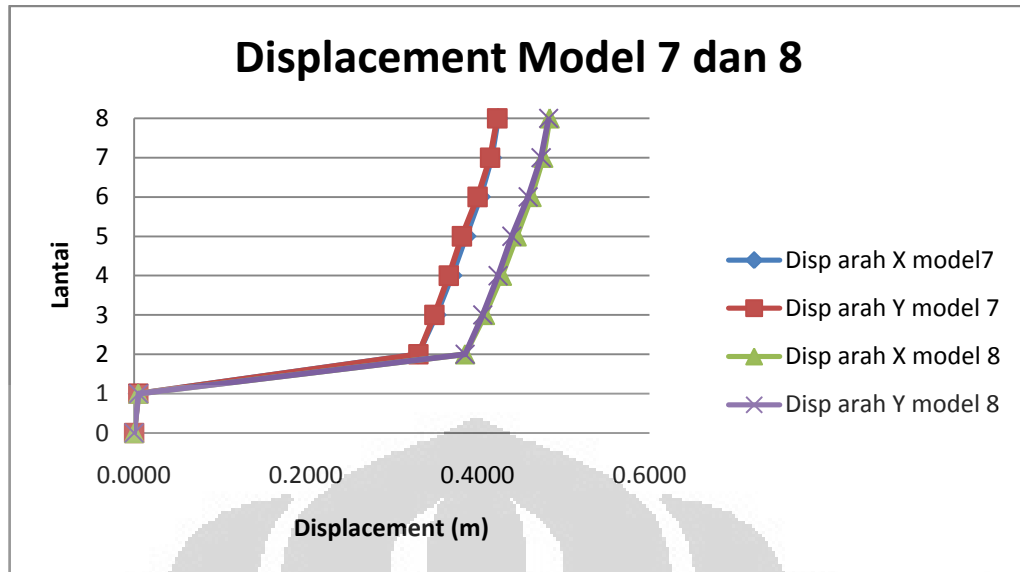
sekunder tersebut bila dibagi dengan tinggi lantai maka akan menghasilkan gaya lateral baru (pada gambar 4.16 disebut $V_{konversi}$) yang sifatnya menambah gaya geser tingkat sehingga nilainya lebih besar. Gaya geser dasar model 8 pada arah X lebih besar 8,36% dari model 7 dan pada arah Y lebih besar 8,33% dari model 7. Sedangkan peningkatan gaya geser di level isolator pada model 8 sebesar 16,69% pada arah X dan sebesar 16,62% pada arah Y. Dapat disimpulkan bahwa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta, maka struktur 6 lantai ini mendapat tambahan gaya geser, khususnya pada isolator. Oleh karena itu dalam mendesain struktur gedung menggunakan isolator perlu dilakukan analisa terhadap pengaruh P-Delta karena sifatnya menambah gaya geser struktur.

4.3.3 *Displacement* dan simpangan antar lantai

Perbandingan *displacement* dan simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

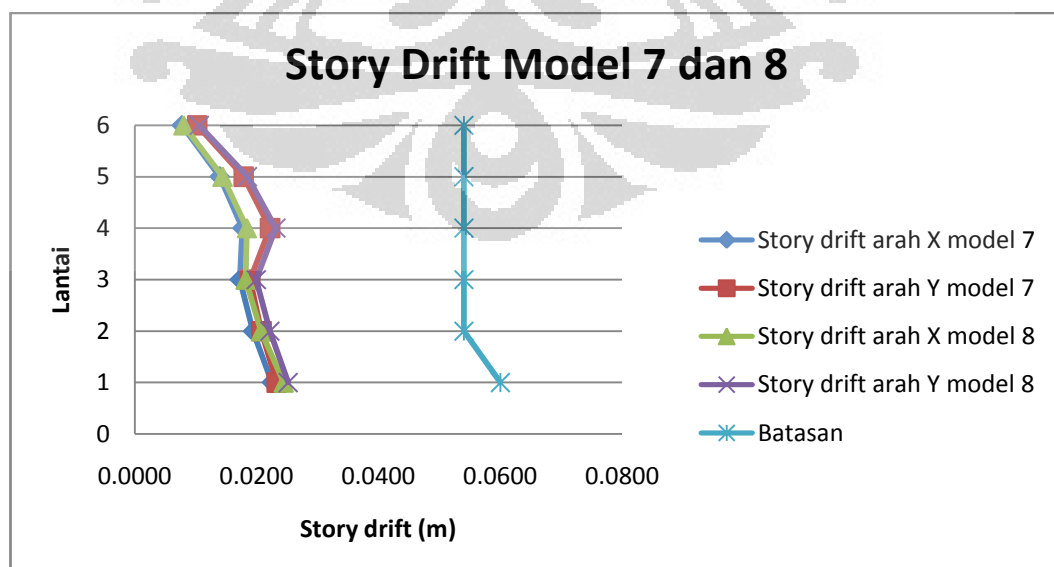
Tabel 4-33 Perbandingan *displacement* arah X dan Y simulasi 3 (meter)

Level	Model 7		Model 8	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.4235	0.4227	0.4836	0.4824
Lantai 5	0.4162	0.4143	0.4761	0.4737
Lantai 4	0.4031	0.3997	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.3865	0.3816	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.3701	0.3663	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.3518	0.3495	0.4083	0.4056
Dasar	0.3304	0.3308	0.3851	0.3853
SDasar	0.0044	0.0047	0.0048	0.0051
Base	0	0	0	0

Gambar 4.30 Grafik perbandingan *displacement* simulasi 3

Tabel 4-34 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 3 (meter)

Level	Model 7		Model 8		Max
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6	0.0078	0.0102	0.0080	0.0106	0.0540
Lantai 5	0.0139	0.0179	0.0144	0.0185	0.0540
Lantai 4	0.0176	0.0222	0.0184	0.0232	0.0540
Lantai 3	0.0173	0.0189	0.0182	0.0199	0.0540
Lantai 2	0.0194	0.0208	0.0207	0.0222	0.0540
Lantai 1	0.0225	0.0233	0.0244	0.0252	0.0600



Gambar 4.31 Grafik perbandingan simpangan antar lantai simulasi 3

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa model 8 yang dianalisa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta memiliki *displacement* dan simpangan antar lantai yang lebih besar dibanding model 7. Kondisi ini dikarenakan pada analisa P-Delta terjadi penambahan gaya geser tingkat seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Penambahan gaya geser tingkat ini tentunya akan menambah *displacement* dari struktur itu sendiri. Penambahan *displacement* pada lantai teratas untuk arah X setelah dikurangi *displacement* isolator adalah sebesar 5,8% dan untuk arah Y sebesar 5,66%.

4.3.4 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 3

Perbandingan *displacement* isolator dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-35 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 3

Model	Tipe Isolator	Displacement Isolator (m)		Limit (m)
		Arah X	Arah Y	
7	HT090X6R	0.3471	0.413	0.4964
	HT110X6R	0.3471	0.3544	0.4728
8	HT090X6R	0.4048	0.4809	0.4964
	HT110X6R	0.4048	0.4131	0.4728

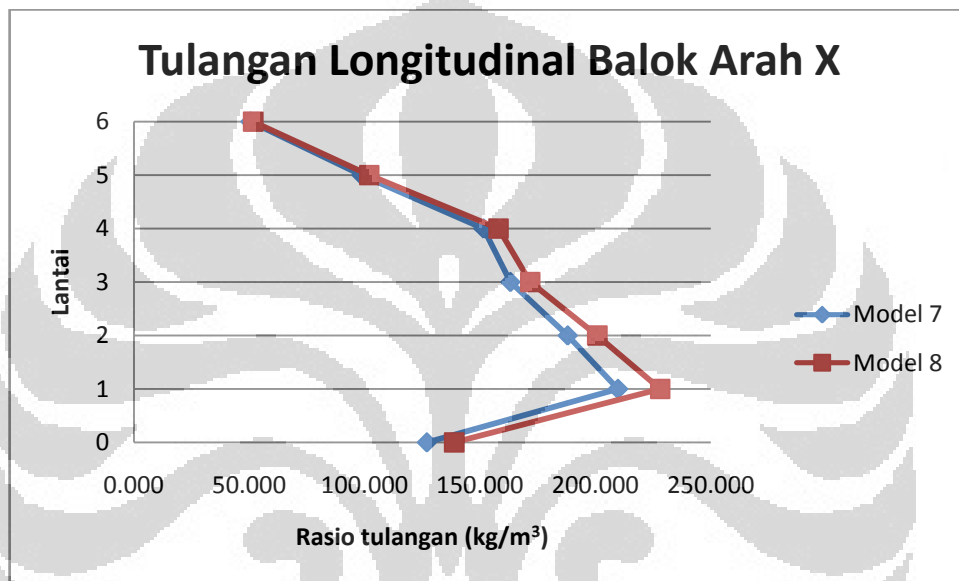
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa *displacement* isolator pada model 8 lebih besar dibanding model 7. *Displacement* isolator yang lebih besar pada model 8 diakibatkan karena adanya peningkatan gaya geser pada analisa P-Delta. Penambahan *displacement* untuk isolator tipe HT090X6R pada arah X adalah sebesar 16,62% dan pada arah Y sebesar 16,44%. Sedangkan untuk isolator tipe HT110X6R penambahan *displacement* arah X sebesar 16,62% dan arah Y sebesar 16,56%. Yang perlu diperhatikan pada bagian ini adalah *displacement* isolator yang terjadi tidak boleh melebihi batasan maksimum dari isolatornya.

4.3.5 Rasio tulangan lentur dan geser

Rasio tulangan yang akan dibandingkan adalah rasio tulangan longitudinal balok arah X dan Y, rasio tulangan geser balok dan kolom arah X dan Y, dan rasio tulangan longitudinal kolom.

Tabel 4-36 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 3 (kg/m^3)

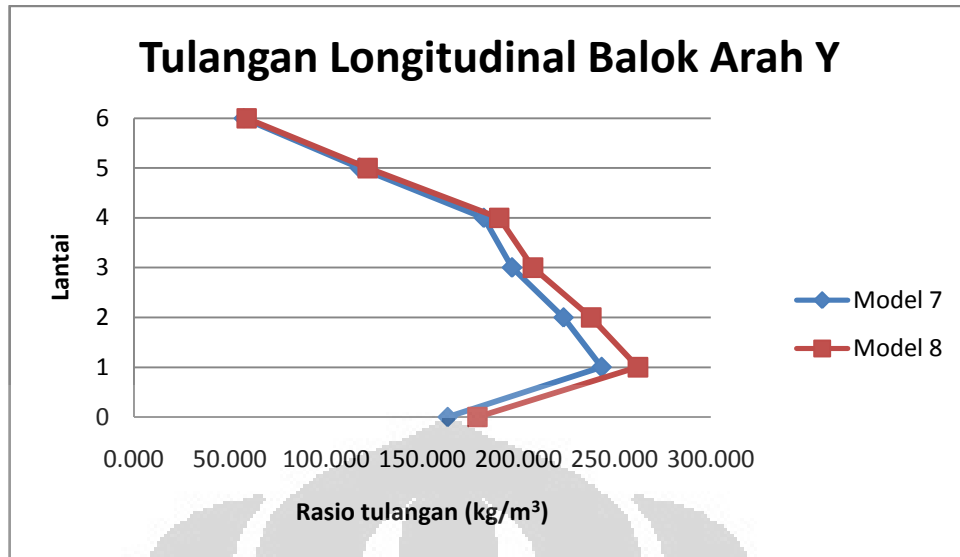
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	50.427	51.629
Lantai 5	98.576	101.945
Lantai 4	151.492	157.927
Lantai 3	163.086	171.712
Lantai 2	187.933	200.757
Lantai 1	209.771	228.012
Dasar	126.898	138.760



Gambar 4.32 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 3

Tabel 4-37 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 3 (kg/m^3)

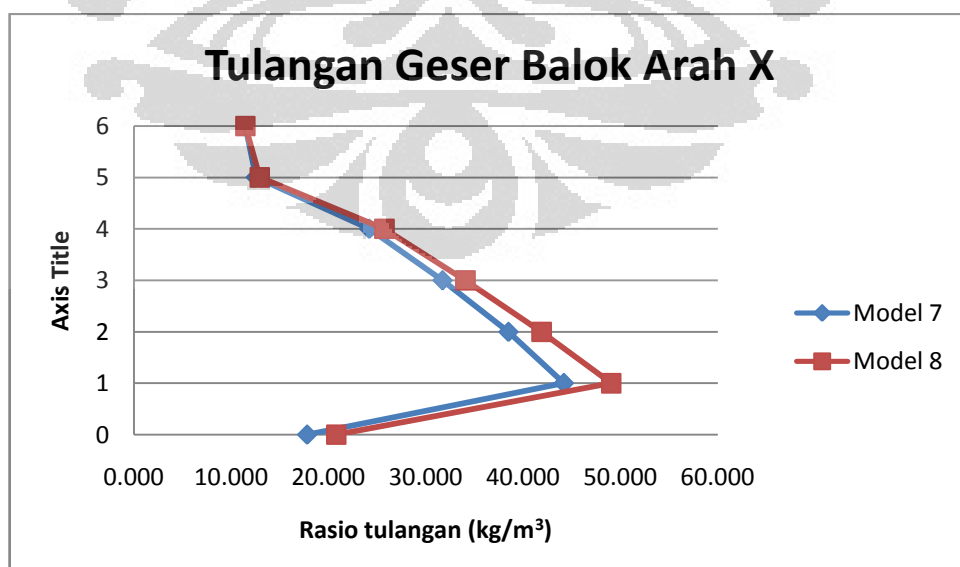
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	57.072	58.557
Lantai 5	117.335	121.434
Lantai 4	181.929	189.883
Lantai 3	196.599	207.455
Lantai 2	223.287	237.746
Lantai 1	243.174	262.020
Dasar	163.114	178.530



Gambar 4.33 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 3

Tabel 4-38 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 3 (kg/m³)

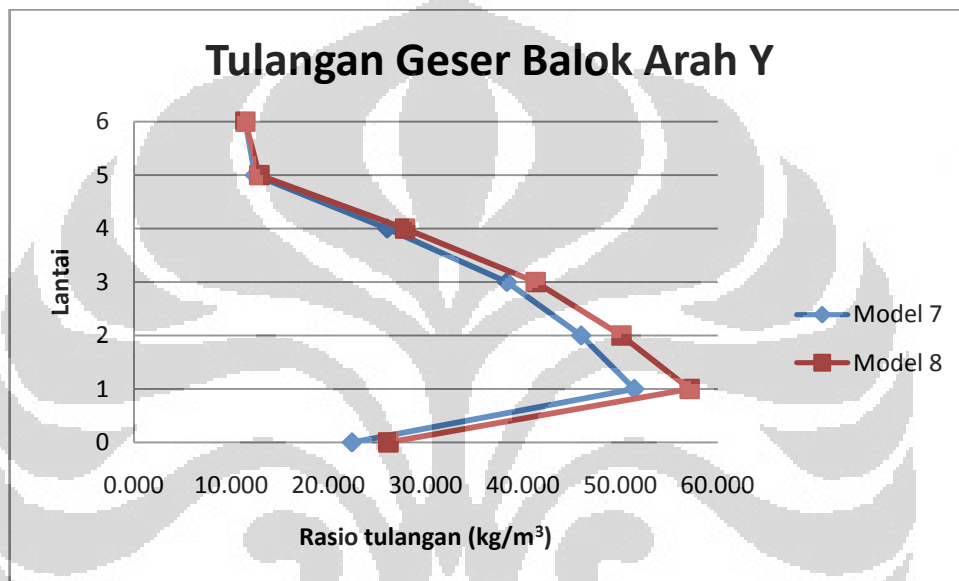
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	11.443	11.443
Lantai 5	12.551	12.920
Lantai 4	24.170	25.737
Lantai 3	31.704	34.066
Lantai 2	38.500	41.892
Lantai 1	44.194	49.046
Dasar	17.791	20.793



Gambar 4.34 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 3

Tabel 4-39 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 3 (kg/m^3)

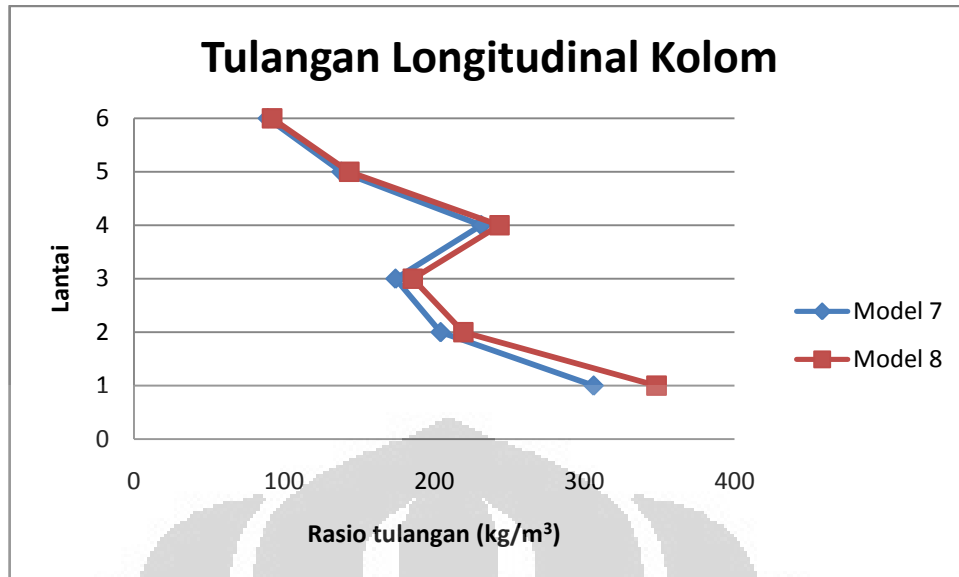
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	11.443	11.443
Lantai 5	12.448	12.881
Lantai 4	26.026	27.864
Lantai 3	38.339	41.295
Lantai 2	45.971	50.100
Lantai 1	51.435	57.114
Dasar	22.419	26.137



Gambar 4.35 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 3

Tabel 4-40 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 3 (kg/m^3)

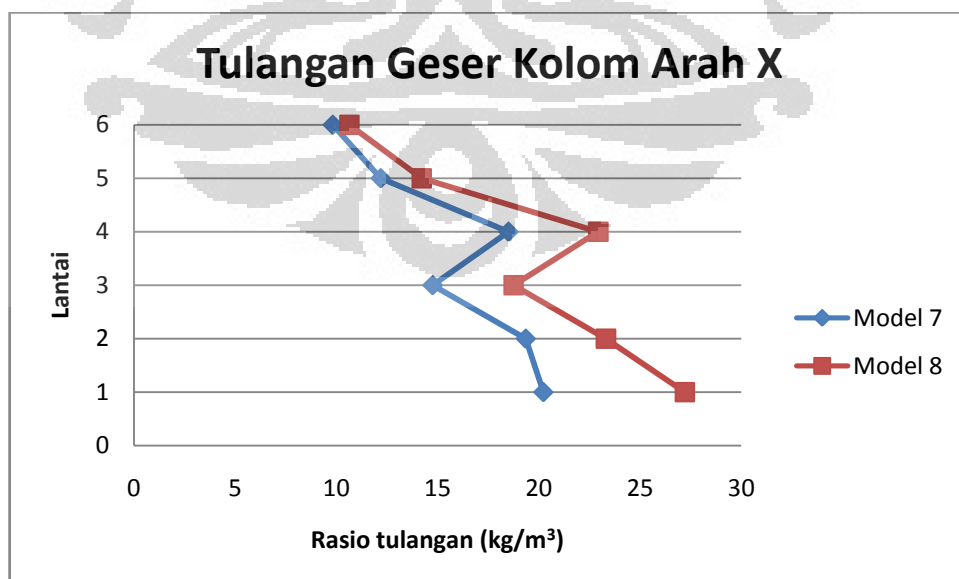
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	89.05286	91.955
Lantai 5	138.0876	143.346
Lantai 4	231.2383	243.467
Lantai 3	174.0991	185.599
Lantai 2	204.1401	219.319
Lantai 1	306.1173	348.011



Gambar 4.36 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 3

Tabel 4-41 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 3 (kg/m^3)

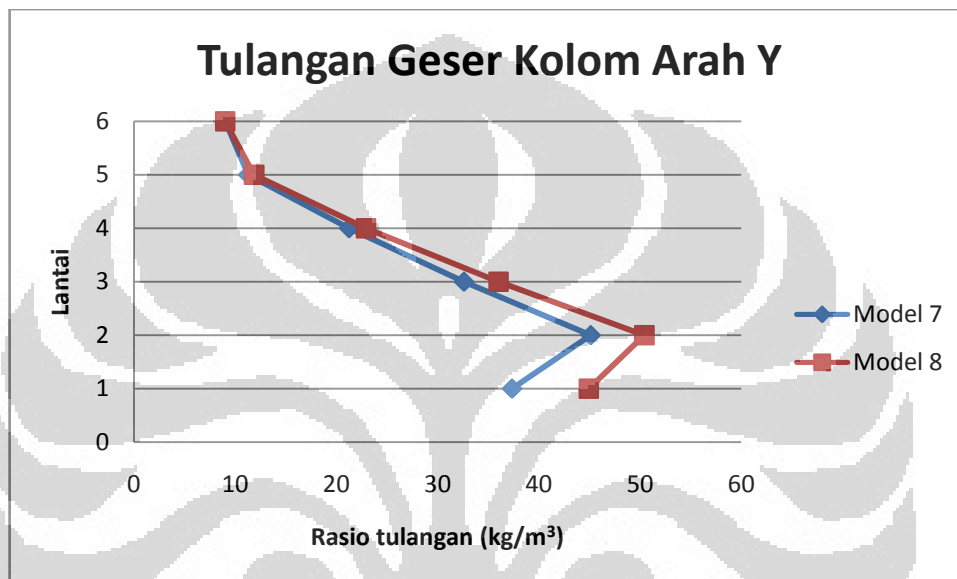
Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	9.819646	10.638
Lantai 5	12.18882	14.208
Lantai 4	18.49329	22.932
Lantai 3	14.75805	18.745
Lantai 2	19.34708	23.312
Lantai 1	20.22087	27.208



Gambar 4.37 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 3

Tabel 4-42 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 3 (kg/m^3)

Level	Model 7	Model 8
Lantai 6	9.001342	9.001
Lantai 5	11.30574	11.875
Lantai 4	21.24065	22.917
Lantai 3	32.61403	36.012
Lantai 2	45.1296	50.418
Lantai 1	37.36095	44.938



Gambar 4.38 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 3

Dari tabel tulangan longitudinal balok arah X dan Y, dapat dilihat bahwa rasio tulangan longitudinal tiap lantai pada model 7 lebih kecil dibanding model 8. Hal ini menunjukkan bahwa dalam mendesain struktur menggunakan *base isolation*, pengaruh P-Delta perlu diperhitungkan. Walaupun struktur atasnya dapat dikatakan kaku dan displacementnya kecil, namun terjadi *displacement* yang besar pada level tepat di atas isolatornya.

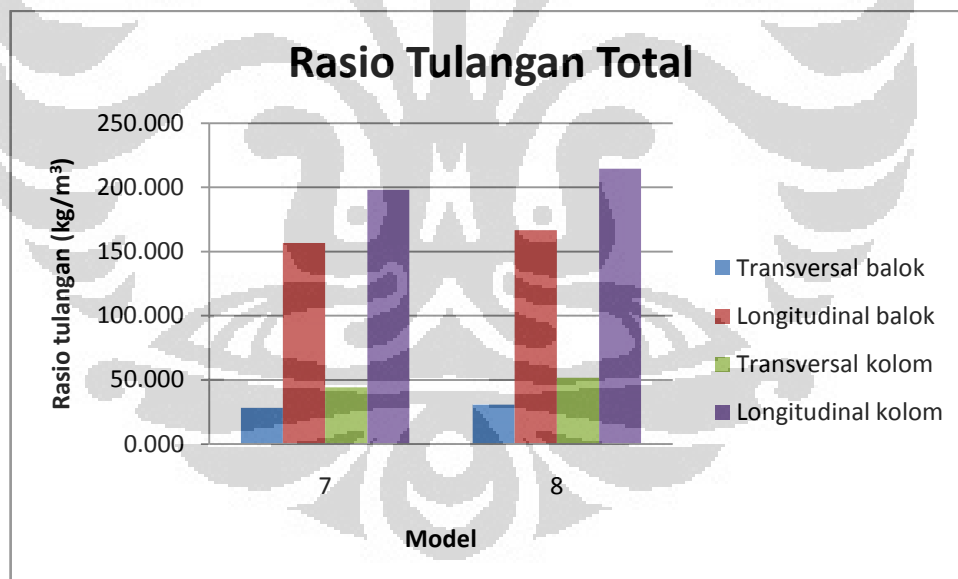
Dari tabel tulangan geser balok arah X dan Y, rasio tulangan model 7 lebih kecil dibanding model 8 untuk seluruh lantai. Hal ini disebabkan karena gaya geser model 7 lebih kecil dibanding gaya geser model 8 karena pada model 8 ada tambahan gaya lateral akibat pengaruh P-Delta. Dapat disimpulkan bahwa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta maka kebutuhan tulangan geser dan longitudinal pada balok akan meningkat.

Dari tabel tulangan longitudinal kolom dapat dilihat bahwa nilai rasio kebutuhan tulangan per lantai cukup besar, hal ini dikarenakan kedua model ini dianalisa menggunakan *Performance Based Design*. Dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta maka kebutuhan tulangan longitudinal kolom meningkat, terbukti dari rasio kebutuhan tulangan model 8 yang lebih besar dari model 7.

Dari tabel tulangan geser kolom arah X dan Y, rasio tulangan tiap lantai model 7 lebih kecil dibanding model 8. hal ini menunjukkan bahwa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta maka kebutuhan akan tulangan geser kolom meningkat.

Tabel 4-43 Total rasio tulangan simulasi 3 (kg/m^3)

Model	Balok		Kolom		TOTAL
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	
7	28.252	156.687	44.275	198.122	89.509
8	30.785	166.643	51.730	214.633	100.570



Gambar 4.39 Rasio tulangan total simulasi 3

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa dengan memperhitungkan pengaruh P-Delta maka kebutuhan tulangan struktur meningkat, baik itu tulangan geser maupun tulangan longitudinal kolom dan balok. Peningkatan untuk tulangan transversal balok sebesar 8,97%, tulangan longitudinal balok sebesar 6,35%,

tulangan geser transversal kolom sebesar 16,84%, dan tulangan longitudinal kolom sebesar 8,33%.

4.4 Simulasi keempat

Dalam simulasi ini, struktur gedung 4 lantai selanjutnya akan disebut model 9 dan struktur gedung 6 lantai akan disebut model 10.

4.4.1 Periode getar, sifat pola getar, dan jumlah mode

Periode getar, jumlah mode, dan sifat pola ragam getar untuk kedua model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-44 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 4

Model	Jumlah Mode	Partisipasi Massa								
		Mode 1			Mode 2			Mode 3		
		Periode	Arah	%	Periode	Arah	%	Periode	Arah	%
9	3	2.013	X	93.785	1.993	Y	93.878	1.816	Torsi	93.412
10	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146	Torsi	94.735

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa periode getar model 10 lebih besar dibanding model 9. Faktor yang menyebabkan periode getar model 10 lebih besar adalah karena model 10 terdiri dari 6 lantai sehingga struktur tersebut lebih lentur walaupun model 10 menggunakan isolator yang kekakuan totalnya lebih besar dibanding model 9. Selain itu massa model 10 lebih besar dibandingkan dengan model 9 sehingga periode getarnya meningkat (massa berbanding lurus dengan periode getar). Periode getar mode 1 model 10 lebih besar 10,33% dari model 9, mode 2 sebesar 11,04%, dan mode 3 sebesar 18,17%.

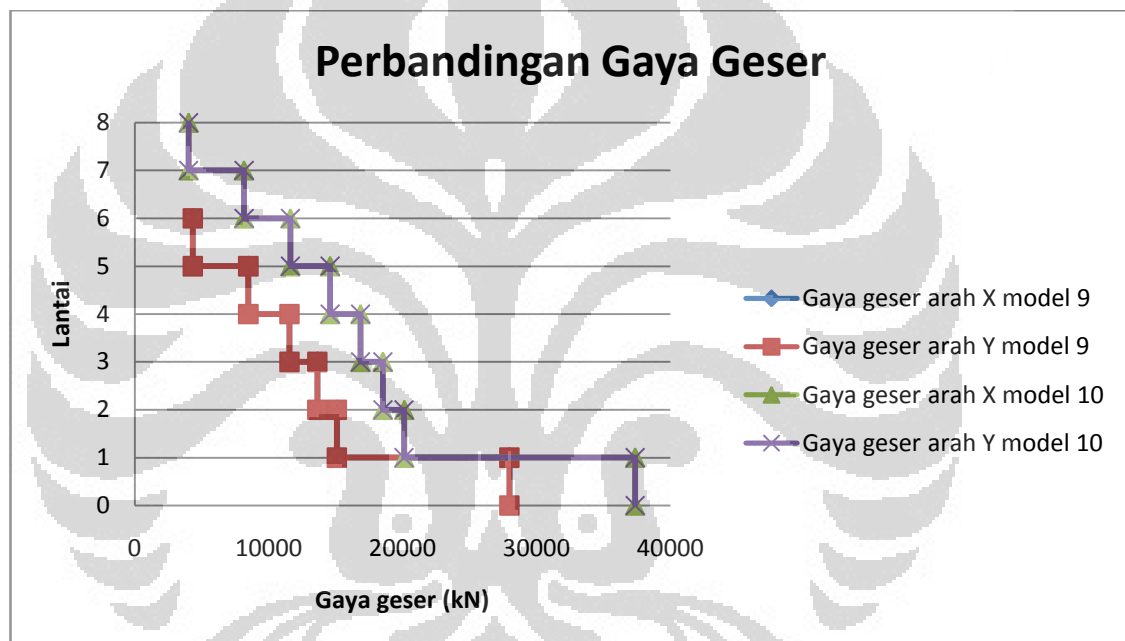
Secara umum persentase partisipasi massa model 10 lebih besar dibandingkan model 9. Hal ini disebabkan karena model 10 lebih fleksibel sehingga partisipasi massa yang dapat digetarkan lebih banyak.

4.4.2 Gaya geser dasar dan gaya geser tingkat

Karena jumlah lantainya berbeda tentunya gaya gesernya pun akan berbeda. Perbandingan gaya geser model 9 dan 10 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-45 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 4 (kN)

Level	Model 9		Model 10	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6			4009.69	4009.41
Lantai 5			8164.86	8163.74
Lantai 4	4337.5	4332.73	11619.81	11617.03
Lantai 3	8488.29	8476.03	14590.69	14584.84
Lantai 2	11559.73	11539.25	16861.41	16852.12
Lantai 1	13652.16	13623.48	18539.64	18527
Dasar	15117.69	15087.79	20121.42	20109.41
SDasar	28003.02	27973.4	37371.99	37360.43



Gambar 4.40 Perbandingan gaya geser simulasi 4

Dari tabel dan grafik yang telah disajikan di atas dapat dilihat bahwa gaya geser dasar model 10 lebih besar daripada model 9. Untuk arah X, gaya geser dasar model 9 sebesar 28003,02 kN dan model 10 sebesar 37371,99 kN, artinya model 10 lebih besar 33,46% dari model 9. Untuk arah Y, gaya geser dasar model 9 sebesar 27973,4 kN dan model 10 sebesar 37360,43 kN, artinya model 10 lebih besar 33,56% dari model 9. Perbedaan gaya geser dasar ini karena model 10 memiliki berat (w_i) yang lebih besar dibanding model 9 karena jumlah lantainya lebih banyak, sekalipun periode getar model 10 lebih besar dibanding model 9. Artinya pengaruh berat lebih dominan dibanding periodenya. Sesuai

dengan rumus, semakin besar w_t maka gaya geser dasar struktur akan semakin besar pula.

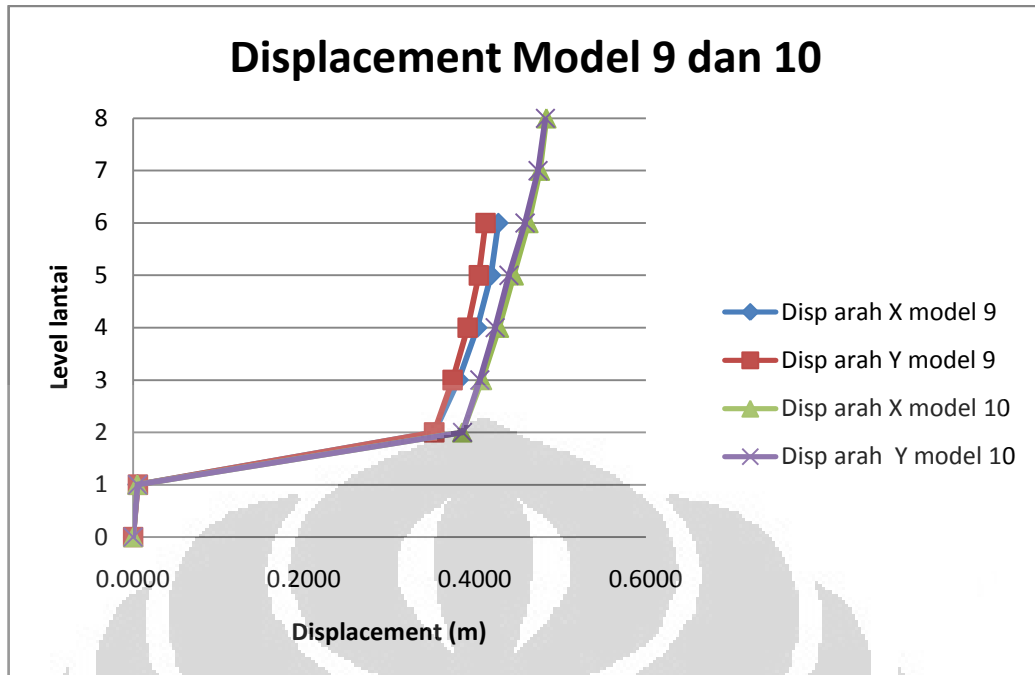
Untuk 2 lantai teratas pada model 9 nilai gaya geser tingkatnya lebih besar dibanding model 10. Hal ini diakibatkan karena walaupun model 9 memiliki gaya geser dasar yang lebih kecil namun karena jumlah lantainya lebih sedikit maka persebaran gaya geser dasarnya untuk tiap lantai, khususnya lantai – lantai atas bobotnya akan lebih besar, sedangkan untuk lantai – lantai di bawahnya gaya geser tingkatnya lebih kecil dibanding model 10.

4.4.3 *Displacement* dan simpangan antar lantai

Perbandingan *displacement* dan simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-46 Perbandingan *displacement* arah X dan Y simulasi 4 (meter)

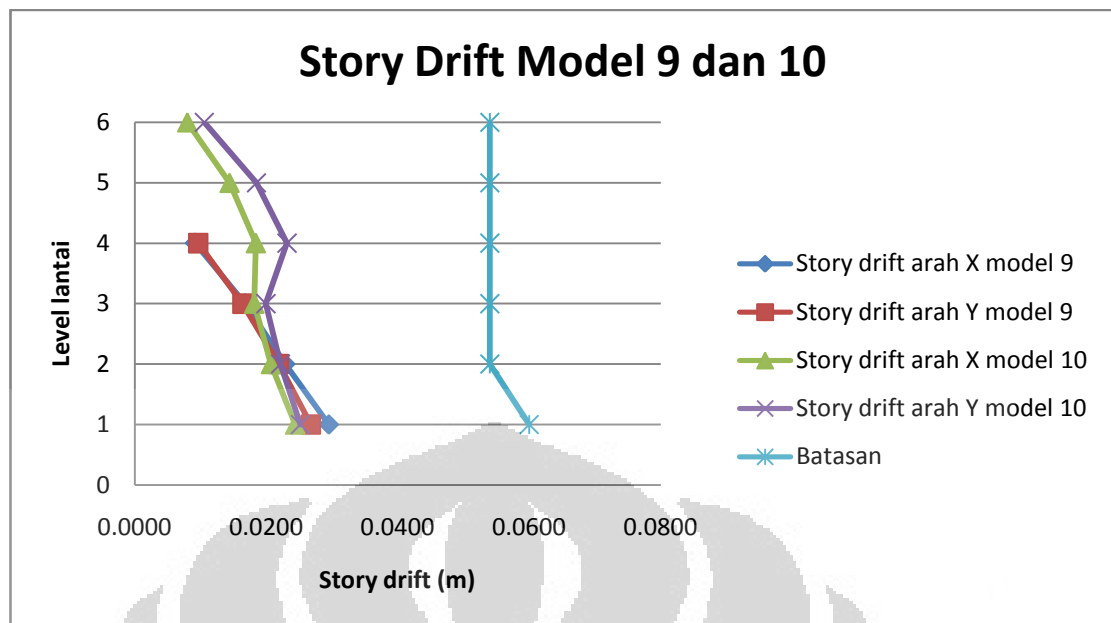
Level	Model 9		Model 10	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6			0.4836	0.4824
Lantai 5			0.4761	0.4737
Lantai 4	0.4273	0.4123	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.4186	0.4045	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.4026	0.3913	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.3808	0.3737	0.4083	0.4056
Dasar	0.3526	0.3522	0.3851	0.3853
SDasar	0.0054	0.0056	0.0048	0.0051
Base	0	0	0	0



Gambar 4.41 Perbandingan *displacement* simulasi 4

Tabel 4-47 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 4 (meter)

Level	Model 9		Model 10		Max
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Lantai 6			0.0080	0.0106	0.0540
Lantai 5			0.0144	0.0185	0.0540
Lantai 4	0.0092	0.0096	0.0184	0.0232	0.0540
Lantai 3	0.0167	0.0164	0.0182	0.0199	0.0540
Lantai 2	0.0229	0.0219	0.0207	0.0222	0.0540
Lantai 1	0.0295	0.0268	0.0244	0.0252	0.0600



Gambar 4.42 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 4

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa *displacement* lantai atas model 10 lebih besar daripada model 9. *Displacement* model 9 dan model 10 berturut – turut setelah dikurangi *displacement* isolator adalah sebesar 0,0747 meter (arah X) dan 0,0601 meter (arah Y), 0,0985 meter (arah X) dan 0,0971 meter (arah Y). *Displacement* lantai atas model 10 untuk arah X lebih besar 31,86% dari model 9 dan untuk arah Y lebih besar 61,56% dari model 9. Perbedaan *displacement* ini disebabkan karena pada model 10 nilai gaya gesernya lebih besar daripada model 9 (telah dibahas di bagian sebelumnya). Tentunya akibat gaya geser yang lebih besar maka akan menghasilkan *displacement* yang lebih besar pula.

4.4.4 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 4

Perbandingan *displacement* isolator dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-48 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 4

Model	Tipe Isolator	Displacement Isolator (m)		Limit (m)
		Arah X	Arah Y	
9	HT090X6R	0.3663	0.4263	0.4964
10	HT090X6R	0.4048	0.4809	0.4964
	HT110X6R	0.4048	0.4131	0.4728

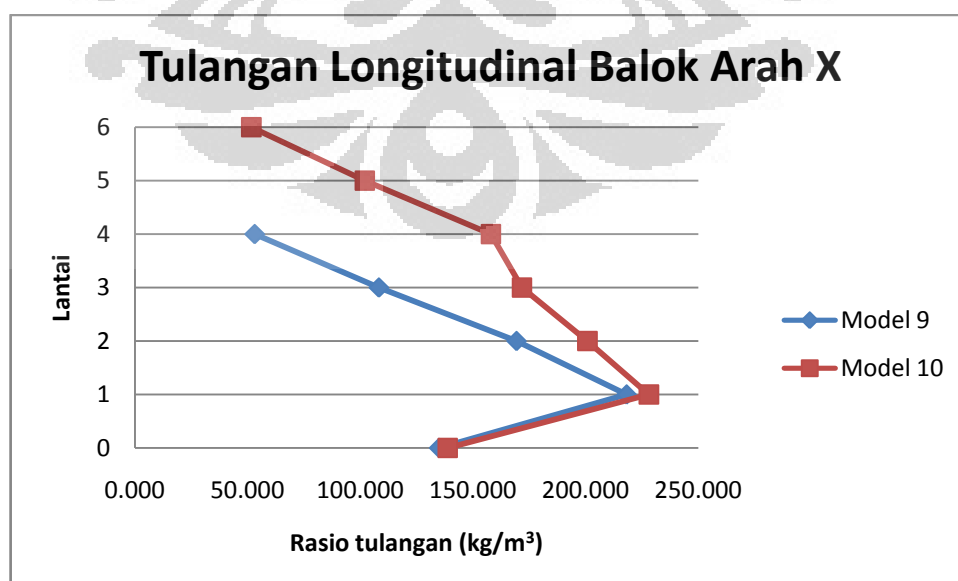
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa *displacement* isolator tipe HT090X6R pada model 10 lebih besar daripada model 9, yaitu sebesar 10,51% untuk arah X dan 12,81% untuk arah Y. Perbedaan *displacement* ini disebabkan karena gaya gempa yang bekerja pada model 10 lebih besar dibanding model 9 sehingga menghasilkan *displacement* yang lebih besar pula. Sekali lagi, yang perlu diperhatikan adalah *displacement* isolator tidak boleh melebihi batasan maksimum yang mampu dialami isolator tersebut.

4.4.5 Rasio tulangan lentur dan geser

Rasio tulangan yang akan dibandingkan adalah rasio tulangan longitudinal balok arah X dan Y, rasio tulangan geser balok dan kolom arah X dan Y, dan rasio tulangan longitudinal kolom.

Tabel 4-49 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 4 (kg/m^3)

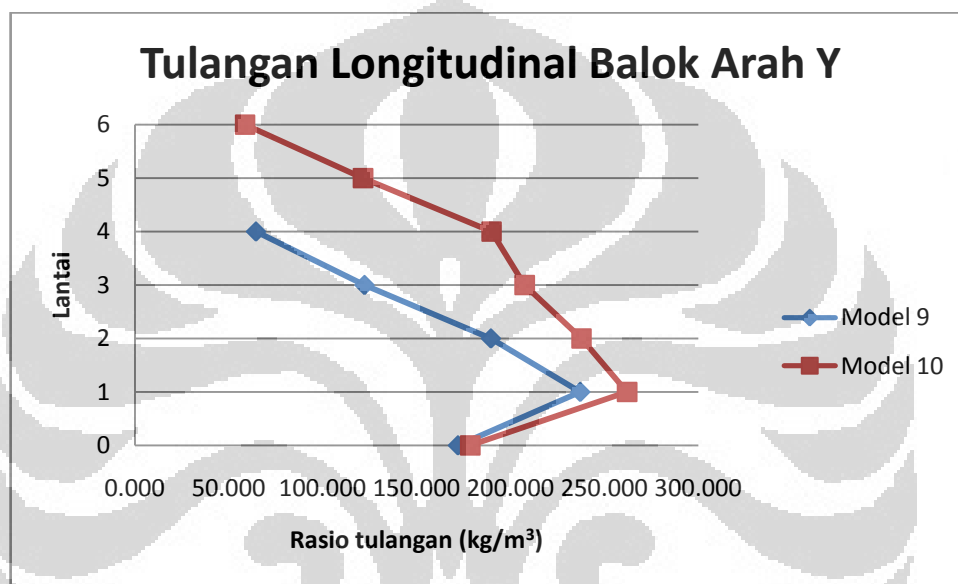
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		51.629
Lantai 5		101.945
Lantai 4	53.167	157.927
Lantai 3	108.276	171.712
Lantai 2	169.238	200.757
Lantai 1	218.091	228.012
Dasar	134.905	138.760



Gambar 4.43 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 4

Tabel 4-50 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 4 (kg/m^3)

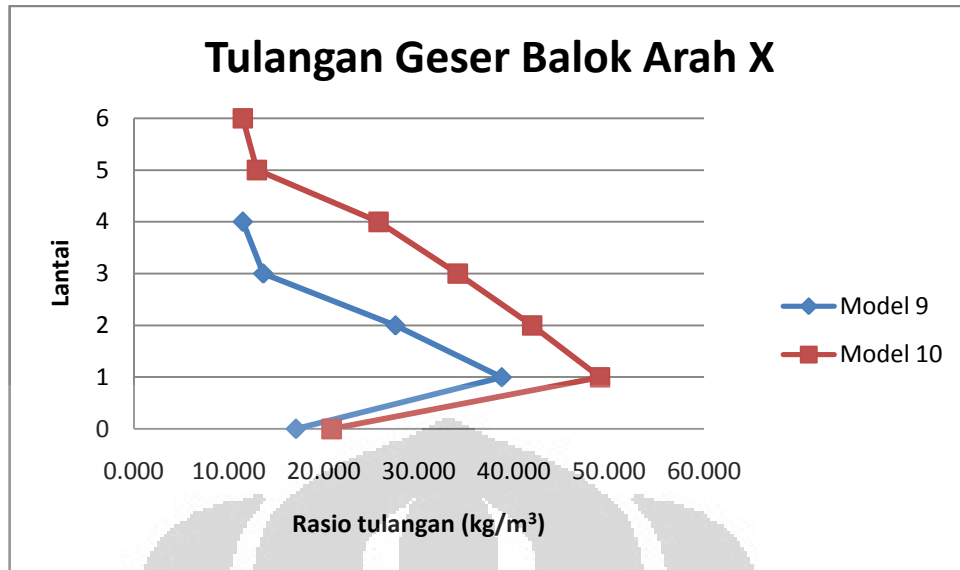
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		58.557
Lantai 5		121.434
Lantai 4	64.438	189.883
Lantai 3	122.144	207.455
Lantai 2	189.546	237.746
Lantai 1	237.068	262.020
Dasar	171.900	178.530



Gambar 4.44 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 4

Tabel 4-51 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 4 (kg/m^3)

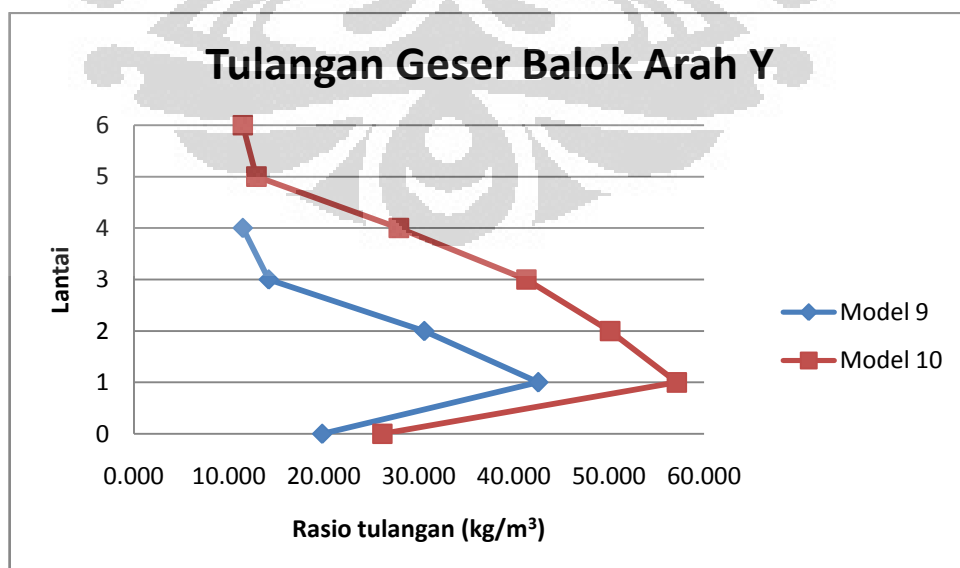
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		11.443
Lantai 5		12.920
Lantai 4	11.443	25.737
Lantai 3	13.624	34.066
Lantai 2	27.520	41.892
Lantai 1	38.695	49.046
Dasar	17.057	20.793



Gambar 4.45 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 4

Tabel 4-52 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 4 (kg/m³)

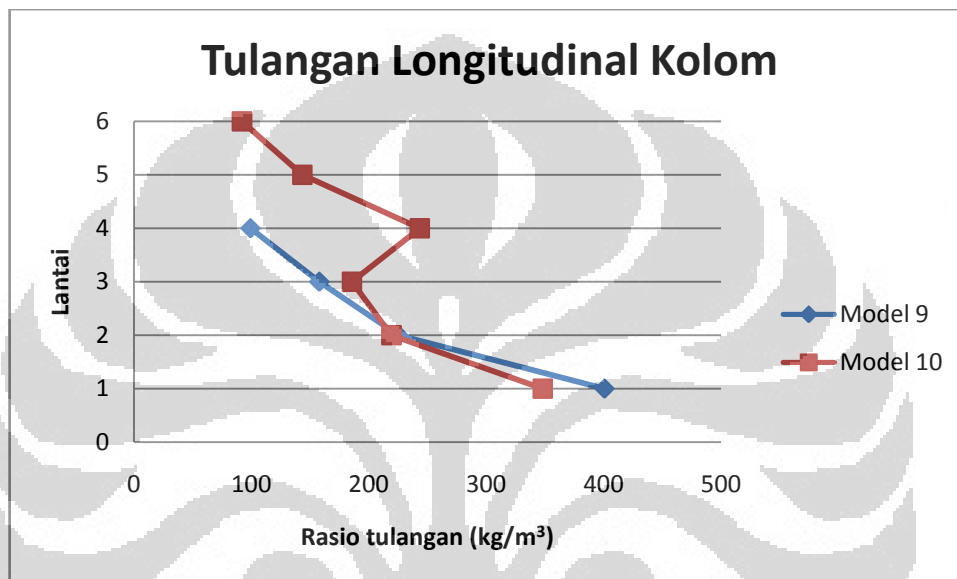
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		11.443
Lantai 5		12.881
Lantai 4	11.443	27.864
Lantai 3	14.169	41.295
Lantai 2	30.562	50.100
Lantai 1	42.527	57.114
Dasar	19.796	26.137



Gambar 4.46 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 4

Tabel 4-53 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 4 (kg/m^3)

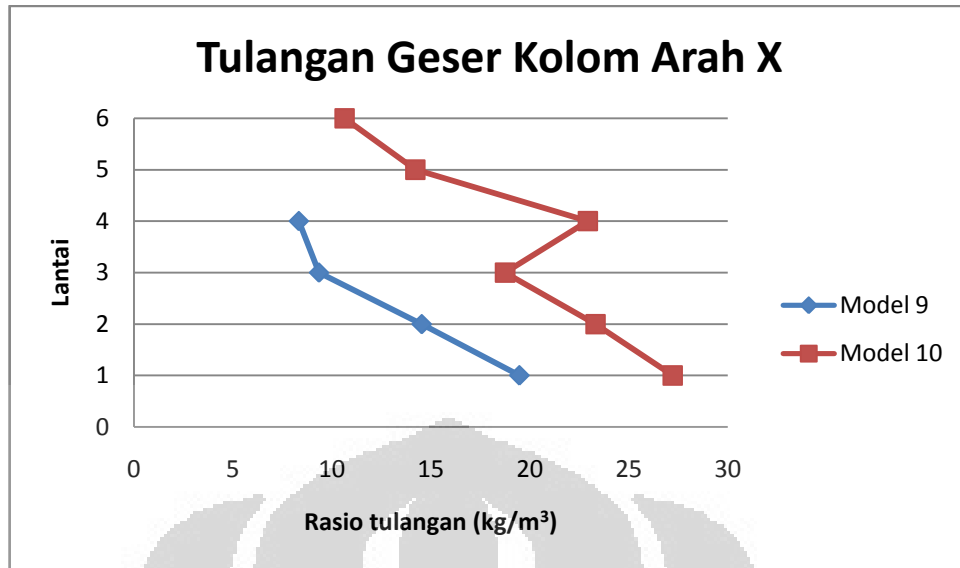
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		91.955
Lantai 5		143.346
Lantai 4	99.2634	243.467
Lantai 3	157.9618	185.599
Lantai 2	225.1195	219.319
Lantai 1	400.6919	348.011



Gambar 4.47 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 4

Tabel 4-54 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 4 (kg/m^3)

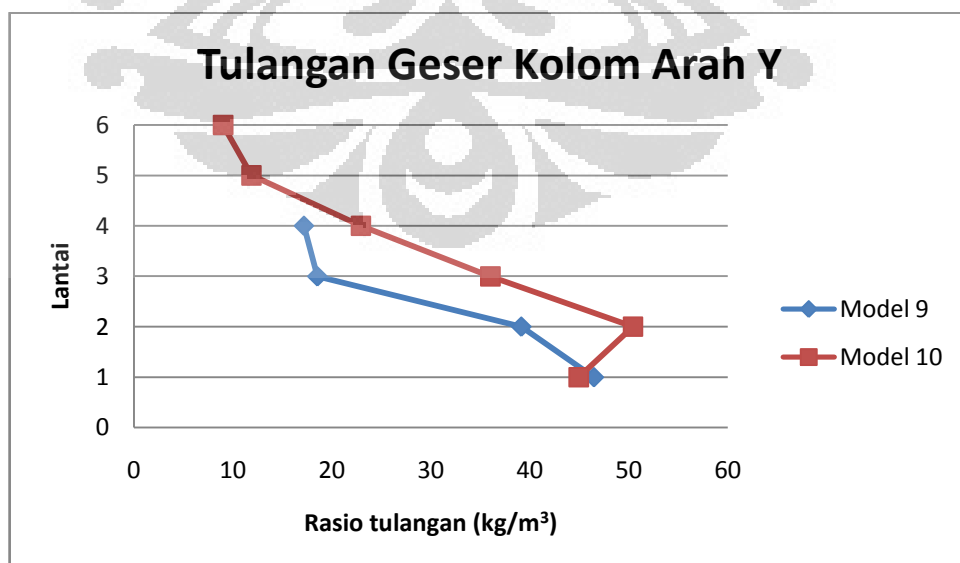
Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		10.638
Lantai 5		14.208
Lantai 4	8.322884	22.932
Lantai 3	9.349431	18.745
Lantai 2	14.5439	23.312
Lantai 1	19.47773	27.208



Gambar 4.48 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 4

Tabel 4-55 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4 (kg/m³)

Level	Model 9	Model 10
Lantai 6		9.001
Lantai 5		11.875
Lantai 4	17.17238	22.917
Lantai 3	18.54873	36.012
Lantai 2	39.14484	50.418
Lantai 1	46.45984	44.938



Gambar 4.49 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4

Dari tabel tulangan longitudinal balok arah X dan Y, dapat dilihat bahwa rasio tulangan longitudinal model 9 untuk lantai atas rasionya lebih besar dibanding model 10. Hal ini dikarenakan gaya geser pada lantai atas model 9 lebih besar dibanding model 10. Namun di lantai – lantai bawah nilai rasio tulangan longitudinal model 10 menjadi lebih besar dibanding model 9 karena semakin ke bawah maka gaya geser model 10 makin besar.

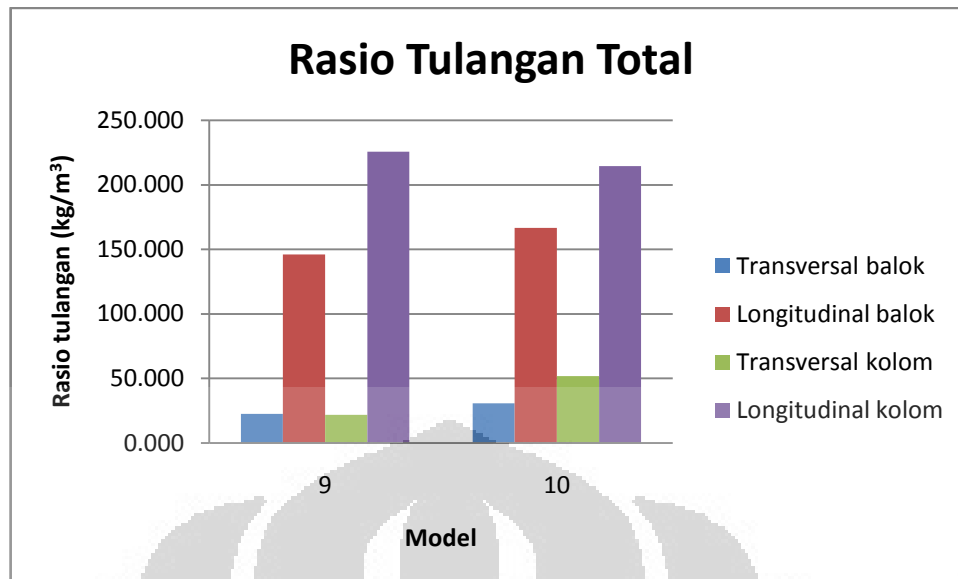
Dari tabel tulangan geser balok arah X dan Y, rasio tulangan model 9 secara umum lebih kecil dibanding model 10 walaupun pada lantai – lantai atas rasionya lebih besar. Kondisi ini mirip seperti tulangan longitudinal dimana pada bagian atas gaya geser model 9 lebih besar namun semakin ke dasar gaya geser model 10 yang makin besar.

Dari tabel tulangan longitudinal kolom dapat dilihat bahwa nilai rasio kebutuhan tulangan per lantai cukup besar, hal ini dikarenakan kedua model ini dianalisa menggunakan *Performance Based Design*. Rasio tulangan longitudinal kolom model 9 secara umum dapat dikatakan lebih besar karena dimensi kolom yang berbeda antara model 9 dan model 10. Dimensi kolom model 9 lebih kecil dibanding model 10.

Dari tabel tulangan geser kolom arah X dan Y, rasio tulangan tiap lantai model 9 lebih kecil dibanding model 10. hal ini dikarenakan gaya geser pada model 9 lebih kecil dibanding model 10.

Tabel 4-56 Total rasio tulangan simulasi 4 (kg/m^3)

Model	Balok		Kolom		TOTAL
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	
9	22.616	146.201	21.934	225.622	85.686
10	30.785	166.643	51.730	214.633	100.570



Gambar 4.50 Rasio tulangan total simulasi 4

Dari tabel dan gambar di atas dapat dilihat bahwa model 9 nilai rasio tulangannya lebih kecil dibanding model 10 kecuali rasio tulangan longitudinal kolom. Walaupun gaya gempa yang bekerja lebih kecil namun rasionya lebih besar karena dimensi kolom model 9 lebih kecil dibanding model 10.

4.5 Simulasi kelima

Pada bagian ini, untuk selanjutnya struktur 6 lantai yang dimodelkan tanpa *basement* akan disebut model 11, dan struktur 6 lantai yang dimodelkan dengan *basement* akan disebut model 12.

4.5.1 Periode getar, sifat pola getar, dan jumlah mode

Periode getar, jumlah mode, dan sifat pola ragam getar untuk kedua model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-57 Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa simulasi 5

Model	Jumlah Mode	Partisipasi Massa								
		Mode 1			Mode 2			Mode 3		
		Periode	Arah	%	Periode	Arah	%	Periode	Arah	%
11	3	2.712	X	99.839	2.704	Y	99.849	2.597	Torsi	99.881
12	3	2.221	X	94.949	2.213	Y	94.968	2.146	Torsi	94.735

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa periode getar model 11 lebih besar daripada model 12. Bila merujuk pada simulasi ketiga yang membandingkan pengaruh analisa P-Delta terhadap struktur yang menggunakan isolator, dapat dilihat bahwa struktur yang dianalisa dengan memperhitungkan P-Delta nilai periode getarnya meningkat. Peningkatan itu terjadi bukan karena struktur yang dianalisa dengan P-Delta lebih fleksibel, melainkan karena adanya tambahan beban (momen sekunder) yang bekerja pada struktur akibat pengaruh *displacement*. Begitu pula untuk simulasi ini, periode getar model 11 lebih besar menunjukkan bahwa pengaruh P-Delta lebih dominan pada model ini dibanding model 12. Peningkatan periode getar untuk mode 1 sebesar 22,11%, mode 2 sebesar 22,19%, dan mode 3 sebesar 21,02%.

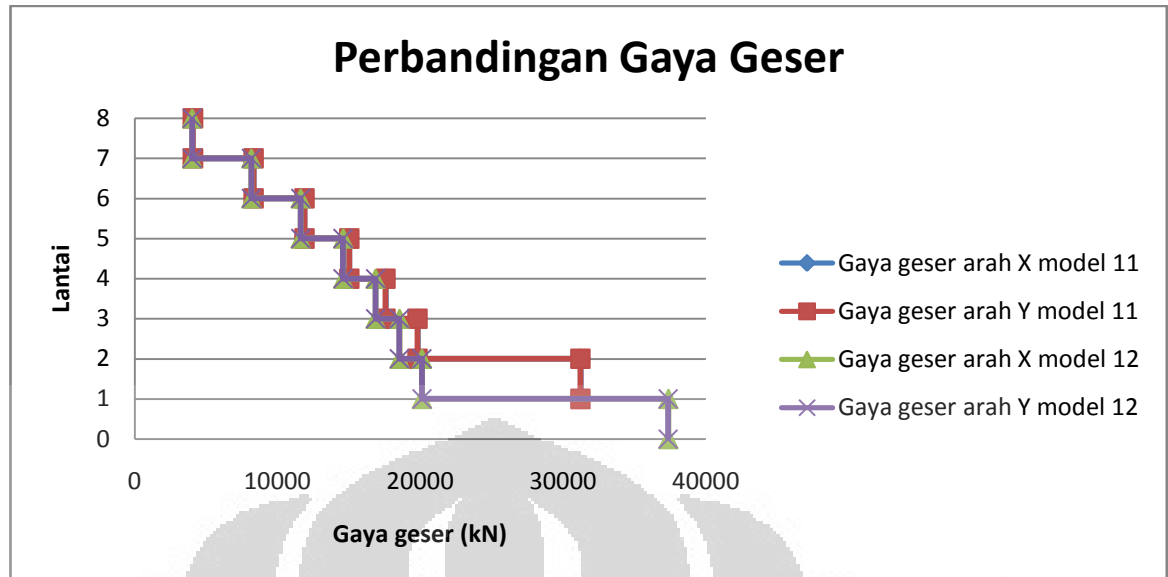
Bila melihat periode getar model 11, nilai periodenya sebesar 2,712 detik. Periode getar ini 3,5x periode getar struktur *fixed base*, yaitu 0,765 detik. Sedangkan di peraturan tertulis bahwa periode getar struktur terisolasi sebesar 3x struktur *fixed base*. Artinya bila menganalisa struktur terisolasi tanpa memodelkan *basement*, nilai periode getarnya tidak memenuhi persyaratan desain.

4.5.2 Gaya geser dasar dan tingkat

Salah satu efek dalam memperhitungkan pengaruh P-Delta adalah meningkatnya gaya geser struktur. Namun yang perlu diperhatikan adalah pada model manakah yang mengalami peningkatan gaya geser terbesar.

Tabel 4-58 Perbandingan gaya geser dasar dan tingkat simulasi 5 (kN)

Level	Model 11		Model 12	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	4068.44	4067.82	4009.69	4009.41
Lantai 5	8317.71	8315.68	8164.86	8163.74
Lantai 4	11892.38	11887.9	11619.81	11617.03
Lantai 3	15034.47	15025.63	14590.69	14584.84
Lantai 2	17575.66	17561.46	16861.41	16852.12
Lantai 1	19817.88	19797.06	18539.64	18527
Dasar	31245.11	31212.7	20121.42	20109.41
SDasar			37371.99	37360.43



Gambar 4.51 Perbandingan gaya geser simulasi 5

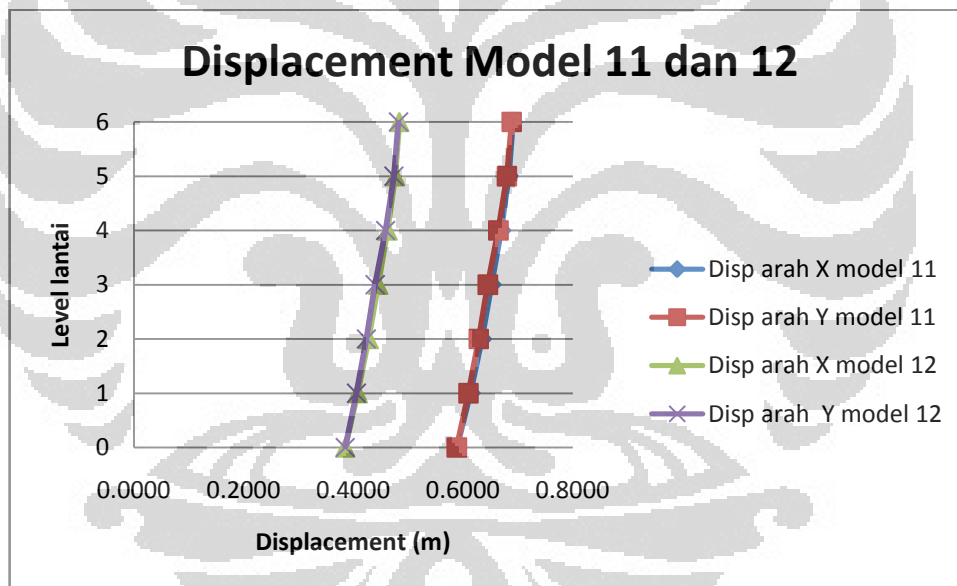
Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa pada level 2 (bagian isolator) gaya geser tingkat model 11 jauh lebih besar dibanding model 12 untuk arah X dan Y. Perbedaan sebesar 11123,69 kN untuk arah X dan 11103,29 kN untuk arah Y ini menunjukkan bahwa dengan memodelkan struktur terisolasi tanpa basement maka gaya geser yang dialami isolator akan jauh lebih besar (*over estimate*) sehingga akan dibutuhkan isolator yang jauh lebih kaku. Penggunaan isolator yang lebih kaku akan mengakibatkan peningkatan gaya geser dasar struktur karena kekakuan isolator berbanding lurus dengan gaya geser dasar. Perbedaan gaya geser ini diakibatkan karena pada model 11 isolatornya langsung bertumpu pada tanah, sedangkan model 12 bertumpu pada basement. Kekakuan tanah jauh lebih besar daripada kekakuan basement (kekakuan tanah tak terhingga) sehingga ketika terjadi gempa isolator pada model 11 lebih menderita dibanding model 12. Pengaruh basement pada model 12 adalah ketika terjadi gempa maka basement pun mengalami deformasi sehingga gaya geser isolator sebagian akan diteruskan ke basement dan pada bagian basement lah yang mengalami gaya geser terbesar.

4.5.3 Displacement dan simpangan antar lantai

Perbandingan *displacement* dan simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-59 Perbandingan *displacement* arah X dan Y simulasi 5 (meter)

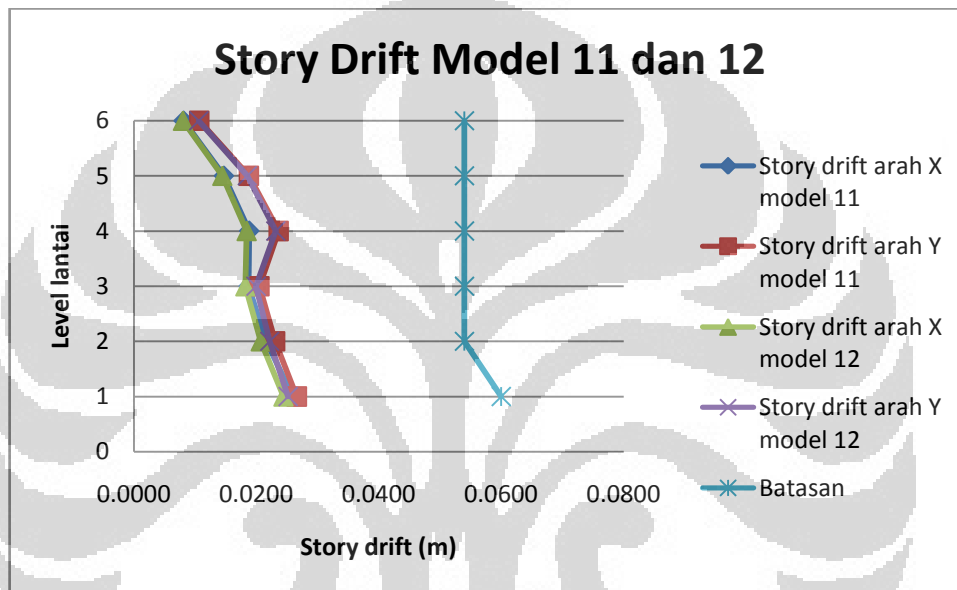
Level	Model 11		Model 12	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Lantai 6	0.6911	0.6885	0.4836	0.4824
Lantai 5	0.6835	0.6798	0.4761	0.4737
Lantai 4	0.6697	0.6644	0.4625	0.4586
Lantai 3	0.6520	0.6452	0.4452	0.4397
Lantai 2	0.6342	0.6286	0.4280	0.4235
Lantai 1	0.6137	0.6099	0.4083	0.4056
Dasar	0.5891	0.5885	0.3851	0.3853



Gambar 4.52 Perbandingan *displacement* simulasi 5

Tabel 4-60 Perbandingan simpangan antar lantai arah X dan Y simulasi 5 (meter)

Lantai	Model 11		Model 12		Max
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
6	0.0081	0.0107	0.0080	0.0106	0.0540
5	0.0147	0.0188	0.0144	0.0185	0.0540
4	0.0188	0.0236	0.0184	0.0232	0.0540
3	0.0187	0.0205	0.0182	0.0199	0.0540
2	0.0216	0.0231	0.0207	0.0222	0.0540
1	0.0259	0.0266	0.0244	0.0252	0.0600



Gambar 4.53 Perbandingan simpangan antar lantai simulasi 5

Dari tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa *displacement* dan simpangan antar lantai model 11 lebih besar dibanding model 12. Pada bagian sebelumnya telah diketahui bahwa gaya geser yang bekerja pada model 11 lebih besar dibanding model 12. Gaya geser yang lebih besar inilah yang menyebabkan *displacement* dan simpangan antar lantai model 11 lebih besar. *Displacement* pada lantai teratas setelah dikurangi *displacement* isolator untuk model 11 dan model 12 berturut – turut adalah 0,102 meter (arah X) dan 0,1 meter (arah Y), 0,0985 meter (arah X) dan 0,0971 meter (arah Y). artinya bahwa *displacement* model 11 lebih besar 3,55% dari model 12 untuk arah X dan lebih besar 2,99% dari model 12 untuk arah Y.

4.5.4 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 5

Perbandingan *displacement* isolator dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4-61 Perbandingan *displacement* isolator arah X dan Y simulasi 5 (meter)

Model	Tipe Isolator	Displacement Isolator		Limit
		Arah X	Arah Y	
11	HT090X6R	0.6276	0.7424	0.4964
	HT110X6R	0.6276	0.6398	0.4728
12	HT090X6R	0.4048	0.4809	0.4964
	HT110X6R	0.4048	0.4131	0.4728

Displacement isolator yang lebih besar pada model 11 menunjukkan bahwa gaya geser yang dialami isolator lebih besar. *Displacement* isolator tipe HT090X6R untuk model 11 lebih besar 55,04% dari model 12 (arah X) dan lebih besar 54,38% (arah Y). Sedangkan *displacement* isolator tipe HT110X6R pada model 11 lebih besar 55,04% dari model 12 (arah X) dan lebih besar 54,88% (arah Y).

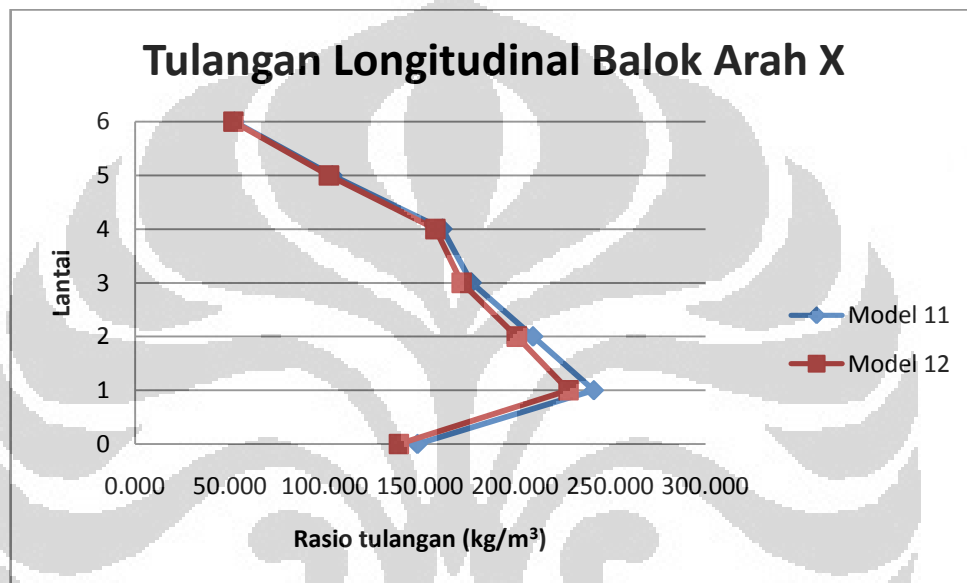
Perlu diperhatikan bahwa *displacement* isolator model 1 melebihi batasan maksimum yang diijinkan untuk isolator tersebut. Hal ini diakibatkan karena *over estimate* terhadap gaya geser yang dialami isolator akibatnya dibutuhkan isolator yang lebih kaku.

4.5.5 Rasio tulangan lentur dan geser

Rasio tulangan yang akan dibandingkan adalah rasio tulangan longitudinal balok arah X dan Y, rasio tulangan geser balok dan kolom arah X dan Y, dan rasio tulangan longitudinal kolom.

Tabel 4-62 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 5 (kg/m^3)

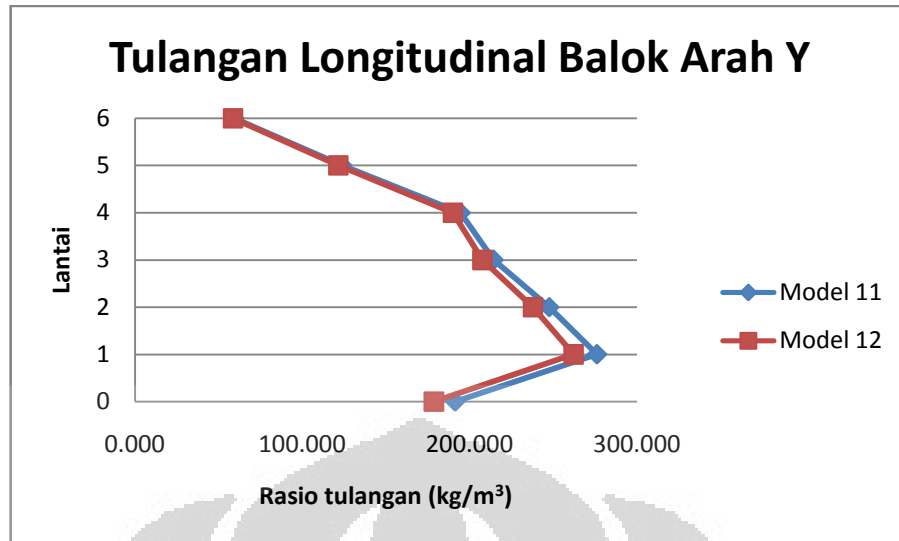
Level	Model 11	Model 12
Lantai 6	52.282	51.629
Lantai 5	103.806	101.945
Lantai 4	161.665	157.927
Lantai 3	177.058	171.712
Lantai 2	209.367	200.757
Lantai 1	241.282	228.012
Dasar	148.575	138.760



Gambar 4.54 Rasio tulangan longitudinal balok arah X simulasi 5

Tabel 4-63 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 5 (kg/m^3)

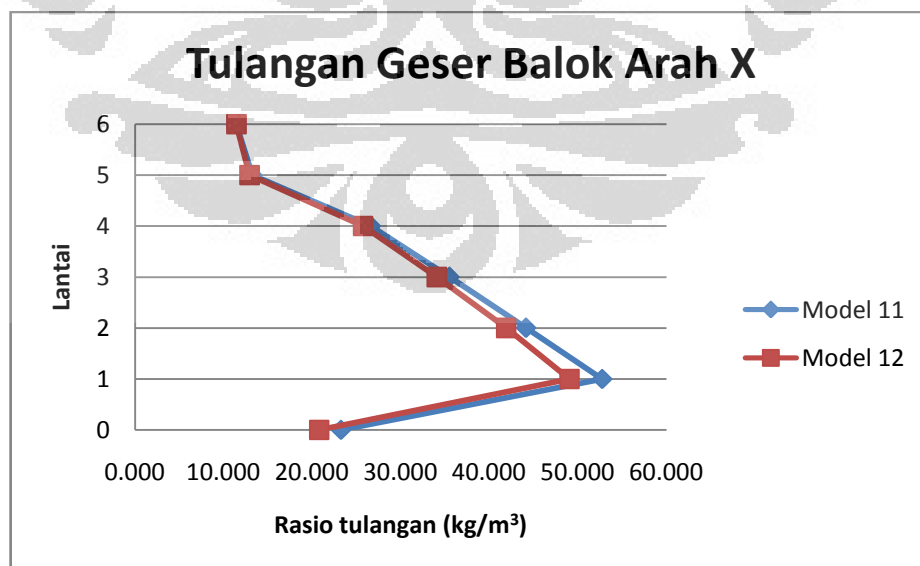
Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	59.357	58.557
Lantai 5	123.787	121.434
Lantai 4	194.567	189.883
Lantai 3	214.253	207.455
Lantai 2	247.417	237.746
Lantai 1	276.078	262.020
Dasar	191.221	178.530



Gambar 4.55 Rasio tulangan longitudinal balok arah Y simulasi 5

Tabel 4-64 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 5 (kg/m^3)

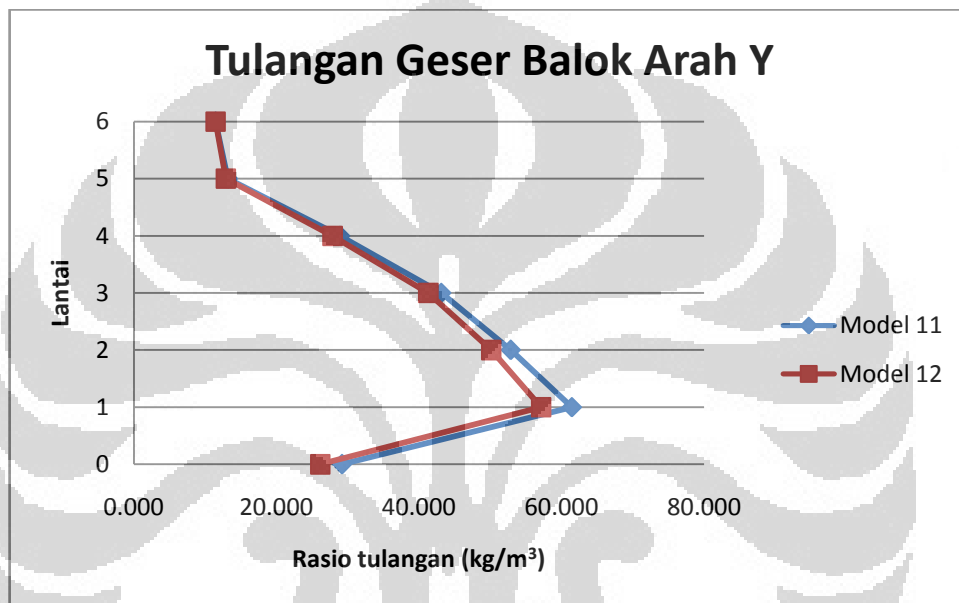
Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	11.443	11.443
Lantai 5	13.235	12.920
Lantai 4	26.621	25.737
Lantai 3	35.491	34.066
Lantai 2	44.150	41.892
Lantai 1	52.756	49.046
Dasar	23.263	20.793



Gambar 4.56 Rasio tulangan geser balok arah X simulasi 5

Tabel 4-65 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 5 (kg/m^3)

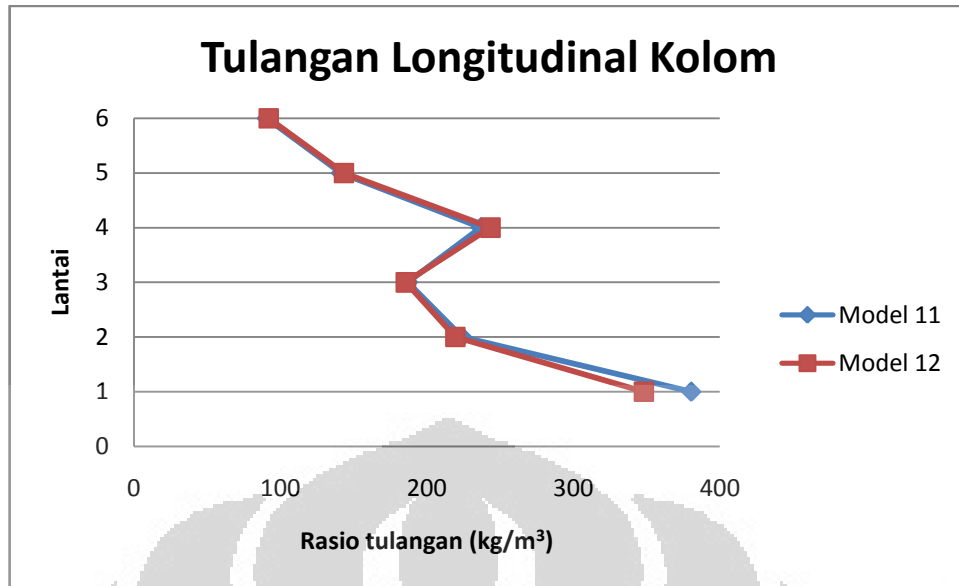
Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	11.443	11.443
Lantai 5	13.170	12.881
Lantai 4	28.906	27.864
Lantai 3	43.102	41.295
Lantai 2	52.861	50.100
Lantai 1	61.424	57.114
Dasar	29.200	26.137



Gambar 4.57 Rasio tulangan geser balok arah Y simulasi 5

Tabel 4-66 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 5 (kg/m^3)

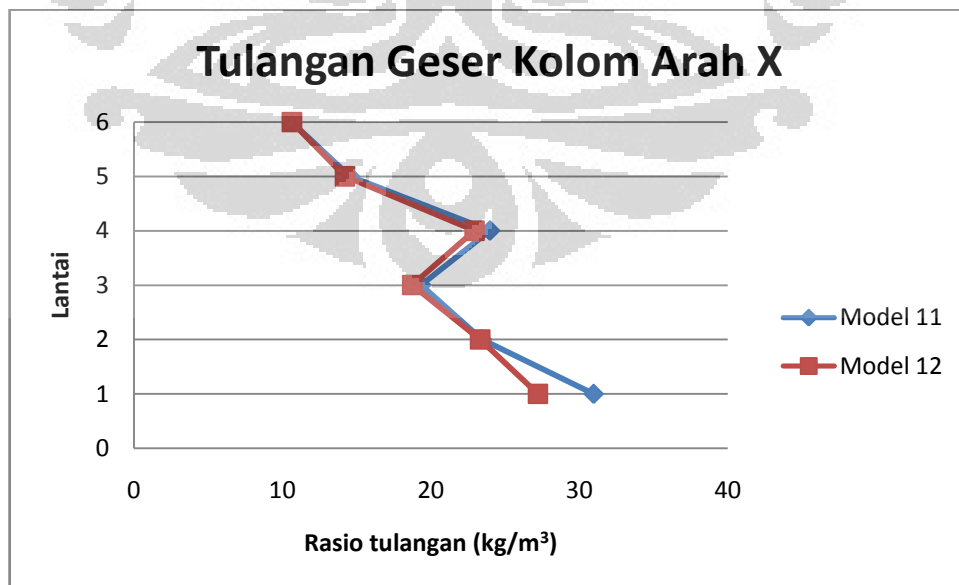
Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	90.71519	91.955
Lantai 5	141.3837	143.346
Lantai 4	236.9731	243.467
Lantai 3	186.8953	185.599
Lantai 2	223.9476	219.319
Lantai 1	380.3601	348.011



Gambar 4.58 Rasio tulangan longitudinal kolom simulasi 5

Tabel 4-67 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 5 (kg/m^3)

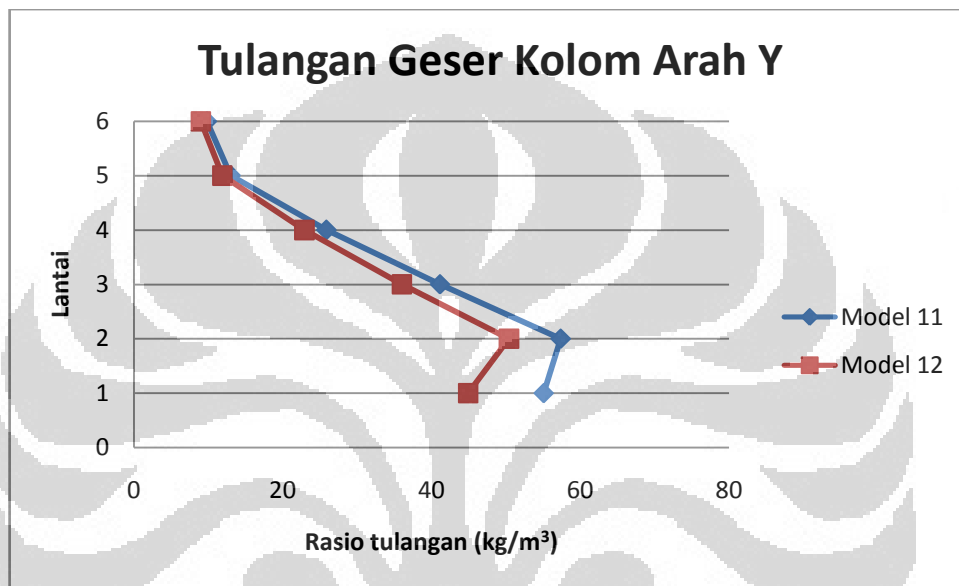
Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	10.63795	9.820
Lantai 5	14.53132	12.579
Lantai 4	23.98707	19.950
Lantai 3	19.34565	16.353
Lantai 2	23.44026	22.119
Lantai 1	30.95289	24.223



Gambar 4.59 Rasio tulangan geser kolom arah X simulasi 5

Tabel 4-68 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 5 (kg/m^3)

Level	Model 1	Model 2
Lantai 6	9.819646	9.001
Lantai 5	12.99474	11.875
Lantai 4	25.87612	22.917
Lantai 3	41.1543	36.012
Lantai 2	57.38892	50.418
Lantai 1	55.07976	44.938



Gambar 4.60 Rasio tulangan geser kolom arah Y simulasi 4

Dari tabel tulangan longitudinal balok arah X dan Y, dapat dilihat bahwa rasio tulangan longitudinal model 11 pada seluruh lantai rasionya lebih besar dibanding model 12. Hal ini dikarenakan gaya geser pada model 11 lebih besar dibanding model 12 sehingga rasio tulangan yang dibutuhkan akan lebih besar. Dari output yang dihasilkan, pada model 11 ada beberapa balok pada daerah tepi mengalami *overstress* dan rasio tulangannya melebihi rasio tulangan maksimum. Ini mengindikasikan bahwa dengan memodelkan struktur terisolasi tanpa *basement* akan membutuhkan dimensi komponen struktur yang lebih besar.

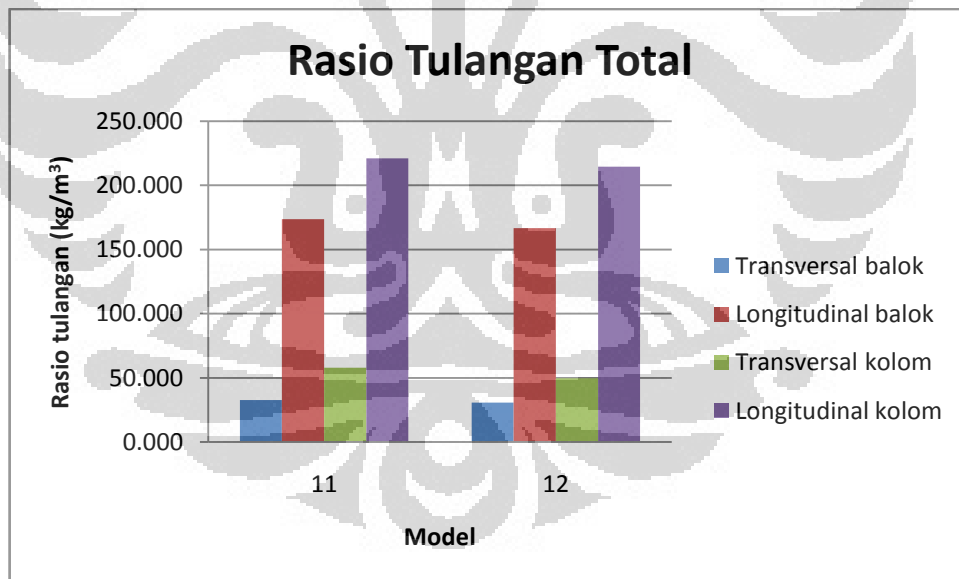
Dari tabel tulangan geser balok arah X dan Y, rasio tulangan geser model 11 juga lebih besar dibanding model 12. Hal ini mirip dengan tulangan longitudinal, yaitu karena gaya geser yang bekerja pada model 11 lebih besar daripada model 12.

Dari tabel tulangan longitudinal kolom dapat dilihat bahwa nilai rasio kebutuhan tulangan per lantai cukup besar walaupun dimensi kolomnya besar, hal ini dikarenakan kedua model ini dianalisa menggunakan *Performance Based Design*. Rasio tulangan longitudinal kolom model 11 lebih besar dibanding model 12 karena pada model 11 gaya geser yang bekerja lebih besar.

Dari tabel tulangan geser kolom arah X dan Y, rasio tulangan geser tiap lantai model 11 lebih kecil dibanding model 12. Sama dengan tulangan longitudinal, hal ini dikarenakan gaya geser pada model 11 lebih kecil dibanding model 12.

Tabel 4-69 Total rasio tulangan simulasi 5 (kg/m^3)

Model	Balok		Kolom		TOTAL
	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	
11	32.587	173.593	57.881	221.086	105.422
12	30.785	166.643	49.683	214.633	100.570



Gambar 4.61 Rasio tulangan total simulasi 5

Dari tabel dan gambar di atas dapat dilihat bahwa model 11 nilai rasio tulangannya lebih besar dibanding model 12 karena gaya geser yang bekerja pada model 11 lebih besar dibanding model 12 sehingga akan menimbulkan gaya – gaya dalam yang lebih besar pula.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan isolator gempa maka periode getar alami struktur akan meningkat sehingga dapat mereduksi gaya gempa dan tulangan yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit (khusus untuk struktur gedung yang didesain menggunakan metode *Strength Based Design* – SRPMB).
2. Dalam mendesain struktur yang menggunakan *base isolation*, pengaruh P-Delta akan meningkatkan gaya geser yang diterima isolator sebesar 16,69% untuk arah X dan 16,62% untuk arah Y.
3. Terdapat peningkatan gaya geser sebesar 55,28% pada arah X dan sebesar 55,21% pada arah Y bila memodelkan struktur terisolasi tanpa menyertakan *basement*, artinya bahwa terjadi *overestimate* pada isolator karena gaya geser yang masuk lebih besar sehingga dibutuhkan isolator yang lebih kaku.
4. Struktur yang menggunakan *base isolation* harus didesain menggunakan metode *Performance Based Design* seperti yang dijelaskan pada peraturan – peraturan internasional.
5. Dari simulasi yang telah dilakukan, struktur 4 lantai lebih efektif menggunakan isolator gempa dibanding struktur 6 lantai, terbukti dari nilai rasio tulangan total yang lebih kecil dibanding struktur 6 lantai.

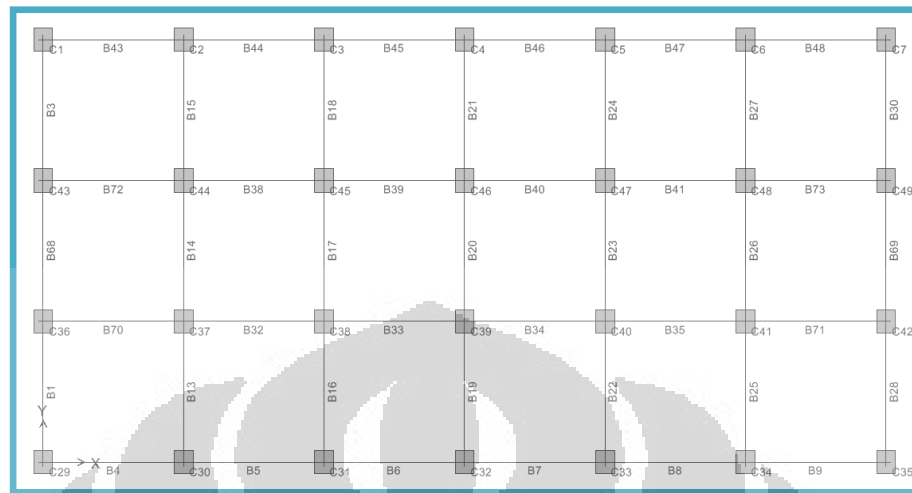
5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka sebaiknya dalam mendesain struktur gedung dengan *base isolation* perlu menganalisis pengaruh P-Delta karena terjadi *displacement* yang besar di level isolatornya sehingga gaya geser yang diterima isolator akan meningkat. Selain itu dalam memodelkannya juga disarankan menyertakan *basement* karena *basement* membantu mengurangi gaya geser yang diterima isolator. Untuk penelitian selanjutnya, dapat digunakan analisa *time history* untuk mengetahui respon dinamik struktur secara lebih akurat.

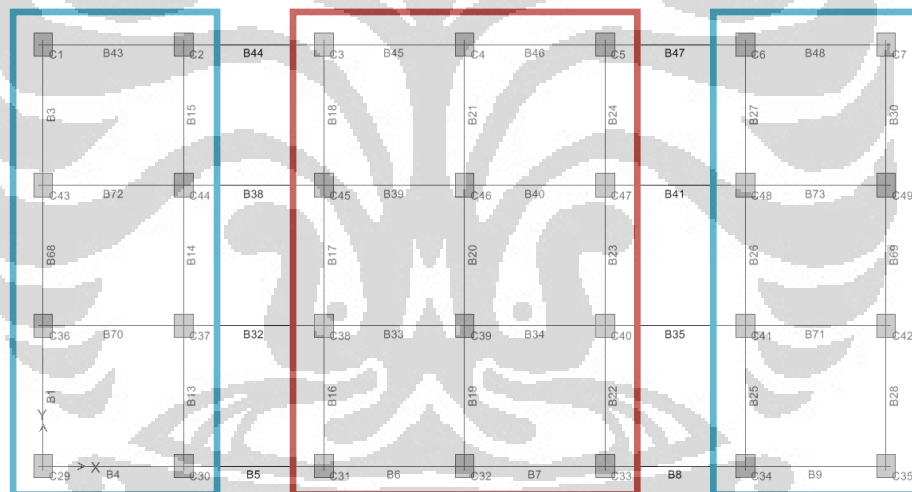
DAFTAR PUSTAKA

- Akyuz, U and E. Acar. (2007). *A Comparative Study for Seismically Isolated Buildings*. Department of Civil Engineering, Earthquake Engineering Research Centre, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structure, Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI-1726-2002)*. Jakarta: Author
- International Conference of Building Officials. (1997). *Uniform Building Code*. Whittier, CA: Author
- Islam, Saiful A. B. M. and Mohammed Jameel. (2011). *Seismic Isolation In Buildings To Be A Practical Reality: Behavior Of Structure And Installation Technique*. Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia
- Martelli, A. (2000). *Modern Seismic Protection Systems for Civil and Industrial Structure*. SAMCO final report
- Naeim, Farzad and James M. Kelly. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc
- Parducci, Alberto. (2010). *Seismic Isolation: Why, Where, When Design Option for Ordinary Buildings: The Italian Experience*. Esempli di Architettura
- Teruna, D.R. (2005). Analisis Respon Bangunan Dengan Base Isolator Akibat Gaya Gempa. *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6, No. 4

Lampiran 1. Denah isolator



4 lantai



6 lantai

Keterangan:

Zona biru menggunakan isolator jenis *high damping rubber bearing* dengan tipe HT090X6R

Zona merah menggunakan isolator jenis *high damping rubber bearing* dengan tipe HT110X6R

Lampiran 2. Periode getar dan partisipasi massa

Output	Mode	Model							
		1	2	3	4	7	9	11	
Periode getar (detik)	1	0.765	0.765	2.221	2.221	2.067	2.013	2.712	
	2	0.744	0.744	2.213	2.213	2.060	1.993	2.704	
	3	0.681	0.681	2.146	2.146	2.004	1.816	2.597	
	4	0.270	0.270						
	5	0.267	0.267						
	6	0.244	0.244						
Partisipasi massa (% kum)	UX	1	85.310	85.310	94.949	94.949	94.899	93.785	99.840
		2	85.310	85.310	94.949	94.949	94.899	93.785	99.840
		3	85.310	85.310	94.949	94.949	94.899	93.785	99.840
		4	95.759	95.759					
		5	95.759	95.759					
		6	95.759	95.759					
	UY	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2	82.947	82.947	94.968	94.968	94.919	93.878	99.849
		3	82.947	82.947	94.968	94.968	94.919	93.878	99.849
		4	82.947	82.947					
		5	94.997	94.997					
		6	94.997	94.997					
	RZ	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		3	83.681	83.681	94.735	94.735	94.700	93.412	99.881
		4	83.681	83.681					
		5	83.681	83.681					
		6	95.188	95.188					

Keterangan:

Model 3 = 5

Model 4 = 6 = 8 = 10 = 12

Lampiran 3. Pengecekan gaya geser statik vs dinamik

Arah	Gaya geser (kN)	Model		
		1	2	3
EX	Statik	5216.785	2148.088	3896.43
	80% Statik	4173.428	1718.47	3117.144
	Dinamik	4468.48	1838.02	3693.64
	Keterangan	OK	OK	OK
EY	Statik	5363.472	2208.488	3909.833
	80% Statik	4290.778	1766.791	3127.866
	Dinamik	4468.41	1838.06	3706.69
	Keterangan	OK	OK	OK

Keterangan:

Untuk model 4 – 12 tidak dilakukan pengecekan gaya geser statik vs dinamik karena didesain menggunakan metode statik.

Lampiran 4. Perhitungan *Performance Based Design*

Tipe isolator:
HT090X6R
 K_D 1560 kN/m
 K_M 926 kN/m
 B_D 0.24
 berat 16.2 kN
 Height 496.4 Mm
 Jumlah 28 buah

Z jakarta 0.15
 N_v 1
 C_{VD} 0.32
 ZN_v 0.15
 M_M 2
 $M_M ZN_v$ 0.3
 C_{VM} 0.54

T_D 1.778001 detik
 T_M 2.30775 detik

D_D 0.589686 M
 D_M 1.291579 M

V_B 25757.46 kN
 V_S 12878.73 Kn

LEVEL	W_i	H_i	$W_i \cdot H_i$	F_i
4	6058.8	15.9	96334.92	4201.316
3	7322.4	12.3	90065.52	3927.898
2	7322.4	8.7	63704.88	2778.269
1	7423.2	5.1	37858.32	1651.06
Dasar	6674.4	1.1	7341.84	320.1891
	34801.2	$\sum W_i \cdot H_i$	295305.5	12878.73

4 lantai

(Lanjutan)

Tipe isolator:

HT090X6R		HT110X6R	
K_D	1560 kN/m	K_D	2340 kN/m
K_M	926 kN/m	K_M	1383 kN/m
B_D	0.24	B_D	0.24
Berat	16.2 kN	berat	23 kN
Height	496.4 mm	height	472.8 Mm
JUMLAH	16 buah	JUMLAH	12 Buah

Z jakarta	0.15
N_v	1
C_{vD}	0.32
Z_{Nv}	0.15
M_M	2
M_{MZN_v}	0.3
C_{vM}	0.54
T_D	1.960527 detik
T_M	2.547574 detik
D_D	0.650221 m
D_M	1.425801 m
V_B	34487.74 kN
V_S	17243.87 kN

TINGKAT	W_i	H_i	$W_i.H_i$	F_i
6	6022.512	23.3	140324.5	3901.659
5	7286.112	19.7	143536.4	3990.964
4	7286.112	16.1	117306.4	3261.65
3	7835.616	12.5	97945.2	2723.321
2	7835.616	8.9	69736.98	1939.005
1	7964.64	5.3	42212.59	1173.702
Dasar	7015.2	1.3	9119.76	253.5707
	51245.81	$\sum W_i.H_i$	620181.9	17243.87

6 lantai