



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA SISTEM PERKUATAN DENGAN KOMPONEN
LOAD TRANSFER DI ANTARA BALOK BETON EKSISTING
DAN BALOK BAJA AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI
DAN GEMPA BUMI**

SKRIPSI

**RIZAL PRASETYO
0806329571**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA SISTEM PERKUATAN DENGAN KOMPONEN
LOAD TRANSFER DI ANTARA BALOK BETON EKSISTING
DAN BALOK BAJA AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI
DAN GEMPA BUMI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

**RIZAL PRASETYO
0806329571**

**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 : Rizal Prasetyo

NPM : 0806329571

Tanda Tangan : 

Tanggal : 26 Juni 2012

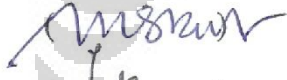
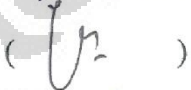



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rizal Prasetyo
NPM : 0806329571
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Kinerja Sistem Perkuatan dengan Komponen *Load Transfer* di Antara Balok Beton Eksisting dan Balok Baja Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Bumi

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 1 : Mulia Orientalize S.T., M.Eng ()
Penguji 2 : Dr. -Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 26 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karuniaNya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Sipil. Saya menyadari tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sangatlah sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Yuskar Lase DEA, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Mulia Orientelize S.T., M.Eng dan Dr. –Ing. Josia Irwan Rastandi S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan-masukan dalam penyelesaian skripsi ini;
3. Orang tua saya, The Lip Jong dan Herianti Tasmin dan kedua kakak saya, Andhika Pratama dan Fransiska yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil;
4. Garlan Ramadhan yang telah membantu penulis dalam melakukan dan memeriksa permodelan;
5. Teman sebimbingan skripsi, Yusak, Dian, Wisnu, Maisarah, Martina, Damar, dan Edwin atas pengetahuan, diskusi, dan dukungan yang telah kita bagi selama penyusunan skripsi ini;
6. Johanna Evasari, Indra Kusuma, Iezal, Geinessa Irianty, Jennyvera, Hilda Jusuf, serta seluruh teman-teman Departemen Teknik Sipil Angkatan 2008 atas seluruh dukungan moril dalam penyelesaian skripsi

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan demi perbaikan ke depan sangat diperlukan. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi banyak pihak.

Depok, 26 Juni 2012

Penulis

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

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

Nama : Rizal Prasetyo
NPM : 0806329571
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

KINERJA SISTEM PERKUATAN DENGAN KOMPONEN *LOAD TRANSFER* DI ANTARA BALOK BETON EKSISTING DAN BALOK BAJA AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI DAN GEMPA BUMI

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 mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan saya ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 26 Juni 2012

Yang Menyatakan



(Rizal Prasetyo)

ABSTRAK

Nama : Rizal Prasetyo
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Kinerja Sistem Perkuatan dengan Komponen *Load Transfer* di Antara Balok Beton Eksisting dan Balok Baja Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Bumi

Load Transfer adalah sebuah komponen yang diletakkan di antara balok beton eksisting dan balok baja tambahan yang bertujuan membuat mekanisme penyaluran beban dari balok beton menuju balok baja menjadi aktif. Cara kerja komponen ini seperti dongkrak hidrolik yang memberikan tekanan yang sama ke permukaan bawah balok beton dan permukaan atas balok baja pada tengah bentang sehingga penyaluran beban sudah berjalan sebelum beban tambahan diberikan. Dengan menggunakan komponen ini, gaya dalam momen dan geser pada daerah tumpuan dan lapangan balok beton dapat direduksi dan mencegah terjadinya kegagalan pada balok beton eksisting tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perkuatan dengan menggunakan komponen *Load Transfer* lebih efektif daripada perkuatan dengan *grouting*. Besar gaya dalam yang dapat direduksi oleh komponen ini sama antara analisa menggunakan pembebanan gravitasi dengan analisa menggunakan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa bumi. Semakin besar gaya *Load Transfer* yang diberikan, semakin besar gaya dalam momen dan geser pada balok beton eksisting yang dapat direduksi sehingga menjadi semakin efektif. Selain itu, balok beton eksisting juga lebih kaku sehingga lendutan yang terjadi akibat beban baru dapat direduksi. Namun, komponen *Load Transfer* tidak mempengaruhi gaya dalam aksial dan momen pada kolom.

Kata Kunci :

Kekakuan, kekuatan, *load transfer*, gaya dalam, gaya momen, gaya geser, respon seismik

ABSTRACT

Name : Rizal Prasetyo
Major : Civil Engineering
Title : Performance of Strengthening System Using Load Transfer Component in between Existing Concrete Beams and Steel Beams Under Gravity and Earthquake Loading

Load Transfer is a component placed in between existing concrete beam and additional steel beam, which aims to create mechanism for allocating loads from concrete beam to steel beam to be active. This component's performance is similar with hydraulic jack, which gives equal pressure to the lower surface of concrete beam and upper surface of steel beam in the midspan so that distribution of loads will start before additional loads are given. By using this component, moment and shear force on the pedestal and field can be reduced, which will prevent failure on existing concrete beam. This result indicates that strengthening by using load transfer component is more effective than strengthening with grouting. The value of internal force that can be reduced by this component using analysis using gravity load is the same with analysis using the combination of gravity and earthquake loading. As the load transfer force given increase, greater moment and shear force on the existing concrete beam can be reduced so it becomes more effective. In addition, existing concrete beam also become more rigid, causing deflection caused by additional load can be reduced. However, load transfer component does not affect the axial and moment force on the column.

Keywords:

Stiffness, strength, load transfer, internal force, moment force, shear force, seismic response

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENULISAN.....	2
1.3 METODE PENELITIAN.....	2
1.4 RUANG LINGKUP PEMBAHASAN	3
1.5 HIPOTESIS	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 DESAIN SEISMIK BANGUNAN TINGGI	5
2.1.1 DESAIN SEISMIK BANGUNAN TINGGI DENGAN SISTEM MDOF.....	5
2.1.2 ANALISA GETARAN BEBAS	6
2.1.3 ANALISA GETARAN PAKSA	8
2.1.4 RESPON SPEKTRUM STRUKTUR MDOF	9
2.2 PERBAIKAN STRUKTUR BANGUNAN EKSISTING TERHADAP GEMPA.....	14
2.3 PERKUATAN BALOK BETON EKSISTING DENGAN BALOK BAJA	19
2.3.1 PERKUATAN BALOK BETON EKSISTING DENGAN BALOK BAJA YANG DISAMBUNG DENGAN PENGISIAN <i>GROUTING</i>	20
2.3.2 PERKUATAN BALOK BETON EKSISTING DENGAN BALOK BAJA DENGAN KOMPONEN <i>LOAD TRANSFER</i>	20
BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN.....	23
3.1 ALUR BERPIKIR	23
3.2 <i>LAYOUT</i> BANGUNAN	24
3.3 PROPERTI MATERIAL DAN GEOMETRI BANGUNAN	25
3.3.1 MATERIAL	25
3.3.2 GEOMETRI BANGUNAN	25
3.4 PEMBEBANAN STRUKTUR	26
3.5 MODELISASI STRUKTUR	29
3.5.1 MODELISASI STRUKTUR DENGAN $LL = 2,5 \text{ kN/m}^2$	29
3.5.2 MODELISASI STRUKTUR DENGAN $LL = 10 \text{ kN/m}^2$ DI LANTAI 1	30
3.5.3 MODELISASI STRUKTUR DENGAN PERKUATAN BALOK BAJA YANG DISAMBUNG DENGAN PENGISIAN <i>GROUTING</i>	30

3.5.4	MODELISASI STRUKTUR DENGAN PERKUATAN BALOK BAJA YANG MENGGUNAKAN SISTEM <i>LOAD TRANSFER</i>	32
3.6	OUTPUT PERMODELAN	34
BAB 4 HASIL DAN ANALISA.....		35
4.1	POLA-POLA GETAR PERTAMA, PERIODE, DAN PARTISIPASI MASSA	38
4.2	DISTRIBUSI GAYA GESER TINGKAT.....	39
4.3	PERPINDAHAN DAN SIMPANGAN ANTAR LANTAI	41
4.4	GAYA DALAM MOMEN BALOK LANTAI 1 AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI DAN KOMBINASI PEMBEBANAN GRAVITASI DAN GEMPA.....	45
4.4.1	BALOK MEMANJANG BAGIAN TEPI.....	45
4.4.2	BALOK MEMANJANG BAGIAN TENGAH	55
4.4.3	BALOK MELINTANG BAGIAN TEPI	64
4.4.4	BALOK MELINTANG BAGIAN TENGAH.....	72
4.5	GAYA GESER PADA BALOK LANTAI PERTAMA AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI DAN KOMBINASI PEMBEBANAN GRAVITASI DAN GEMPA	82
4.5.1	BALOK MEMANJANG BAGIAN TEPI.....	82
4.5.2	BALOK MEMANJANG BAGIAN TENGAH	90
4.5.3	BALOK MELINTANG BAGIAN TEPI	97
4.5.4	BALOK MELINTANG BAGIAN TENGAH.....	104
4.6	GAYA AKSIAL KOLOM LANTAI 1 AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI DAN KOMBINASI PEMBEBANAN GRAVITASI DAN GEMPA BUMI.....	112
4.7	GAYA DALAM MOMEN PADA KOLOM LANTAI 1 AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI DAN GEMPA.....	116
4.8	DEFORMASI VERTIKAL PADA BALOK BETON LANTAI 1 AKIBAT PEMBEBANAN GRAVITASI.....	120
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		124
5.1	KESIMPULAN	124
5.2	SARAN	124

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Permodelan Perpindahan Independen yang Terjadi di Setiap Lantai .	5
Gambar 2.2 Diagram Alir Analisa Persamaan Dinamik.....	10
Gambar 2.3 Respon Spektrum di Setiap Wilayah Gempa di Indonesia Menurut SNI-03-1726-2002	11
Gambar 2.4 Grafik Nilai ρ_{in} yang Dibandingkan dengan Nilai Rasio Frekuensi (β_{in}) dan Kurva Redaman (ζ).....	13
Gambar 2.5 Gambar Interaksi Balok Beton dan Balok Baja yang Disambung Secara Tidak Monolit.....	20
Gambar 2.6 Interaksi Antara Balok Baja dan Balok Beton dengan Elemen <i>Load transfer</i>	21
Gambar 2.7 Lempengan Baja yang Digunakan untuk Menyangga Celah Antara Balok Beton dan Balok Baja.....	22
Gambar 3.1 Diagram Alur Berpikir	23
Gambar 3.2 <i>Layout</i> Denah Bangunan	24
Gambar 3.3 Gambar Model 3D Bangunan	24
Gambar 3.4 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia	27
Gambar 3.5. Respon Seismik untuk Wilayah Gempa 3.....	28
Gambar 3.6 Simulasi Pembebanan Struktur dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	31
Gambar 3.7 Permodelan <i>Grouting</i> dengan Program ETABS 9.6.....	32
Gambar 3.8 Simulasi Pembebanan Perkuatan Struktur Balok Beton dengan Balok Baja yang disambung dengan Elemen <i>Load Transfer</i>	33
Gambar 3.9 Permodelan <i>Load Transfer</i> dengan Program ETABS 9.6.....	34
Gambar 4.1 Denah Bangunan serta Pengelompokan Balok	36
Gambar 4.2 Denah Bangunan serta Pengelompokan Kolom.....	37
Gambar 4.3 Distribusi Gaya Geser Tingkat Arah X Seluruh Permodelan	40
Gambar 4.4 Distribusi Gaya Geser Tingkat Arah Y Seluruh Permodelan	40
Gambar 4.5. Perpindahan Struktur Arah X Seluruh Permodelan	42
Gambar 4.6 Perpindahan Struktur Arah X Seluruh Permodelan	42
Gambar 4.7 Perbandingan Simpangan Arah X terhadap Baatas Layan.....	43
Gambar 4.8 Perbandingan Simpangan Arah Y terhadap Baatas Layan.....	43
Gambar 4.9 Perbandingan Simpangan Arah X terhadap Baatas Ultimit	44
Gambar 4.10 Perbandingan Simpangan Arah Y terhadap Baatas Ultimit.....	44
Gambar 4.11 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	46
Gambar 4.12 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Ujung-Menerus(1.2DL + 1.6LL)	48
Gambar 4.13 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Menerus-Menerus (1.2DL + 1.6LL)	48

Gambar 4.14 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	49
Gambar 4.15 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	51
Gambar 4.16 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)	53
Gambar 4.17 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)	53
Gambar 4.18 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	54
Gambar 4.19 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)	56
Gambar 4.20 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Ujung-Menerus (1.2DL + 1.6LL)	57
Gambar 4.21 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Menerus-Menerus (1.2DL + 1.6LL)	58
Gambar 4.22 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	59
Gambar 4.23 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	60
Gambar 4.24 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	62
Gambar 4.25 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	62
Gambar 4.26 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	63
Gambar 4.27 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	65
Gambar 4.28 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Ujung-Menerus (1.2DL + 1.6 LL)	66
Gambar 4.29 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Menerus-Menerus (1.2DL+1.6 LL)	67
Gambar 4.30 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	68
Gambar 4.31 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	69

Gambar 4.32 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)	71
Gambar 4.33 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)	71
Gambar 4.34 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	72
Gambar 4.35 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$).....	74
Gambar 4.36 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Ujung-Menerus ($1.2DL + 1.6 LL$)	75
Gambar 4.37 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Menerus-Menerus ($1.2DL+1.6 LL$)	76
Gambar 4.38 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$).....	77
Gambar 4.39 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	78
Gambar 4.40 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	80
Gambar 4.41 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	80
Gambar 4.42 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	81
Gambar 4.43 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$).....	83
Gambar 4.44 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi ($1.2DL + 1.6 LL$).....	84
Gambar 4.45 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$).....	85
Gambar 4.46 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	87
Gambar 4.47 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	88
Gambar 4.48 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$).....	89
Gambar 4.49 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$)	91
Gambar 4.50 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah ($1.2DL + 1.6 LL$).....	92

Gambar 4.51 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	93
Gambar 4.52 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	95
Gambar 4.53 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	96
Gambar 4.54 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	97
Gambar 4.55 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + LL ± Gempa).....	98
Gambar 4.56 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi (1.2DL + 1.6LL).....	99
Gambar 4.57 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	100
Gambar 4.58 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	102
Gambar 4.59 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	103
Gambar 4.60 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	104
Gambar 4.61 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	105
Gambar 4.62 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah (1.2DL + 1.6 LL).....	106
Gambar 4.63 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	107
Gambar 4.64 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	109
Gambar 4.65 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	110
Gambar 4.66 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	111
Gambar 4.67 Kelebihan Gaya Aksial Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan (1.2DL + 1.6LL).....	113
Gambar 4.68 Kelebihan Gaya Aksial Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	115
Gambar 4.69 Kelebihan Momen M2 Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	117

Gambar 4.70 Kelebihan Momen M_3 Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa).....	119
Gambar 4.71 Kelebihan Lendutan Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi ($DL + LL$).....	122



DAFTAR TABEL

Tabel 4-1. Pola-Pola Getar Pertama, Periode dan Partisipasi Massa Seluruh Permodelan.....	38
Tabel 4-2 Distribusi Gaya Geser Tingkat	39
Tabel 4-3 Perpindahan Struktur	41
Tabel 4-4 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	45
Tabel 4-5 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)	46
Tabel 4-6 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)	47
Tabel 4-7 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	50
Tabel 4-8 . Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	50
Tabel 4-9 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)	52
Tabel 4-10 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	55
Tabel 4-11 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	55
Tabel 4-12. Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	57
Tabel 4-13 . Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)..	59
Tabel 4-14 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	60
Tabel 4-15. Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa).....	61
Tabel 4-16 . Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	64
Tabel 4-17 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL) 64	64
Tabel 4-18 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	66

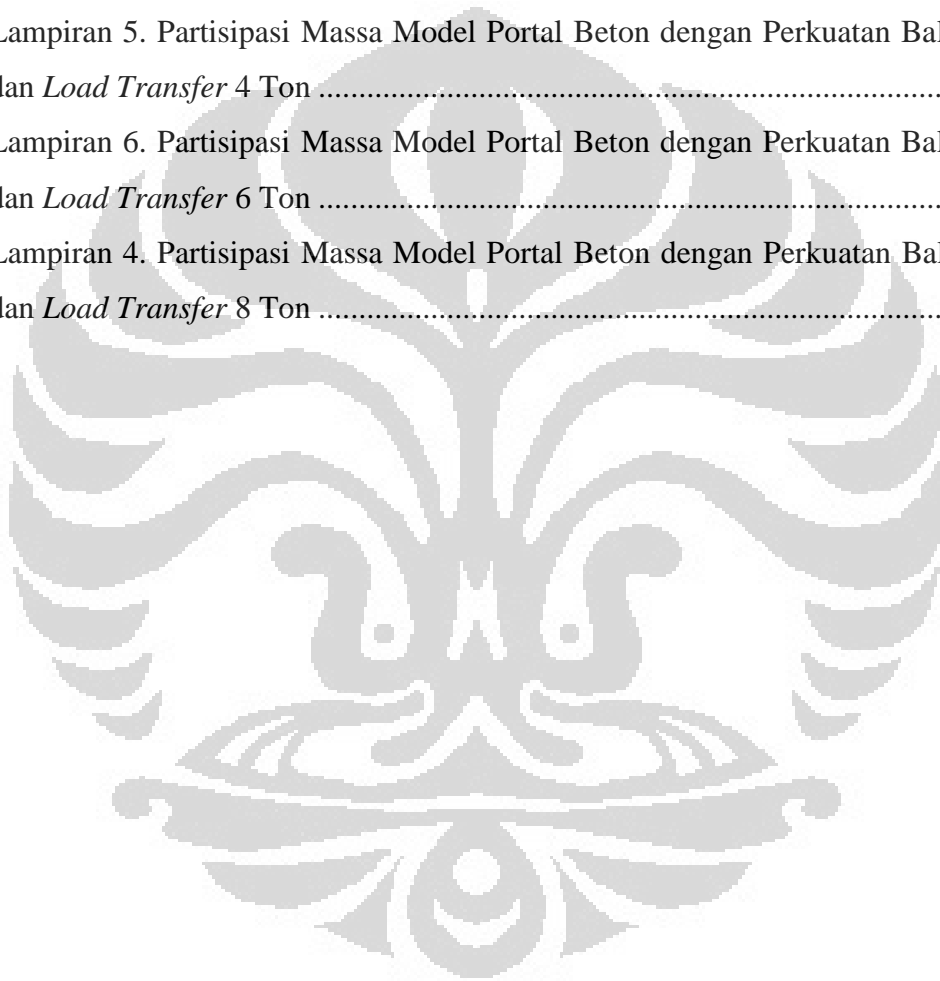
Tabel 4-19 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	68
Tabel 4-20 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)	69
Tabel 4-21 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	70
Tabel 4-22 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	73
Tabel 4-23 . Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)	73
Tabel 4-24 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	75
Tabel 4-25 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	77
Tabel 4-26 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	78
Tabel 4-27 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	79
Tabel 4-28 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)	82
Tabel 4-29 Tabel 4.29. Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	82
Tabel 4-30 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	84
Tabel 4-31 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	86
Tabel 4-32 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	86
Tabel 4-33 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	88
Tabel 4-34 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)	90
Tabel 4-35 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL) ..	90
Tabel 4-36 . Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	92

Tabel 4-37 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	94
Tabel 4-38 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	94
Tabel 4-39 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	95
Tabel 4-40 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)	97
Tabel 4-41 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	98
Tabel 4-42 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL).....	99
Tabel 4-43 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	101
Tabel 4-44 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa).....	101
Tabel 4-45 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa).....	102
Tabel 4-46 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)	104
Tabel 4-47 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL) ...	105
Tabel 4-48 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL).....	106
Tabel 4-49 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	108
Tabel 4-50 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	108
Tabel 4-51 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa).....	109
Tabel 4-52 Penggunaan <i>Load transfer</i> yang Efektif Akibat Pembebanan Gravitasi(1.2 DL+1.6 LL).....	111
Tabel 4-53 Penggunaan <i>Load transfer</i> yang Efektif Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2 DL + LL ± Gempa).....	112
Tabel 4-54 Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Permodelan (1.2DL + 1.6LL).....	112
Tabel 4-55 Kelebihan Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + 1.6LL)	113

Tabel 4-56 Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)	114
Tabel 4-57 Kelebihan Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa)	115
Tabel 4-58 Gaya Dalam M2 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)	116
Tabel 4-59 Kelebihan Gaya Dalam Momen M2 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa).....	117
Tabel 4-60 Gaya Dalam M3 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)	118
Tabel 4-61 Kelebihan Gaya Dalam Momen M3 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa).....	119
Tabel 4-62 Lendutan Pada Bentang Tengah Balok Akibat Beban Gravitasi untuk Setiap Permodelan (DL + LL)	120
Tabel 4-63 Persentase Efektivitas Perkuatan Dalam Mengurangi Lendutan Vertikal Pada Balok (DL + LL)	121
Tabel 4-64 Kelebihan Lendutan Vertikal Pada Balok Lantai 1 Akibat Beban Gravitasi (DL+LL).....	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan $LL = 2.5 \text{ kN/m}^2$	126
Lampiran 2 Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan $LL = 10 \text{ kN/m}^2$	127
Lampiran 3 Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	128
Lampiran 4. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Load Transfer</i> 2 Ton	129
Lampiran 5. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Load Transfer</i> 4 Ton	130
Lampiran 6. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Load Transfer</i> 6 Ton	131
Lampiran 4. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan <i>Load Transfer</i> 8 Ton	132



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem informasi dewasa ini memegang peranan penting dalam segala hal termasuk dalam hal ekonomi. Oleh karena itu, kebutuhan akan Data Center sudah menjadi hal yang wajib dalam setiap perusahaan. Data Center biasanya digunakan untuk menempatkan sistem komputer dan komponen-komponen terkaitnya seperti sistem telekomunikasi dan penyimpanan data. Selain itu, fasilitas ini juga berisi catu daya cadangan (generator), koneksi komunikasi cadangan, pencegah kebakaran, serta piranti keamanan fisik.

Permasalahan timbul jika *Data Center* ingin dibangun di atas sebuah gedung perkantoran yang telah berdiri. Gedung perkantoran tersebut tidak dirancang khusus untuk menahan beban tambahan dari fasilitas-fasilitas yang ada di *Data Center*. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan dan perkuatan struktur untuk menahan beban baru tersebut.

Pada umumnya, perkuatan struktur terutama struktur balok dapat dibedakan menjadi:

- Perkuatan dengan Menambah Kekuatan
Perkuatan ini digunakan untuk menambah kelenturan dari struktur eksisting yaitu dengan menambahkan pelat baja atau *carbon fiber*.
- Perkuatan dengan Menambah Kekuatan dan Kekakuan
Perkuatan ini biasa dilakukan karena beban baru yang diberikan jauh lebih besar dari beban sebelumnya. Perkuatan ini dilakukan dengan cara menambahkan balok baja, *external prestress*, dan menambah kolom.

Perkuatan yang menambah kekuatan dan kekakuan dengan menggunakan balok baja dewasa ini kebanyakan masih bersifat pasif dimana balok baja tambahan hanya ditempel dengan menggunakan *grouting* sehingga balok baja tambahan baru bekerja jika ada beban yang sangat besar yang tidak dapat ditahan oleh balok eksisting. Agar perkuatan tersebut bersifat aktif, diperlukan *load transfer* untuk menyalurkan beban dari balok eksisting ke balok baja tambahan seperti yang akan dijelaskan pada bab-bab berikutnya.

Selain beban vertikal akibat beban mati dan beban hidup, dalam merancang suatu struktur juga harus diperhatikan beban gempa, terlebih lagi Indonesia merupakan daerah yang rawan gempa yang terletak diantara tiga lempeng tektonik bumi yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Pada umumnya perencanaan bangunan untuk menahan gempa didasarkan pada asas *live saving* dimana:

- Untuk gempa dengan skala ringan, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun pada komponen strukturalnya.
- Untuk gempa dengan skala sedang, bangunan boleh mengalami kerusakan pada komponen non-strukturalnya (plafond, dinding) akan tetapi komponen struktural (balok, kolom, sloof) tidak boleh rusak.
- Untuk gempa dengan skala besar, bangunan boleh menalami kerusakan baik pada komponen non-struktural maupun komponen struktural, akan tetapi tidak boleh runtuh agar penghuni bangunan dapat keluar dan meminimalisasi jumlah korban.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisis desain struktur bangunan enam lantai dengan perkuatan balok baja di lantai 1 dengan komponen *load transfer* menggunakan bantuan *software* ETABS 9.6.

1.3 Metode Penelitian

Penulisan skripsi ini dilakukan menggunakan tahapan – tahapan sebagai berikut:

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

- Input data ke *software*
Penulis melakukan input data – data ke *software* ETABS 9.6.
- Simulasi
Proses simulasi ini untuk mengetahui bagaimana diagram gaya - gaya dalam pada struktur bangunan tersebut dan respon dinamik yang lain.
- Analisa dan kesimpulan
Hasil dari simulasi akan dianalisa pada bagian ini dan kemudian akan diambil kesimpulan.

1.4 Ruang Lingkup Pembahasan

Pembahasan pada skripsi ini adalah perkuatan struktur pada balok induk dengan menggunakan balok baja dengan komponen *load transfer*. Bagian struktur seperti balok anak dan kolom tetap diperkuat tetapi tidak akan dibahas pada penulisan skripsi ini. Untuk mengetahui efektifitas dari komponen *load transfer*, maka permodelan komponen *load transfer* ini akan dibandingkan dengan permodelan balok beton dan balok baja yang disambung secara non-komposit (celah antara balok beton dan balok baja diisi dengan *grouting*)

Permodelan pada penulisan ini adalah permodelan struktur gedung enam lantai secara tiga dimensi. Simulasi yang dilakukan meliputi struktur gedung dengan beban lama, struktur gedung dengan beban baru di lantai 1, struktur gedung dengan perkuatan berupa balok baja yang ditempel pada balok beton eksisting dengan menggunakan *grouting*, dan struktur gedung dengan perkuatan balok baja dengan komponen *load transfer*. Ukuran dimensi balok baja yang digunakan pada permodelan dengan *grouting* dan *load transfer* sama. Pengamatan analisa dilakukan pada struktur balok dan kolom (portal) meliputi frekuensi alami, gaya – gaya dalam, *dynamic behavior* dari struktur, dan juga *displacement*. *Software* bantuan yang digunakan untuk menganalisis adalah ETABS 9.6.

1.5 Hipotesis

Dengan dimensi balok baja yang sama, perkuatan dengan balok baja yang disambung dengan *load transfer* memiliki kapasitas yang lebih besar daripada perkuatan baik lentur maupun geser dengan komponen *grouting*. Hal

tersebut diakibatkan oleh sifat penyaluran beban oleh *load transfer* yang bersifat aktif.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 Pendahuluan

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

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Pada bab ini penulis menjelaskan teori – teori yang berkaitan dengan topik skripsi yaitu gempa, kekuatan struktur secara umum, kekuatan struktur dengan komponen *load transfer* dan metode konstruksi yang berhubungan dengan komponen *load transfer*.

BAB 3 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 4 Hasil dan Analisa

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang perilaku dinamik pada struktur dengan variasi permodelan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Penulis juga menganalisa gaya-gaya dalam pada elemen struktur balok induk dan kolom serta mendapatkan efektivitas dari penggunaan *load transfer*.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang kesimpulan yang dapat menjelaskan tercapai atau tidaknya tujuan dan hipotesis yang telah disampaikan pada awal laporan dan saran yang diberikan berdasarkan penelitian ini.

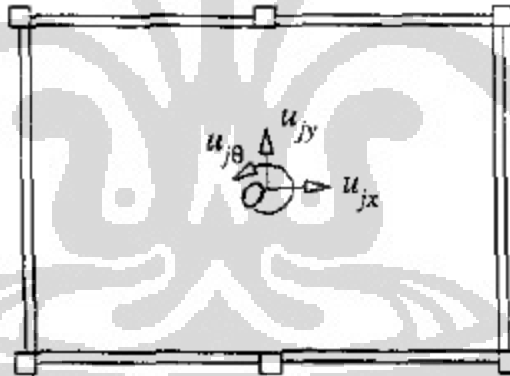
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Desain Seismik Bangunan Tinggi

2.1.1 Desain Seismik Bangunan Tinggi dengan Sistem MDOF

Pada umumnya sistem struktur yang ada merupakan sistem struktur berderajat kebebasan banyak meskipun analisis linear dinamis dilakukan pada suatu struktur akibat percepatan tanah (gempa) yang menggerakkan struktur ke satu arah eksitasi tertentu. Bangunan biasanya dimodelkan menjadi portal bangunan gedung yang terdiri dari beberapa lantai di mana massa tiap lantai diidealisasikan terkonsentrasi pada diafragma tingkat masing-masing lantai. Jumlah perpindahan independen yang dibutuhkan untuk mendefinisikan perpindahan posisi seluruh massa tersebut relatif terhadap posisi kesetimbangan awal disebut jumlah derajat kebebasan. Perpindahan independen yang terjadi di setiap lantai terdiri dari 2 arah horizontal (x dan y) dan torsi yang memutar sumbu z.



Gambar 2.1 Permodelan Perpindahan Independen yang Terjadi di Setiap Lantai

Persamaan dinamik dengan menggunakan sistem MDOF (*Multi Degree of Freedom*) pada umumnya adalah:

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

Dengan:

- $[M]$ = matriks massa, bersifat simetris dan semi definit positif
- $\{\ddot{u}\}$ = vektor percepatan struktur
- $[C]$ = matriks redaman, bersifat simetris dan semi definit positif

- $\{\dot{u}\}$ = vektor kecepatan struktur
 $[K]$ = matriks kekakuan bersifat simetris dan definit positif
 $\{u\}$ = vektor lendutan/*displacement* struktur
 $\{p_{eff}(t)\}$ = vektor gaya dinamik

2.1.2 Analisa Getaran Bebas

Getaran bebas adalah getaran yang terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya dalam sistem itu sendiri dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem. Suatu struktur dikatakan mengalami getaran bebas apabila struktur tersebut diganggu dari posisi kesetimbangan statisnya kemudian dibiarkan bergetar bebas tanpa gangguan eksitasi dinamis. Persamaan dinamikanya secara umum adalah.

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

Getaran bebas terdiri dari getaran bebas tak teredam dan getaran bebas teredam. Pada persamaan getaran bebas tak teredam, struktur tersebut tidak memiliki redaman ($[C] = 0$). Persamaan dinamik getaran bebas tak teredam dirumuskan sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.3)$$

Kemudian persamaan lendutan yang terjadi pada struktur menjadi:

$$\{u_{n(t)}\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} \quad (2.4)$$

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

Setelah mendapatkan persamaan lendutan, diperlukan persamaan variasi perpindahan untuk mengetahui nilai perpindahan dari struktur. Perpindahan yang terjadi merupakan fungsi waktu yang didefinisikan sebagai fungsi gerak harmonik sederhana.

$$q_{n(t)} = A_n \sin \omega_n(t) + B_n \cos \omega_n(t) \quad (2.5)$$

Sehingga,

$$\{u_{n(t)}\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} A_n \sin \omega_n \cdot t + B_n \cos \omega_n \cdot t \quad (2.6)$$

Persamaan di atas kemudian disubstitusi ke dalam persamaan (2.2), sehingga didapatkan

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

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

Persamaan (2.8) merupakan persamaan aljabar yakni persamaan eigen dengan $\{\phi_n\}$ merupakan vektor eigen, di mana persamaan tersebut akan memiliki solusi non-trivial jika

$$|-\omega_n^2 [M] + [K]| = 0 \quad (2.9)$$

Persamaan di atas memiliki n buah akar real dan positif untuk ω_n^2 karena $[M]$ dan $[K]$ adalah matriks yang simetris. Adapun n buah akar tersebut merupakan n buah frekuensi natural getaran bebas yang disebut juga nilai eigen, nilai karakteristik, atau nilai normal di mana $\omega_1 \leq \omega_2 \leq \omega_3 \leq \dots \dots \dots \omega_n$

Nilai dari setiap n buah frekuensi alami itu kemudian disubstitusi ke dalam persamaan (2.8) sehingga didapatkan n buah vektor independen $\{\phi_n\}$.

Persamaan lendutan merupakan fungsi dari pola ragam getar $\{\phi_n\}$ yang dapat berubah dalam fungsi waktu. Dari n buah $\{\phi_n\}$ yang telah didapatkan, dapat dicari lendutan yang terjadi, yakni sebagai berikut:

$$\{u_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_n(t) \quad (2.10)$$

$$\{\ddot{u}_n(t)\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_n(t) \quad (2.11)$$

Persamaan (2.10) disubstitusikan ke dalam persamaan awal (2.11), sehingga didapatkan:

$$\sum_{n=1}^N \ddot{q}_n [M] \{\phi_n\} + \sum_{n=1}^N q_n [K] \{\phi_n\} = 0 \quad (2.12)$$

Dilakukan *pre-multiply* Persamaan (2.12) dengan $\{\phi_r\}^T$ sehingga didapatkan

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} \quad (2.13)$$

Dari persamaan di atas, diketahui bahwa $\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\}$ dan $\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\}$ hanya akan memiliki nilai jika $r=n$. Kondisi di mana $\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} = 0$ jika $r \neq n$ tersebut dinamakan sebagai pola getar orthogonal. Pada analisis getaran bebas, pola getar yang terjadi harus orthogonal. Persamaan di atas kemudian dapat ditulis dalam bentuk persamaan umum menjadi

$$M_n \ddot{q}_n + K_n q_n = P_n \rightarrow \quad \text{Uncoupled Differential Equation} \quad (2.14)$$

Persamaan dinamik getaran bebas teredam memiliki sedikit perbedaan dengan persamaan dinamik getaran bebas tak teredam. Perbedaan tersebut terdapat pada matriks redaman $[C]$. Persamaan dinamikanya:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2.15)$$

Sama halnya dengan persamaan getaran bebas tak teredam, persamaan getaran bebas teredam ini juga menggunakan *Modal Analysis* $\{u_{n(t)}\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)}$ sehingga didapatkan persamaan:

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \ddot{q}_n \{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \dot{q}_n \{\phi_r\}^T [C] \{\phi_n\} + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N q_n \{\phi_r\}^T [K] \{\phi_n\} = \{0\} \quad (2.16)$$

Untuk matriks redaman $[C]$, terdapat dua kondisi matriks redaman yakni:

- *Classical Damping* jika pola getar pada $[C]$ juga orthogonal. Adapun untuk *classical damping*, matriks $[C]$ merupakan diagonal matriks. Oleh karena itu, untuk kondisi ini didapatkan persamaan:

$$M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = \{0\} \quad (2.17)$$

- *Non Classical Damping* jika pola getar yang terjadi tidak orthogonal, di mana $\{\phi_r\}^T [M] \{\phi_n\} \neq 0$ jika $r \neq n$.

2.1.3 Analisa Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang diakibatkan oleh gaya luar yang bekerja secara mekanis. Getaran paksa terdiri dari getaran paksa tak teredam dan getaran paksa teredam. Persamaan dinamik getaran paksa dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\ddot{u}_{g(t)} \quad (2.18)$$

Getaran paksa tak teredam tidak memiliki redaman. Oleh karena itu, nilai $[C] = 0$, sehingga persamaan getaran paksa tak teredam menjadi:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\ddot{u}_{g(t)} \quad (2.19)$$

Di samping itu, getaran paksa memiliki *modal analysis* berupa:

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} \quad (2.20)$$

Sehingga didapatkan:

$$\sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = -[M] \ddot{u}_{g(t)} \quad (2.21)$$

Kemudian dilakukan *premultiplied* dengan $\{\phi_r\}^T$. Sehingga persamaan di atas menjadi :

$$\sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \{\phi_r\}^T \ddot{q}_{n(t)} [M] + \sum_{r=1}^N \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} [K] = \{\phi_r\}^T [M] \ddot{u}_{g(t)} \quad (2.22)$$

Selain itu, persamaan modal untuk eksistensi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + \omega_n^2 = -\phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_{g(t)} \quad (2.23)$$

Dengan

$$q_{n(t)} = \Gamma_n D_{n(t)} \quad (2.24)$$

dari persamaan ini, maka total kontribusi dari mode ke-n pada nilai lendutan adalah

$$\{u\} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} q_{n(t)} = \sum_{n=1}^N \{\phi_n\} \Gamma_n D_{n(t)} \quad (2.25)$$

$$\{s\} = [M] \{i\} \quad (2.26)$$

$$[M] \{i\} = \sum_{n=1}^N \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.27)$$

dimana

$$\Gamma_n = \frac{L_n}{M_n} ; L_n = \{\phi_n\}^T [M] \{i\} ; M_n = \{\phi_n\}^T [M] \{\phi_n\} \quad (2.28)$$

maka

$$\{s_n\} = \Gamma_n [M] \phi_n \quad (2.29)$$

Persamaan dinamik untuk getaran paksa teredam:

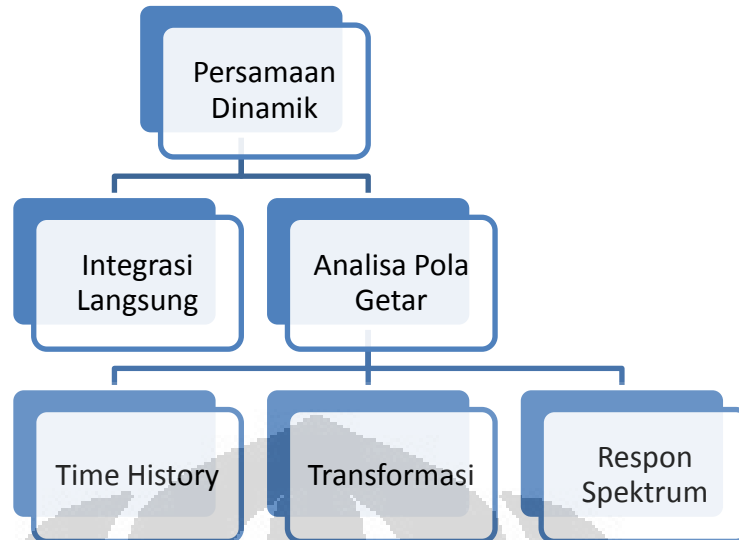
$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{P\} \quad (2.30)$$

Persamaan modal untuk eksistensi gempa dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta\omega_n \dot{D}_n + \omega_n^2 D_n = -\phi_n^T [M] \{i\} \ddot{u}_{g(t)} \quad (2.31)$$

2.1.4 Respon Spektrum Struktur MDOF

Untuk menganalisa persamaan dinamik tersebut dan mendapatkan output berupa gaya geser dasar dan lantai, momen guling, perpindahan dan lain-lain diperlukan suatu metode. Metode-metode tersebut dapat berupa:



Gambar 2.2 Diagram Alir Analisa Persamaan Dinamik

Respon spektrum adalah suatu metode yang menggambarkan respon struktur terhadap periode getar dan gaya gempa yang dialaminya. Respon spektrum dapat terdiri dari hubungan/fungsi antara periode-perpindahan (s_d), periode-kecepatan (s_v), dan periode-percepatan (s_a). Hubungan ketiga respon spectrum tersebut adalah:

$$s_d = s_v \cdot w_n = s_a \cdot w_n^2 \quad (2.32)$$

Menurut SNI-03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, nilai s_a dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$s_a = \frac{C \cdot I}{R} g \quad (2.33)$$

Dengan:

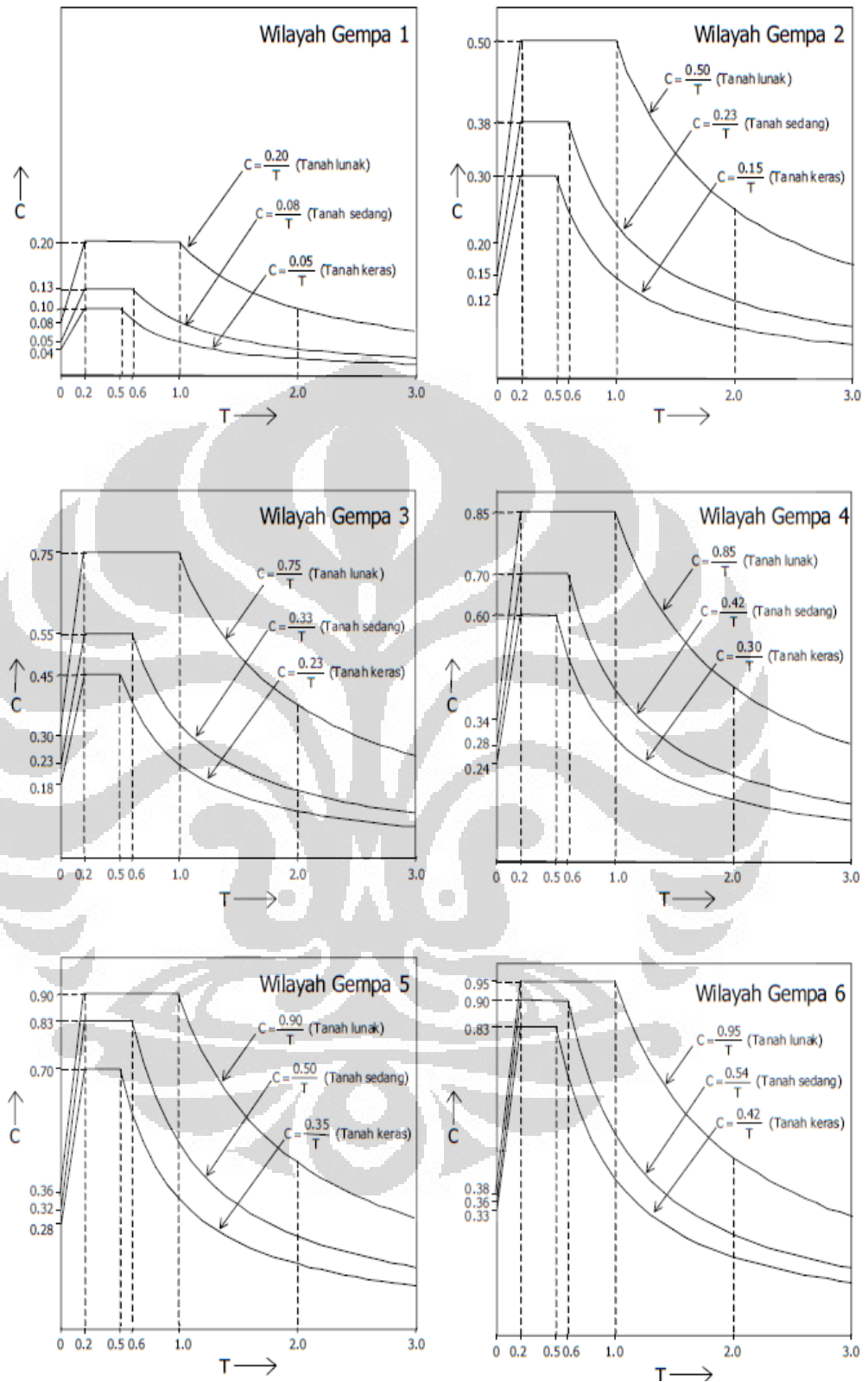
C = Respon Seismik

I = Faktor Keutamaan Bangunan

R = Faktor Reduksi

g = Percepatan Gravitasi

Nilai respon seismik di setiap wilayah gempa di Indonesia adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Respon Spektrum di Setiap Wilayah Gempa di Indonesia Menurut SNI-03-1726-2002

Untuk mendapatkan respon total dari setiap ragam/pola gempa, maka diperlukan beberapa metode untuk menjumlahkan seluruh respon total tersebut.

Metode-metode tersebut antara lain:

1. Metode ABS (*Absolute Sum*)

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

$$r_0 \approx \sum_{n=1}^N |r_{n0}| \quad (2.34)$$

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

Perhitungan dengan metode dilakukan dengan cara menjumlahkan kuadrat nilai respon dari setiap ragam getar, kemudian jumlah tersebut diakarkan. Metode ini memiliki nilai yang cukup akurat terutama bila memiliki frekuensi natural yang teratur.

$$r_0 \approx \sqrt{(\sum_{n=1}^N r_{n0}^2)} \quad (2.35)$$

3. Metode CQC (*Complete Quadratic Combination*)

Perhitungan dengan metode ini akan menghasilkan jumlah respon dari seluruh pola getar yang akurat dan mendekati pendekatan *Time History*. 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.

$$r_0 \approx \sqrt{(\sum_{n=1}^N r_{n0}^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N \rho_{in} r_{i0} r_{n0})} \quad (2.36)$$

Dengan:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^N i \neq n \quad (2.37)$$

Keterangan:

r_0 = respon maksimum total

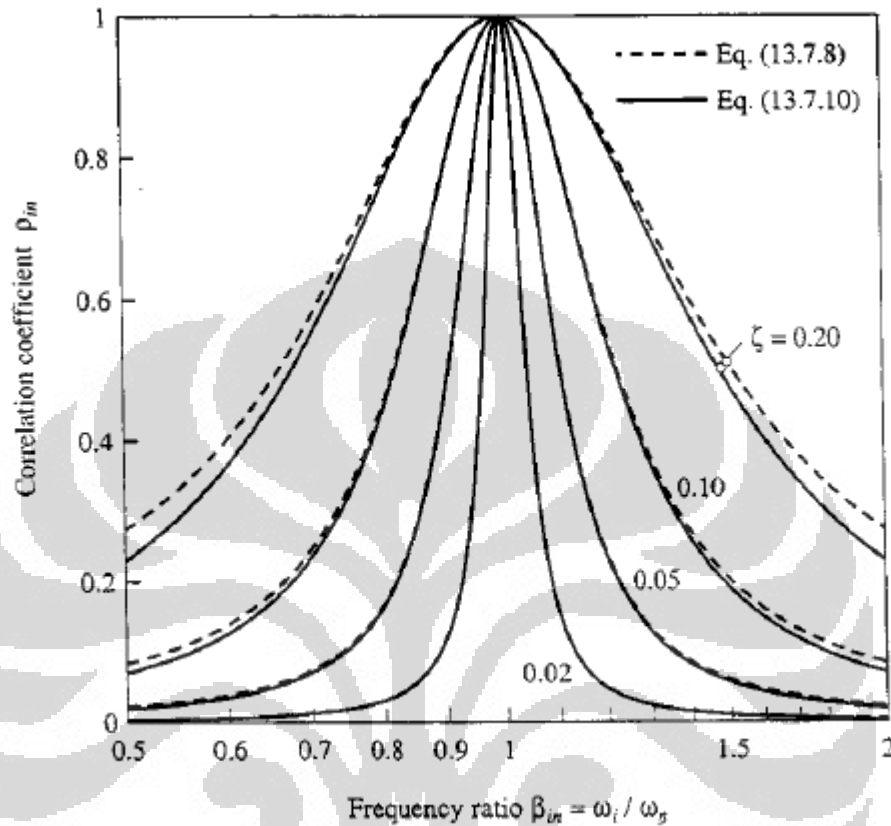
r_{n0} = respon maksimum mode ke-n

r_{i0} = respon maksimum mode ke-i

$$\rho_{in} = \frac{8\xi^2(1+\beta_{in})\beta_{in}^{3/2}}{(1-\beta_{in}^2)+4\xi^2\beta_{in}(1+\beta_{in})^2} \quad (2.38)$$

$$\beta_{in} = \frac{\omega_i}{\omega_n} = \frac{T_n}{T_i} \quad (2.39)$$

Selain dengan rumus di atas, nilai ρ_{in} juga dapat diperoleh dengan melihat kurva antara rasio frekuensi dan nilai redaman.



Gambar 2.4 Grafik Nilai ρ_{in} yang Dibandingkan dengan Nilai Rasio Frekuensi (β_{in}) dan Kurva Redaman (ζ)

Berikut adalah prosedur yang digunakan untuk menghitung respon puncak dari suatu gedung dengan jumlah lantai gedung sebesar n dengan denah simetris terhadap dua sumbu utamanya yang saling tegak lurus terhadap pergerakan tanah (gempa) sepanjang sumbu simetri yang dikarakterisasi oleh sebuah spektrum respon atau spektrum desain:

- Mendefinisikan nilai matriks dari properti struktur (matriks massa, matriks kekakuan lateral, rasio redaman)
- Menentukan frekuensi natural (ω_n) atau periode natural (T_n), ragam getar natural (Γ_n), *modal expansion* (S_n)
- Mengitung respons puncak pada ragam ke- n melalui langkah-langkah sebagai berikut yang diulangi pada seluruh ragam:

- Berdasarkan periode natural bangunan (T_n) dan rasio redamannya, baca respons D_n (*deformation of nth-mode*) dan A_n (*pseudo-acceleration spectrum ordinate*) dari spektrum respons atau respons desain gempa. Hubungan antara D_n dan A_n digambarkan dalam persamaan:

$$A_n = w^2 D_n \quad (2.40)$$

- Menghitung lendutan lantai dan drift (simpangan antar lantai) berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$u_{jn} = \Gamma_n \phi_{jn} D_n \quad (2.41)$$

$$\Delta_{jn} = \Gamma_n (\phi_{jn} - \phi_{j-1,n}) D_n \quad (2.42)$$

- Menghitung gaya statik ekuivalen pada setiap lantai berdasarkan persamaan di bawah ini.

$$f_{jn} = \Gamma_n m_j \phi_{jn} A_n \quad (2.43)$$

- Menghitung respon dinamik bangunan seperti gaya geser lantai, momen guling, dan gaya dalam elemen (momen lentur, lintang, aksial) pada masing-masing ragam getar. Jumlahkan respon dinamik seluruh ragam getar tersebut dengan menggunakan salah satu dari ketiga metode yang telah dijelaskan di atas.

2.2 Perbaikan Struktur Bangunan Eksisting Terhadap Gempa

Dalam mendesain suatu bangunan diperlukan suatu perencanaan yang mendalam tentang ketahanan bangunan untuk menahan beban gempa. Permasalahan muncul ketika pemilik bangunan ingin mengubah fungsi dari gedung yang telah berdiri. Tentunya beban yang harus ditahan oleh struktur bangunan bertambah dan berpengaruh juga terhadap ketahanan struktur bangunan terhadap gempa. Oleh karena itu, diperlukan suatu pedoman tentang perbaikan struktur bangunan eksisting terhadap gempa.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) dari Amerika Serikat telah mengembangkan suatu pedoman tentang teknik perbaikan struktur bangunan eksisting terhadap gempa dan ditulis dalam FEMA-547 yang berjudul *Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*. Tujuan utama dari pedoman

ini adalah memberikan penjelasan tentang teknik perbaikan bangunan eksisting terhadap gempa secara aplikatif dan efektif.

Teknik perbaikan setiap bangunan tentunya berbeda, tergantung dari sifat seismik dari bangunan tersebut. Defisiensi seismik adalah kekurangan sifat seismik bangunan sehingga tidak dapat memenuhi kinerja seismik bangunan yang direncanakan. Defisiensi seismik bangunan dapat dikategorikan menjadi berikut:

a. Kekuatan Global (*Global Strength*)

Defisiensi ini biasanya terjadi pada bangunan tua karena kurangnya perencanaan gempa atau peraturan terdahulu yang memiliki persyaratan kekuatan yang kurang. Biasanya defisiensi ini diikuti dengan defisiensi yang lainnya sehingga tidak dapat ditanggulangi dengan menambahkan kekuatan dan diperlukan evaluasi yang lebih mendalam.

b. Kekakuan Global (*Global Stiffness*)

Meskipun kekuatan dan kekakuan biasanya dikontrol dengan elemen struktur yang sama, kedua aspek ini harus dipandang secara terpisah. Kegagalan dalam aspek ini biasanya ditandai dengan pergeseran yang berlebihan karena ada komponen yang tidak didetail dengan baik. Kekakuan global ditunjukkan oleh kekakuan seluruh seluruh sistem penahan lateral walaupun kekurangan kekakuan tidak kritis di setiap lantai. Kekurangan kekakuan yang mengakibatkan pergeseran yang kritis biasanya terjadi di bagian terbawah dari portal bangunan. Kekakuan harus ditambahkan untuk mengurangi pergeseran tersebut secara efisien. Jika beban yang diberikan terlalu besar, maka penambahan kekakuan dinilai lebih efisien daripada penambahan kekuatan.

c. Konfigurasi

Kekurangan ini biasanya disebabkan oleh ketidakteraturan bidang dan ketidakteraturan vertikal. Ketidakteraturan bidang dapat mengakibatkan kebutuhan yang besar pada suatu elemen akibat respon torsional atau ukuran dari diafragma. Ketidakteraturan vertikal diakibatkan oleh ketidakseimbangan distribusi massa dan kekakuan dari setiap tingkat.

d. *Load Path*

Load Path adalah penyaluran beban dari setiap massa di bangunan menuju tanah. Contohnya beban yang ditanggung bangunan disalurkan menuju lantai, balok, kolom, dan komponen pondasi. Kemudian seluruh beban disalurkan dari pondasi menuju tanah. Untuk menjaga agar mekanisme ini dapat berjalan dengan lancar, diperlukan detail sambungan yang baik. Sambungan yang kurang baik dapat menyebabkan penyaluran terganggu atau bahkan putus sama sekali.

e. Detail Komponen

Detail komponen dimaksudkan sebagai keputusan desain yang mempengaruhi sebuah komponen atau perilaku komponen di luar kekuatan nominal. Contohnya adalah confinement yang kurang pada kolom yang menyebabkan pergeseran melebihi kapasitas geser kolom tersebut. Identifikasi dari defisiensi ini signifikan terhadap rencana mitigasi karena kinerja yang dapat diterima hanya dapat dicapai dengan penyesuaian detail daripada menambah penahan beban lateral yang baru.

f. Diafragma

Fungsi utama dari diafragma dalam sistem seismik bangunan adalah berperilaku sebagai balok horizontal antara elemen penahan beban lateral. Defisiensi yang dimaksud dalam bagian ini adalah kegagalan fungsi utama dari diafragma yang telah disebutkan sebelumnya, seperti kekurangan kekuatan geser atau lentur, kekakuan, atau kekurangan penulangan sekitar bukaan. Dalam hal ini, ketidakcukupan elemen kolektor tidak dikategorikan sebagai defisiensi ini, melainkan defisiensi *load path*.

g. Pondasi

Defisiensi pondasi dapat terjadi pada elemen pondasi itu sendiri atau karena kekurangan mekanisme penyaluran beban antara pondasi dan tanah. Kategori defisiensi ini termasuk kekurangan kuat lentur atau geser yang tersebar pada *pile cap*, *tie-beam*, dan tiang pondasi. Kegagalan penyaluran beban termasuk penurunan yang berlebih, rotasi yang berlebih, kapasitas tarik dari pondasi dalam, atau kehilangan kekuatan *bearing* akibat likuefaksi (fenomena kerusakan struktur tanah bila lapisan

tanah pasir jenuh kehilangan kekuatan geser karena melonjaknya tekanan air pori akibat gerakan gempa).

Setelah menentukan defisiensi seismik yang terjadi pada bangunan, perbaikan struktur dapat ditentukan dengan tepat. Beberapa jenis perbaikan struktur yang dapat dilakukan antara lain:

a. Penambahan Elemen Baru

Metode ini merupakan metode yang paling jelas dan sering digunakan dalam perkuatan struktur. Dalam beberapa hal, penambahan *shear wall*, *braced frame*, atau *moment frame* digunakan untuk mengatasi defisiensi dalam kekuatan global, kekakuan global, konfigurasi, atau diafragma seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Elemen baru juga dapat ditambahkan sebagai kolektor untuk mengatasi defisiensi *load path*. Skema perbaikan struktur ini dibuat dengan menyeimbangkan penambahan elemen dan peningkatan elemen eksisting dengan faktor sosial-ekonomi. Baik penambahan maupun peningkatan kinerja elemen eksisting dapat menciptakan masalah penyaluran beban. Oleh karena itu, perancang harus mampu meyakinkan penyaluran beban dapat dilakukan secara sempurna oleh elemen eksisting. Akan tetapi, dengan menghilangkan defisiensi kekakuan global atau kekuatan global dapat menciptakan defisiensi *load path* yang tidak terjadi sebelumnya.

b. Peningkatan Kinerja Elemen Eksisting

Daripada menambah elemen baru pada struktur yang dapat mempengaruhi kinerja dari seluruh struktur, defisiensi juga dapat diatasi pada bagian lokal/komponen. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kekuatan geser atau momen dari elemen, atau mengubah elemen dengan cara mengijinkan deformasi tambahan tanpa memperdulikan kapasitas kemampuan vertikal. Misalnya kolom beton dapat dibungkus dengan baja, beton atau material lain untuk menambah kekekangan dan kekuatan geser. Bahan komposit dari *carbon fibers* dan *epoxy* juga dapat digunakan untuk menambah kekuatan geser dan

kekekangan pada kolom. Pada situasi tertentu, biaya penambahan kekuatan dan kekakuan global terlalu besar. Dengan meningkatkan kinerja beberapa elemen pada struktur maka biaya tersebut dapat diminimalisasi. Walaupun peningkatan kinerja elemen eksisting dapat menyediakan kekuatan dan kekakuan seperti menambah elemen baru, tindakan ini biasanya digunakan untuk mengatasi masalah detail komponen yang tidak memadai.

c. Peningkatan Sambungan Antar Komponen

Metode perbaikan struktur ini umumnya dilakukan untuk mengatasi defisiensi *load path* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Dengan pengecualian kolektor, defisiensi dalam penyaluran beban umumnya diciptakan oleh sumpungan yang lemah. Namun, sambungan yang lemah yang biasanya terdapat pada kolom dan balok tidak secara langsung berada pada penyaluran beban gempa, akan tetapi tetap diperlukan perkuatan untuk meyakinkan ketahanan beban gravitasi selama guncangan yang kuat.

d. Mengurangi *Demand*

Untuk bangunan yang memiliki sistem penahan lateral yang lengkap namun lemah dan juga memiliki luas berlebih atau tempat dimana ruang tambahan dapat dibangun, pemindahan/pengurangan beberapa lantai teratas secara ekonomi dan praktek terbukti dapat memberikan kinerja yang dapat diterima. Namun, seperti skema yang memerlukan perkuatan, gangguan dan kebisingan yang diakibatkan dari pemindahan lantai harus dipertimbangkan apalagi jika dilakukan ketika bangunan masih ditempati. Dengan mengurangi beberapa lantai teratas, periode gempa menjadi lebih singkat sehingga percepatan gempa pada bagian dasar dapat bertambah. Metode untuk mengurangi beban pada sistem seismik dengan memodifikasi respon dinamik dari suatu struktur juga termasuk dalam kategori ini. Contohnya adalah *seismic isolation*. Walaupun cara ini memakan biaya yang lebih besar daripada metode lainnya, metode ini tetap digunakan pada bangunan bersejarah atau lahan yang tidak dapat diganggu. Cara lain untuk memodifikasi respon dinamik yang memiliki

biaya yang cukup ekonomis adalah dengan menambahkan peredam. Peredam tambahan dapat mengurangi deformasi yang tidak dapat diterima struktur eksisting.

e. Pengurangan Komponen

Kapasitas deformasi dapat ditingkatkan dengan melepaskan sebagian elemen yang getas atau melepaskannya secara menyeluruh. Contoh dari metode ini termasuk penempatan pemisah vertikal pada dinding bata untuk mengubah perilaku kegagalan gesernya menjadi lebih dapat diterima sehingga menimbulkan celah antara kolom dan dinding serta mencegah terjadinya kegagalan *short column*.

2.3 Perkuatan Balok Beton Eksisting dengan Balok Baja

Perkuatan struktur balok pada umumnya dapat dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu:

- Perkuatan dengan Menambah Kekuatan

Perkuatan ini digunakan untuk menambah kelenturan dari struktur eksisting yaitu dengan menambahkan pelat baja atau *carbon fiber*.

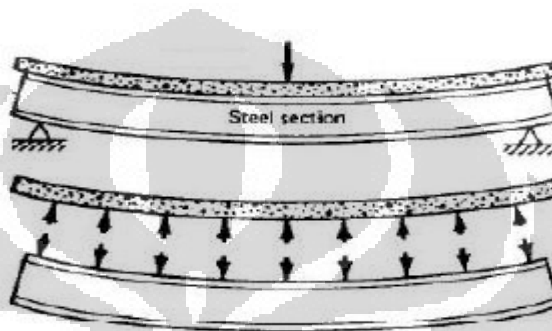
- Perkuatan dengan Menambah Kekuatan dan Kekakuan

Perkuatan ini biasa dilakukan karena beban baru yang diberikan jauh lebih besar dari beban sebelumnya. Perkuatan ini dilakukan dengan cara menambahkan balok baja, *external prestress*, dan menambah kolom.

Pada penulisan penelitian ini, perkuatan yang digunakan adalah perkuatan yang menambah kekuatan dan kekakuan dengan menambahkan balok baja di bawah balok beton eksisting. Akan tetapi, kedua balok tersebut disambung dengan perlakuan yang berbeda-beda.

2.3.1 Perkuatan Balok Beton Eksisting dengan Balok Baja yang Disambung dengan Pengisian *Grouting*

Perkuatan balok beton eksisting dengan balok baja yang disambung dengan pengisian *grouting* menunjukkan sifat kedua balok yang tidak monolit. Kekakuan dari kedua balok tersebut dilihat secara terpisah karena nilai inersia kedua balok tersebut juga dihitung secara terpisah yang akan dijelaskan pada bab berikutnya.



Gambar 2.5 Gambar Interaksi Balok Beton dan Balok Baja yang Disambung Secara Tidak Monolit

Balok beton dan balok baja menanggung beban secara terpisah. Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa beban yang diberikan pertama kali akan ditanggung oleh balok beton. Apabila balok beton menerima beban yang sangat besar sehingga mengalami defleksi, maka permukaan bawah balok beton akan tertarik dan mengalami perpanjangan sedangkan permukaan atas balok baja akan tertekan dan mengalami perpendekan. Pada saat inilah baru terjadi mekanisme penyaluran beban dari balok beton dan balok baja dan membentuk bidang kontak dengan gaya vertikal saja.

2.3.2 Perkuatan Balok Beton Eksisting dengan Balok Baja dengan Komponen *Load transfer*

Perkuatan balok beton dengan cara mengisi celah antara balok beton dan balok baja dengan *grouting* mengakibatkan sifat kedua balok tersebut menjadi tidak monolit seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Karena sifatnya yang tidak monolit penambahan kekakuan dan kekuatan yang diberikan dinilai kurang efektif. Sedangkan perkuatan dengan sambungan *shear connector* sangat sulit atau

bahkan hampir tidak dapat dilaksanakan. Perkuatan balok beton eksisting dengan balok baja dengan komponen *Load transfer* dimaksudkan memberikan solusi atas permasalahan tersebut.

Load transfer yang dimaksudkan di sini adalah penyaluran beban antara balok beton dan balok baja yang telah diberikan tegangan terlebih dahulu. Mula-mula celah antara balok beton dan balok baja diberikan beban terlebih dahulu dengan menggunakan *flat jack* dengan besar beban yang diinginkan. Ketika balok baja sudah berdeformasi, *flat jack* diambil dan disanggah dengan menggunakan lempengan baja. Balok baja yang sudah berdeformasi tentunya memberikan respon berupa momen yang arahnya melawan arah deformasi/lendutan. Pada kondisi ini, setiap beban yang akan diterima oleh balok beton akan disalurkan secara langsung menuju balok baja sehingga kedua balok tersebut menanggung beban secara bersamaan.



Gambar 2.6 Interaksi Antara Balok Baja dan Balok Beton dengan Elemen *Load transfer*

Metode konstruksi untuk perbaikan balok beton eksisting dengan balok baja dengan elemen *Load transfer* adalah sebagai berikut:

- Balok baja diangkat dan disambungkan dengan kolom beton di kedua ujungnya dengan menggunakan *shear connector*. Balok baja dan balok beton eksisting diberikan celah dengan lebar tertentu sesuai dengan ukuran *flat jack* yang digunakan. Bagian balok baja yang akan diletakkan *flat jack* di bagian atasnya diberikan perkuatan geser terlebih dahulu.

- Kemudian *flat jack* dimasukkan menuju celah antara balok beton dan balok baja
- Mengatur tekanan pada flat jack sebesar yang diinginkan sehingga menekan baik balok beton maupun balok baja.
- Setelah beban diberikan dan baja mulai berdeformasi, celah antara kedua balok tersebut disanggah dengan lempengan baja dan kemudian flat jack yang telah digunakan diangkat. Lempengan baja inilah yang berfungsi sebagai *load transfer* dalam sistem ini.



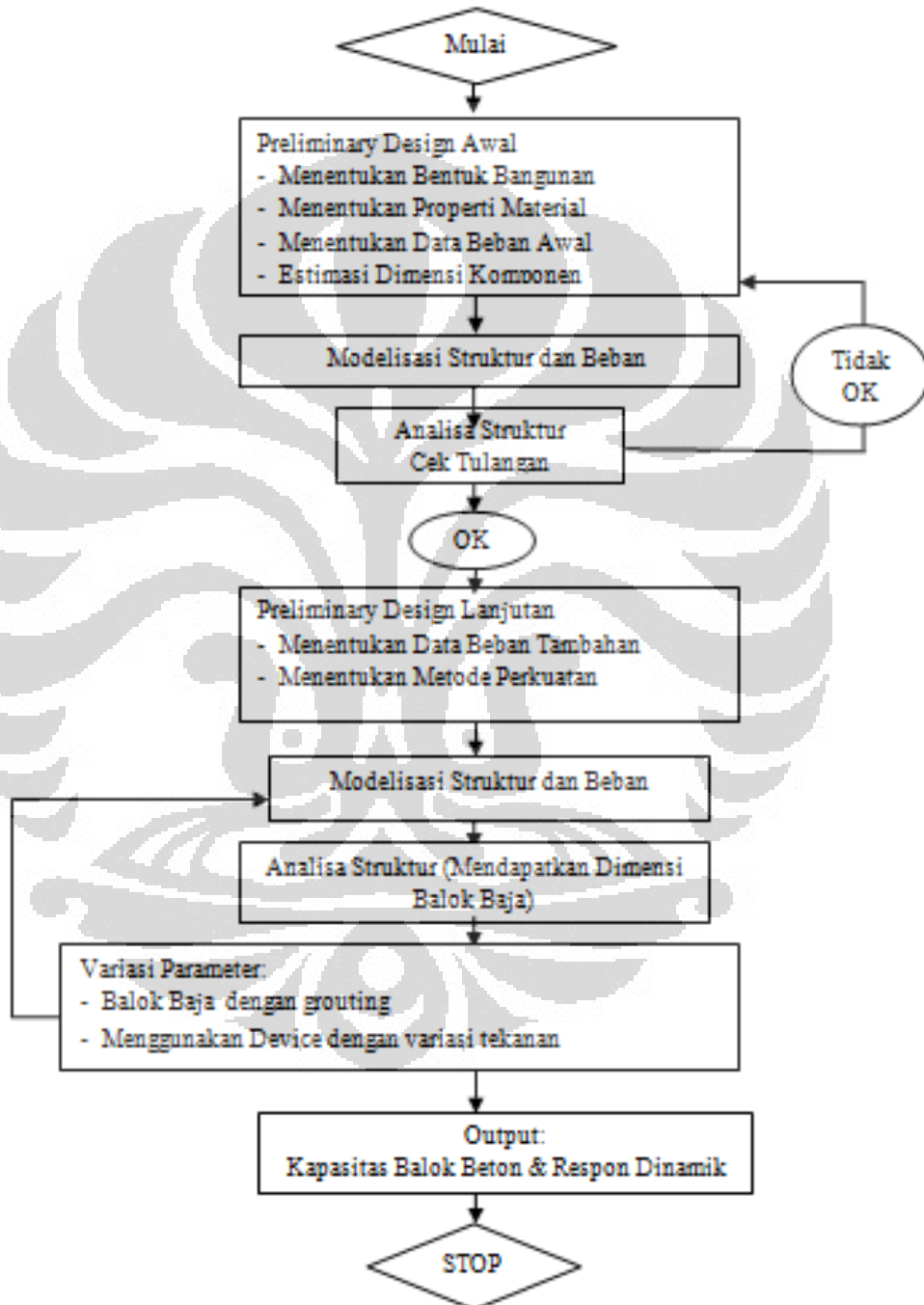
Gambar 2.7 Lempengan Baja yang Digunakan untuk Menyangga Celah Antara Balok Beton dan Balok Baja

BAB 3

METODE PENELITIAN DAN PERMODELAN

3.1 Alur Berpikir

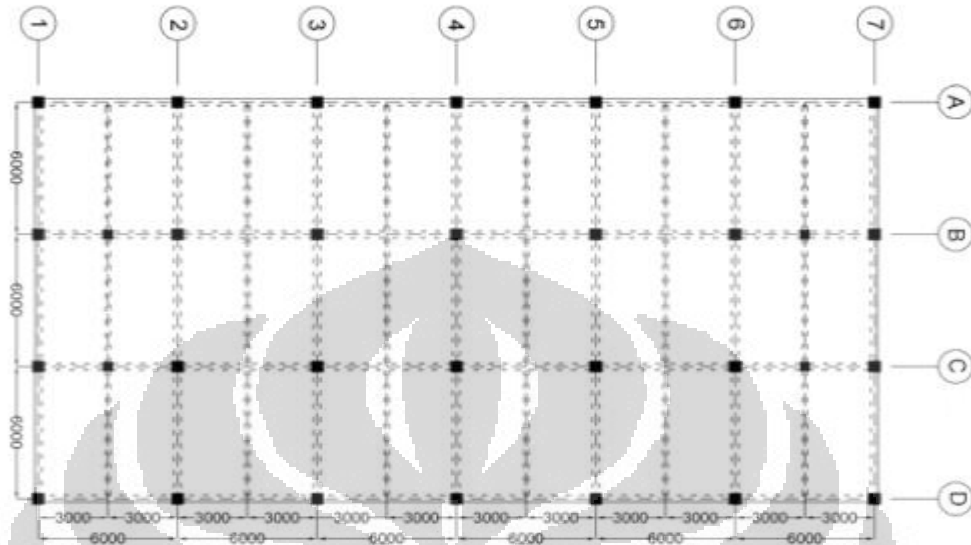
Pada penelitian ini, metode penelitian yang dilakukan secara singkat dapat dijelaskan dengan diagram alur sebagai berikut:



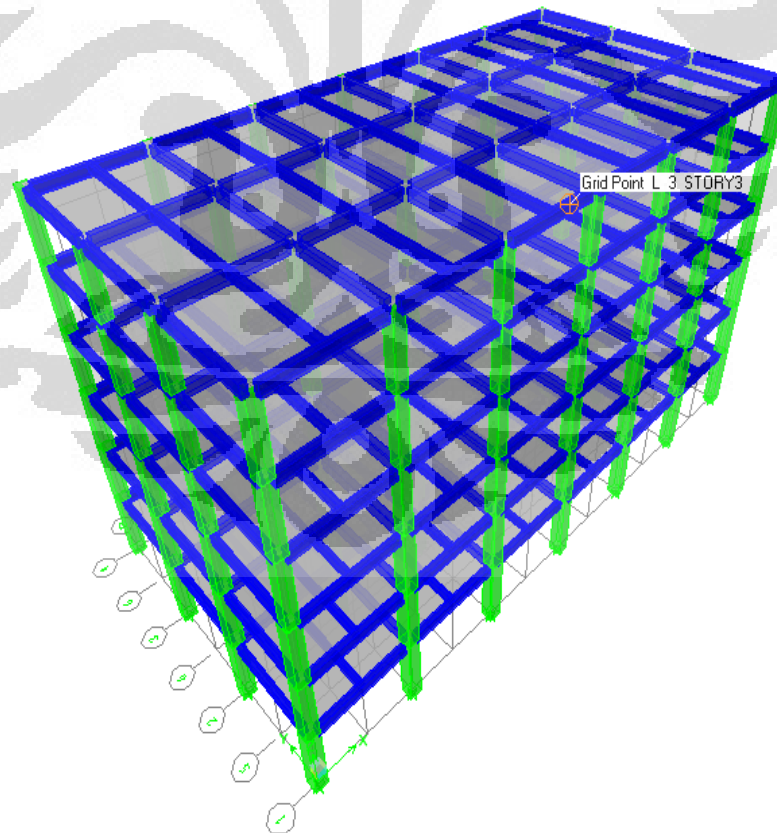
Gambar 3.1 Diagram Alur Berpikir

3.2 Layout Bangunan

Bangunan yang diteliti pada penelitian ini adalah gedung perkantoran seluas 18 m x 36 m dengan *layout* seperti berikut:



Gambar 3.2 *Layout* Denah Bangunan



Gambar 3.3 Gambar Model 3D Bangunan

3.3 Properti Material dan Geometri Bangunan

3.3.1 Material

Material yang digunakan pada permodelan gedung ini adalah beton, baja tulangan, dan balok baja sebagai perkuatan tambahan. Properti dari material – material tersebut adalah:

1. Beton
 - Kekuatan Tekan (f_c') : 33 MPa
 - Modulus Elastisitas (E) : $4700 \sqrt{f_c'} = 27806 \text{ MPa}$
 - Berat Jenis beton : 2400 kg/m^3
2. Baja Tulangan
 - F_y : 400 MPa
 - E : 200000 MPa
3. Balok Baja
 - Jenis baja : BJ 41
 - Tegangan putus min. (f_u) : 410 MPa
 - Tegangan leleh min. (f_y) : 250 MPa

3.3.2 Geometri Bangunan

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, gedung perkantoran seluas 18 m x 36 m yang digunakan untuk permodelan memiliki dimensi sebagai berikut:

1. Luas Bangunan : $18 \times 36 = 648 \text{ m}^2$
2. Jumlah Tingkat : 6 Tingkat
3. Tinggi Bangunan : 22 m (ketinggian lantai pertama 4 m)
4. Dimensi Struktur
 - Ukuran balok induk : $300 \times 600 \text{ mm}^2$
 - Ukuran balok anak : $200 \times 400 \text{ mm}^2$
 - Ukuran kolom
 - Lantai 1-3 : $700 \times 700 \text{ mm}^2$
 - Lantai 4-6 : $600 \times 600 \text{ mm}^2$
 - Tebal Pelat : 120 mm
 - Ukuran balok baja : WF 450x200x9x14

3.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan pada struktur gedung ini didasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.53.1987. Jenis-jenis beban tersebut meliputi:

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari seluruh bagian dari struktur yang bersifat tetap. Beban mati terdiri dari berat sendiri dari material struktur yang digunakan dan beban mati tambahan pada struktur seperti berat partisi dan penutup lantai, berat mortar lantai, dan berat ME. Beban mati tersebut meliputi:

- Berat sendiri struktur
- Beton : $\gamma = 24$ KN/m^3
- Baja : $\gamma = 78,5$ KN/m^3
- Mortar dan penutup lantai : 1,1 KN/m^2
- MEP : 0,3 KN/m^2
- Dinding bata : 2,5 KN/m^2
- Partisi dalam : 1,0 KN/m^2

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan struktur gedung, baik akibat beban yang berasal dari orang maupun barang yang dapat berpindah, atau mesin dan peralatan serta komponen yang tidak merupakan bagian yang tetap dalam struktur yang dapat diganti selama masa hidup dari struktur gedung tersebut. Adapun beban hidup yang digunakan dalam permodelan ini adalah :

- Lantai perkantoran : 2,5 KN/m^2
- Lantai atap : 1,0 KN/m^2
- Tangga : 3,0 KN/m^2

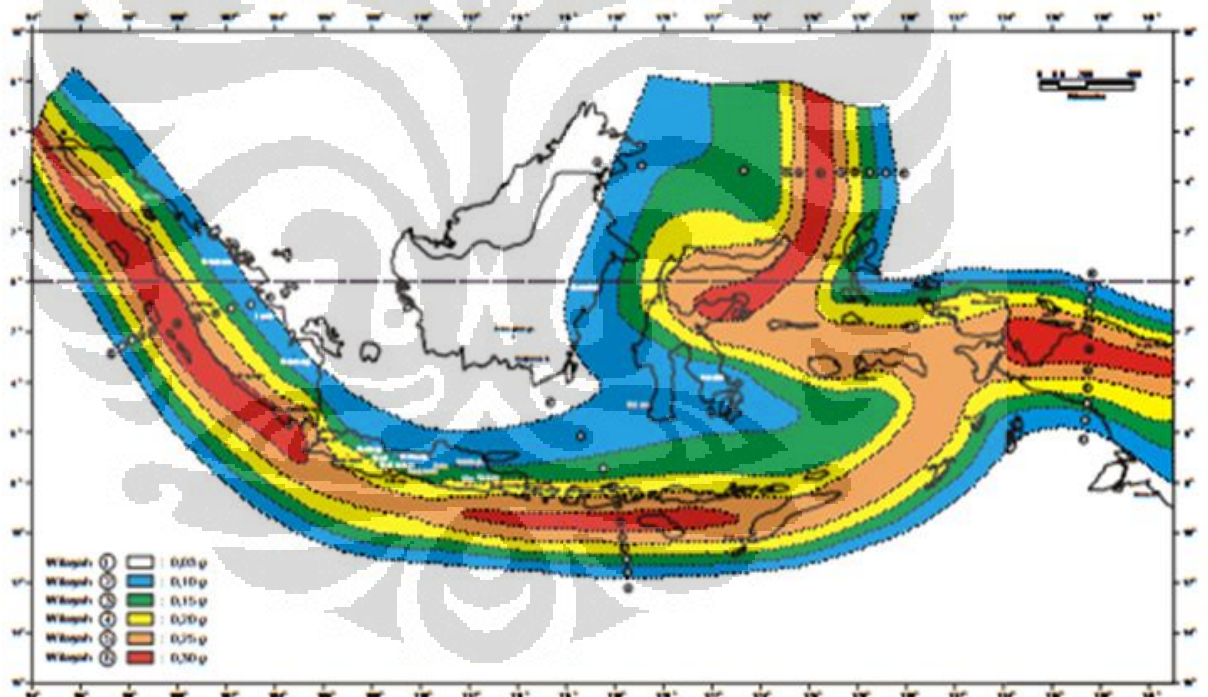
Untuk permodelan lebih lanjut, beban hidup pada lantai 1 ditambah sebesar 7,5 KN/m^2 karena fungsi gedung berubah dari gedung perkantoran menjadi gedung *Data Center*.

c. Beban Gempa

Beban gempa yang diberikan pada struktur disesuaikan dengan SNI-03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Terdapat beberapa kriteria dalam menentukan beban gempa:

- Wilayah Gempa dan Faktor Respon Gempa C_1

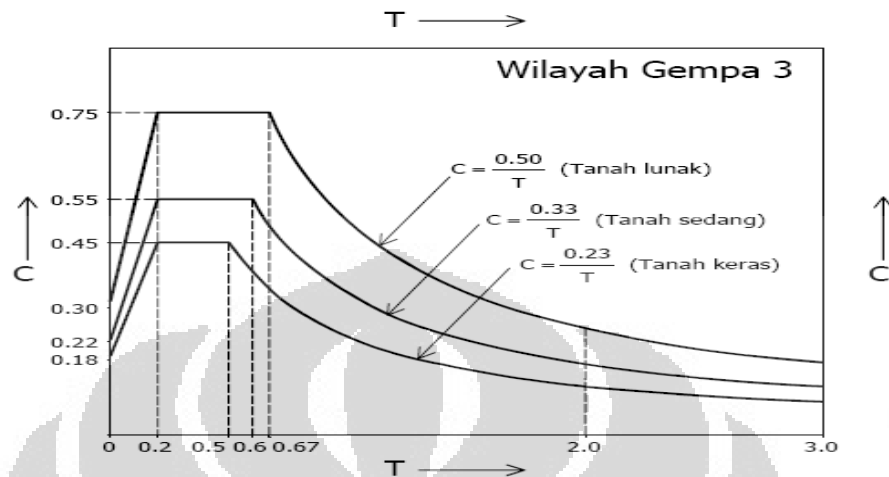
Daerah gempa di Indonesia dapat dibagi menjadi 6 wilayah gempa dengan Wilayah Gempa 1 sebagai wilayah gempa terendah dan Wilayah Gempa 6 sebagai wilayah gempa tertinggi. Pembagian wilayah gempa ini didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun. Bangunan yang akan dianalisa berada pada wilayah JABODETABEK yang termasuk dalam Wilayah Gempa 3 dengan jenis tanah lunak.



Gambar 3.4 Pembagian Wilayah Gempa di Indonesia

Untuk menentukan pengaruh gempa rencana pada struktur bangunan gedung, yaitu berupa gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik ragam pertama pada struktur gedung tidak beraturan dan gaya geser dasar nominal sebagai respons dinamik seluruh ragam

yang berpartisipasi pada struktur bangunan gedung tidak beraturan untuk wilayah gempa 3 ditetapkan spektrum respon gempa rencana C-T seperti ditunjukkan dalam gambar.



Gambar 3.5. Respon Seismik untuk Wilayah Gempa 3

- Faktor Keutamaan Gedung

Faktor keutamaan gedung (I) menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur bangunan gedung serta berbagai bagian dan peralatan secara umum yang bergantung pada tingkat kepentingan gedung pasca gempa dan harus dikalikan dengan nilai faktor keutamaan tersebut. Gedung yang akan dianalisa memiliki fungsi sebagai tempat perkantoran yang memiliki nilai Faktor Keutamaan Gedung (I) sebesar 1. Kemudian bangunan diasumsikan dibangun setelah peraturan SNI-03-1726-2002 diterbitkan sehingga faktor keutamaan bangunan tetap 1.

- Faktor Reduksi R

Nilai faktor reduksi R ditentukan dengan melihat hasil analisis beban dorong static (*static push-over analysis*). Dari kriteria yang terdapat pada SNI-03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, struktur ini termasuk dalam sistem tunggal yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Beton Bertulang dengan R sebesar 8.5.

- Gaya geser dasar

Nilai akhir respon dinamik struktur bangunan gedung terhadap pembebanan gempa nominal dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respon ragam yang pertama.

$$V_{dinamik} \geq 0,80 V_{statik} \quad (3.1)$$

dengan

$$V_{statik} = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.2)$$

dimana

C_1 : Faktor respons gempa dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami pertama T_1

I : Faktor keutamaan gedung

R : faktor reduksi gempa

W_t : berat gedung

- Jumlah pola getar

Jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respons pola getar menurut metoda ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa pola getar efektif dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%.

3.5 Modelisasi Struktur

3.5.1 Modelisasi Struktur dengan $LL = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Struktur mula-mulai dibebani dengan beban awal sebesar beban bangunan perkantoran pada umumnya. Modelisasi struktur dengan $LL = 2,5 \text{ kN/m}^2$ dimaksudkan untuk mengetahui gaya-gaya dalam pada balok dan kolom beton. Dengan mengetahui gaya-gaya dalam tersebut, dapat didapatkan nilai kelebihan gaya-gaya dalam yang diterima oleh struktur eksisting akibat penambahan beban hidup 10 kN/m^2 sebelum maupun setelah diberi perkuatan. Rumus untuk mendapatkan persentase kelebihan gaya:

$$\% \text{Kelebihan Gaya} = \frac{\text{Gaya dalam (stlh bbn baru)} - \text{Gaya dalam Awal}}{\text{Gaya Dalam Awal}} \times 100\%$$

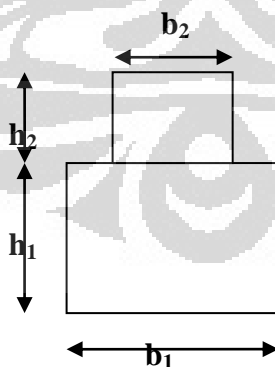
3.5.2 Modelisasi Struktur dengan $LL = 10 \text{ kN/m}^2$ di Lantai 1

Modelisasi ini dimaksudkan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam yang seharusnya diterima balok dan kolom akibat penambahan beban hidup baru sebesar 10 kN/m^2 . Dengan mendapatkan gaya-gaya dalam tersebut, dapat diketahui efektivitas dari perkuatan balok baja yang disambung dengan pengisian *grouting* maupun *load transfer*. Dengan mendapatkan nilai ini, maka dapat didapatkan efektivitas dari perkuatan yang diberikan. Rumus untuk mendapatkan persentase efektivitas perkuatan:

$$\% \text{Efektivitas} = \frac{\text{Gaya dalam (tanpa Perkuatan)} - \text{Gaya dalam (dengan Perkuatan)}}{\text{Gaya Dalam (dengan Perkuatan)}} \times 100\%$$

3.5.3 Modelisasi Struktur dengan Perkuatan Balok Baja yang Disambung dengan Pengisian *Grouting*

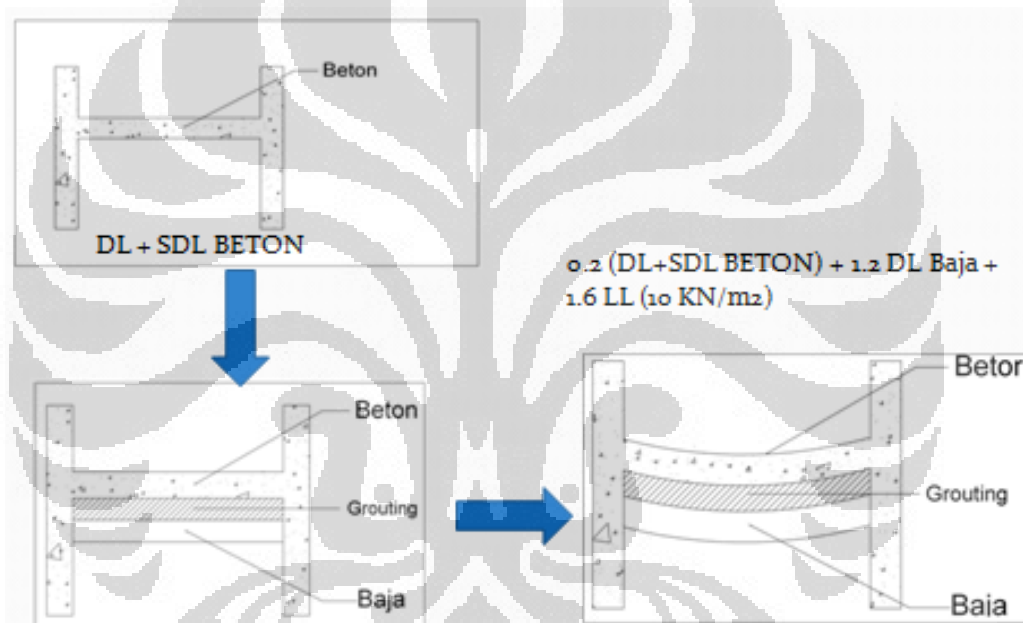
Grouting adalah bahan campuran semen, pasir dan aditif yang diberikan pada celah antara balok beton dan balok baja sebagai pengikat keduanya. Perkuatan dengan sistem *grouting* yang telah disebutkan sebelumnya dimaksudkan untuk memperlihatkan perilaku balok beton dan balok baja yang tidak monolit. Karena kedua balok tersebut tidak monolit, nilai kekakuan dari kedua profil balok tersebut dihitung secara masing-masing. Sebagai contoh terdapat dua buah penampang balok dengan ukuran tinggi (h) dan lebar (b) yang sama. Besar nilai momen inersia kedua penampang tersebut adalah:



$$I = \frac{1}{12} \times b_1 \times h_1^3 + \frac{1}{12} \times b_2 \times h_2^3 \quad (3.3)$$

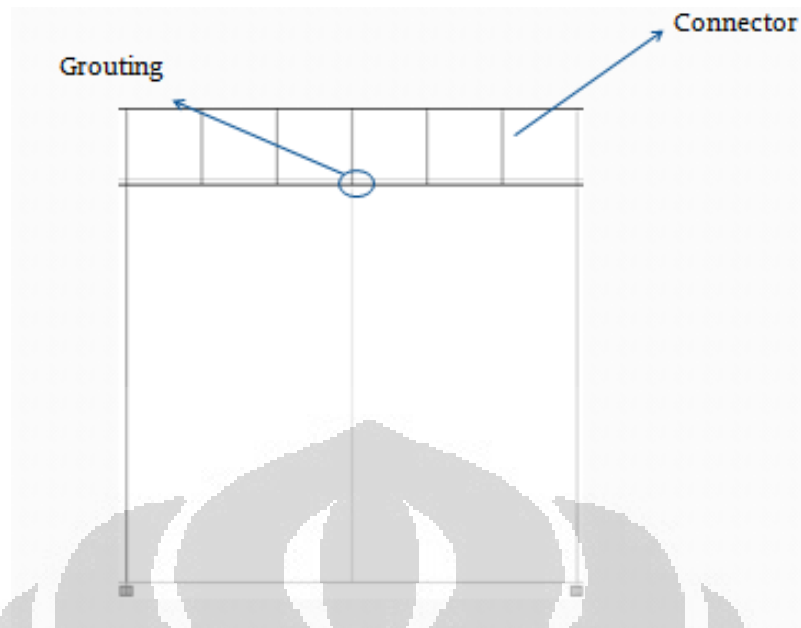
Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari balok dan kolom pada struktur ini, struktur dipisahkan menjadi dua permodelan. Permodelan pertama yaitu struktur beton dengan hanya memasukkan beban mati saja dengan asumsi bahwa ketika proses konstruksi perkuatan struktur dilakukan, lantai di atas struktur

tersebut dikosongkan sehingga hanya ada berat struktur saja. Kemudian pada permodelan kedua, struktur balok induk lantai 1 diberi perkuatan balok baja dan disambung dengan *grouting*. Beban yang bekerja pada permodelan tersebut adalah berat balok baja tambahan dan berat beban hidup baru sebesar 10 kN/m^2 . Permodelan kedua ini memperlihatkan bahwa beban yang dapat disalurkan dari balok baja dan balok beton adalah beban yang baru diberikan setelah konstruksi perkuatan dilakukan. Gaya-gaya dalam yang didapatkan dalam permodelan ini merupakan hasil dari penjumlahan kedua permodelan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mewakili sifat dari penyaluran beban oleh *grouting* dan proses konstruksi yang terjadi.



Gambar 3.6 Simulasi Pembebanan Struktur dengan Perkuatan Balok Baja dan *Grouting*

Untuk memodelkan elemen *grouting* di dalam program, maka diperlukan sebuah elemen dengan tinggi 50 mm (sebesar tebal *grouting*) dan lebar sesuai dengan lebar balok baja serta panjang 1 meter yang diletakkan diantara balok beton dan balok baja setiap 1 meter. Agar posisi balok baja dan balok beton tidak berhimpitan, diperlukan sebuah elemen pehubung (*connector*) yang properti dan ukurannya disamakan seperti balok beton.



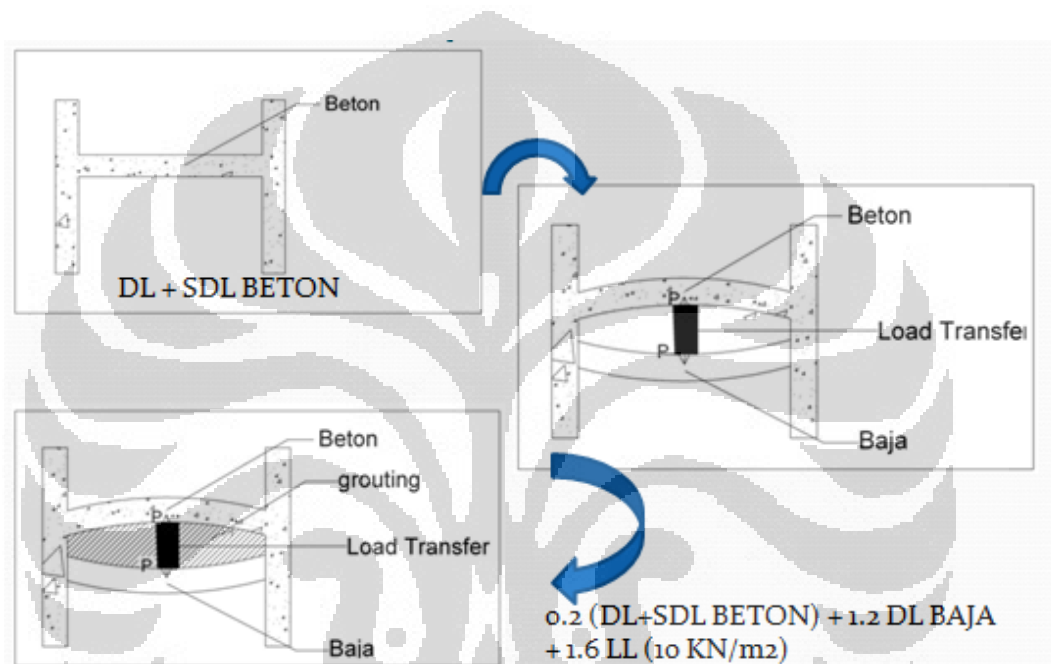
Gambar 3.7 Permodelan *Grouting* dengan Program ETABS 9.6

3.5.4 Modelisasi Struktur dengan Perkuatan Balok Baja yang Menggunakan Sistem *Load transfer*

Permodelan ini dimaksudkan untuk mengalisa jumlah beban yang ditransfer dari balok beton menuju balok baja (*load transfer*) untuk masing-masing besar tegangan yang diberikan. Dengan memberikan tegangan awal kepada balok baja, nilai kekakuan dari masing-masing balok baja dan balok batang tidak berpengaruh lagi terhadap besar beban yang ditanggung. Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari balok dan kolom pada struktur ini, struktur dipisahkan menjadi dua permodelan dengan cara yang sama seperti permodelan perkuatan balok baja yang disambung dengan *grouting*.

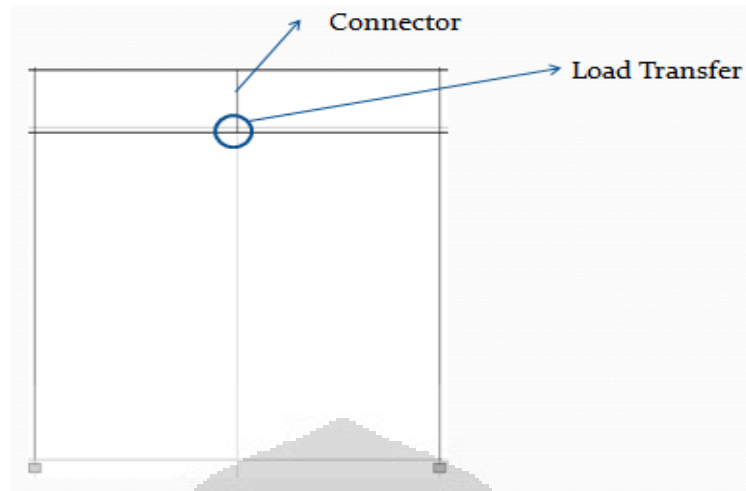
Untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dari balok dan kolom pada struktur ini, struktur dipisahkan menjadi dua permodelan. Permodelan pertama yaitu struktur beton dengan hanya memasukkan beban mati saja dengan asumsi bahwa ketika proses konstruksi perkuatan struktur dilakukan, lantai di atas struktur tersebut dikosongkan sehingga hanya ada berat struktur saja. Kemudian pada permodelan kedua, struktur balok induk lantai 1 diberi perkuatan balok baja dan disambung dengan elemen *load transfer*. Beban yang bekerja pada permodelan tersebut adalah berat balok baja tambahan dan berat beban hidup baru sebesar 10 kN/m^2 . Permodelan kedua ini memperlihatkan penyaluran beban antara balok

beton dan balok baja tambahan telah terjadi sebelum beban baru diberikan. Besar penyaluran gaya tersebut adalah sebesar gaya yang diberikan oleh *load transfer* tersebut. Setelah itu, celah antara balok beton dan balok baja diberikan *local grout* agar transfer beban dapat berjalan dengan lebih baik. Gaya-gaya dalam yang didapatkan dalam permodelan ini merupakan hasil dari penjumlahan kedua permodelan tersebut. Hal ini dilakukan untuk mewakili sifat dari penyaluran beban oleh *load transfer* dan proses konstruksi yang terjadi.



Gambar 3.8 Simulasi Pembebanan Perkuatan Struktur Balok Beton dengan Balok Baja yang disambung dengan Elemen *Load Transfer*

Untuk memodelkan elemen *load transfer* di dalam program, digunakan sebuah elemen dengan tinggi 50 mm (sebesar tebal balok baja) dengan ukuran penampang 7 cm x 7 cm yang diletakkan diantara balok beton dan balok baja pada tengah bentang. Agar posisi balok baja dan balok beton tidak berhimpitan, diperlukan sebuah elemen pehubung (*connector*) yang properti dan ukurannya disamakan seperti balok beton.



Gambar 3.9 Permodelan *Load Transfer* dengan Program ETABS 9.6

Variasi tegangan yang diberukan untuk permodelan penelitian ini sebesar 2 ton, 4 ton, 6 ton, dan 8 ton. Untuk memodelkan tegangan awal yang diberikan, penulis menggunakan beban suhu sesuai dengan tegangan yang diinginkan karena pada program ETABS 9.6 tidak tersedia pembebanan dengan menggunakan beban regangan. Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan, beban suhu yang digunakan dicari dengan metode interpolasi.

3.6 Output Permodelan

Pada penelitian ini, hasil output yang ingin didapatkan oleh penulis adalah sebagai berikut:

- Pola Getar
- Periode Getar
- Displacement
- Gaya Geser Dasar dan Tingkat
- Efektifitas dari Perkuatan Balok Baja dengan *Grouting* dan *Load transfer* terhadap gaya dalam momen dan geser balok beton dan gaya dalam aksial dan momen kolom

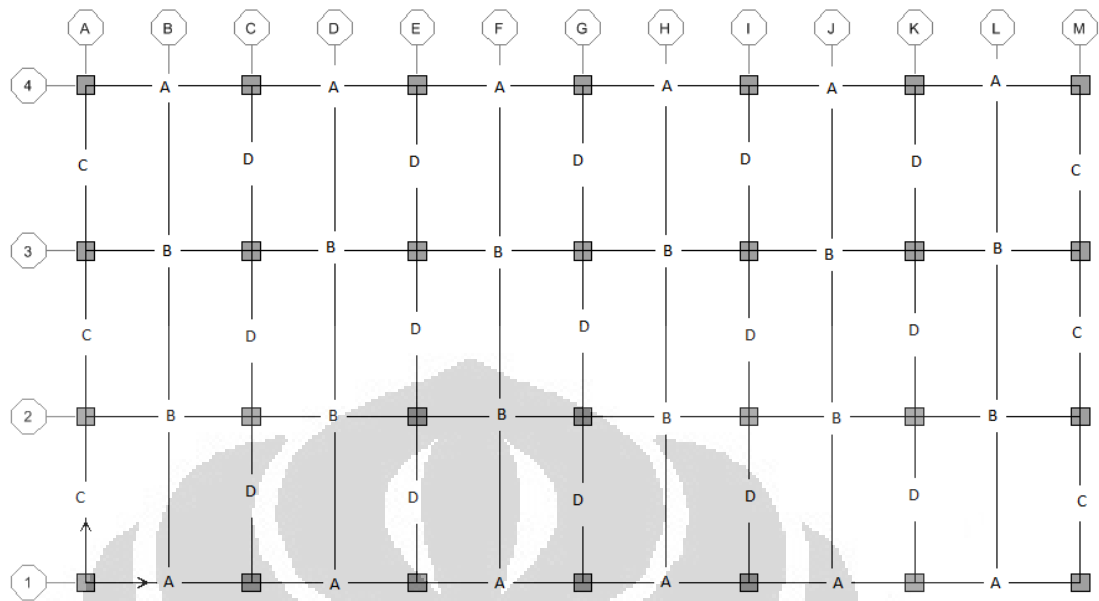
BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Setelah seluruh permodelan berserta variasi-variasi yang telah dirancang sesuai dengan penjelasan pada bab sebelumnya dijalankan, maka didapatkan hasil permodelan tersebut yang akan didapat hasil sebagai berikut:

1. Pola-pola getar pertama, periode getar dan partisipasi massa
2. Distribusi gaya geser tingkat
3. Perpindahan dan simpangan antar lantai
4. Gaya dalam momen pada balok lantai pertama akibat pembebanan gravitasi dan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa
5. Gaya geser pada balok lantai pertama akibat pembebanan gravitasi dan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa
6. Gaya aksial pada kolom akibat pembebanan gravitasi dan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa
7. Gaya dalam momen pada kolom akibat kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa
8. Deformasi vertikal pada balok akibat beban gravitasi

Momen lentur yang diperiksa yaitu momen yang berada pada perletakan kiri (LSU) dan kanan (RSU) serta bentang tengah (MSP). Kemudian balok dikelompokkan antara balok memanjang (bagian tepi dan bagian tengah) dan balok melintang (bagian tepi dan bagian tengah). Untuk setiap sisi, balok tersebut dikelompokkan lagi berdasarkan sifatnya yaitu menerus-menerus dan ujung-menerus. Untuk pengecekan gaya geser balok, balok-balok tersebut juga dikelompokkan seperti ketika pengecekan momen. Akan tetapi, pengecekan gaya geser pada balok hanya dilakukan pada bagian perletakan kiri dan kanan saja

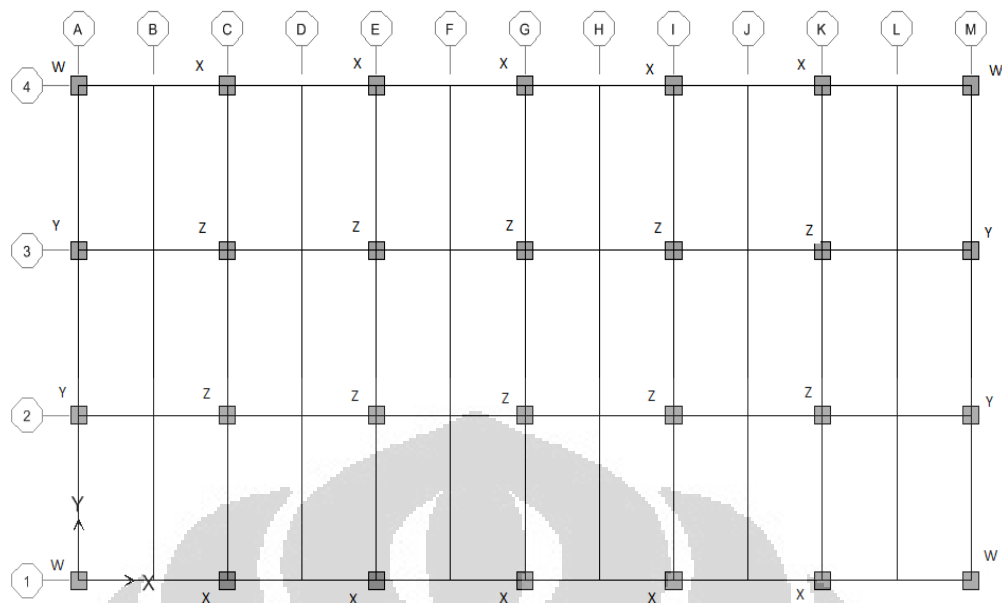


Gambar 4.1 Denah Bangunan serta Pengelompokan Balok

Keterangan :

- A = Balok Memanjang Bagian Tepi
- B = Balok Memanjang Bagian Tengah
- C = Balok Melintang Bagian Tepi
- D = Balok Melintang Bagian Tengah

Untuk pengecekan gaya aksial dan momen kolom, bagian yang diperiksa terletak pada perletakan kolom lantai dasar. Kolom tersebut dikelompokkan menjadi beberapa kelompok yaitu kolom eksterior bagian sudut, kolom eksterior bagian memanjang, kolom eksterior bagian melintang, dan kolom interior.



Gambar 4.2 Denah Bangunan serta Pengelompokan Kolom

Keterangan:

- W = Kolom Eksterior Bagian Sudut
- X = Kolom Eksterior Bagian Memanjang
- Y = Kolom Eksterior Bagian Melintang
- Z = Kolom Interior

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk analisa gaya dalam balok dan kolom:

- Akibat Beban Gravitasi : $1.2 DL + 1.6 LL$ (Combo 1)
- Akibat Beban Gravitasi dan Beban Gempa: (diambil nilai yang paling kritis)
 - $1.2 DL + LL \pm EX \pm 0.3 EY$ (Combo 2)
 - $1.2 DL + LL \pm 0.3 EX \pm EY$ (Combo 3)

Untuk analisa dengan menggunakan beban gempa, momen balok memanjang pada arah 3 (arah momen yang searah dengan sumbu Y pada denah) lebih dipengaruhi oleh EX sehingga kombinasi pembebanan yang menunjukkan nilai kritis adalah Combo 2. Sebaliknya, untuk momen balok melintang pada arah

3 (arah momen yang searah dengan sumbu X pada denah) lebih dipengaruhi oleh EY sehingga kombinasi beban yang menunjukkan nilai kritis adalah Combo 3.

Kemudian untuk tabel dan grafik kelebihan gaya dalam serta kurva gaya dalam, untuk mewakili model yang digunakan, maka digunakan beberapa notasi. Notasi-notasi tersebut antara lain:

- A = Portal Beton dengan LL = 10 kN/m²
- B = Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja di Lantai 1 dan *Grouting*
- C = Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja di Lantai 1 dan *Load transfer 2 Ton*
- D = Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja di Lantai 1 dan *Load transfer 4 Ton*
- E = Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja di Lantai 1 dan *Load transfer 6 Ton*
- F = Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja di Lantai 1 dan *Load transfer 8 Ton*

4.1 Pola-Pola Getar Pertama, Periode, dan Partisipasi Massa

Tabel 4-1. Pola-Pola Getar Pertama, Periode dan Partisipasi Massa Seluruh Permodelan

Permodelan	Mode 1			Mode 2			Mode 3		
	Periode	Arah	Partisipasi Massa	Periode	Arah	Partisipasi Massa	Periode	Arah	Partisipasi Massa
Portal Beton (LL=2.5 KN/m ²)	1.043	Y	80.12%	0.999	X	80.49%	0.941	Torsi	80.22%
Portal Beton (LL=10 KN/m ²)	1.046	Y	80.12%	1.002	X	80.49%	0.943	Torsi	80.88%
<i>Grouting</i>	1.018	Y	73.26%	0.992	X	74.69%	0.921	Torsi	74.10%
<i>Load transfer 2 Ton</i>	1.045	Y	74.69%	0.999	X	75.19%	0.938	Torsi	75.29%
<i>Load transfer 4 Ton</i>	1.046	Y	74.77%	1.002	X	75.21%	0.943	Torsi	75.39%
<i>Load transfer 6 Ton</i>	1.047	Y	74.77%	1.003	X	75.22%	0.944	Torsi	75.40%
<i>Load transfer 8 Ton</i>	1.047	Y	74.77%	1.003	X	75.22%	0.944	Torsi	75.40%

Pada tabel di atas dapat dilihat bahwa dua pola getar pertama merupakan translasi pada arah Y dan X, kemudian torsi pada pola getar ketiga. Hal ini telah memenuhi syarat bahwa dua pola getar pertama mengalami translasi. Kemudian, pada permodelan struktur portal beton dengan perkuatan balok baja dan *grouting* didapatkan periode getar pertama (fundamental) yang lebih kecil dibandingkan permodelan lainnya. Hal ini disebabkan oleh permodelan grout pada program yang dimodelkan sebagai elemen kecil yang diberikan setiap 1 meter sehingga memiliki kekakuan yang lebih tinggi.

Dari tabel di atas juga dapat dilihat bahwa periode getar pertama untuk *load transfer* dengan variasi gaya memiliki nilai yang hampir sama. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi gaya pada *load transfer* tidak terlalu mempengaruhi kekakuan struktur tersebut.

Kemudian jika diperhatikan lebih lanjut, periode getar pertama untuk struktur yang diberi perkuatan balok baja dan *load transfer* dengan struktur eksisting yang diberikan LL 10 kN/m² memiliki nilai yang hampir sama. Hal itu disebabkan oleh permodelan *load transfer* pada program yang hanya sebagai sebuah elemen kecil dan keduanya memiliki massa yang sama.

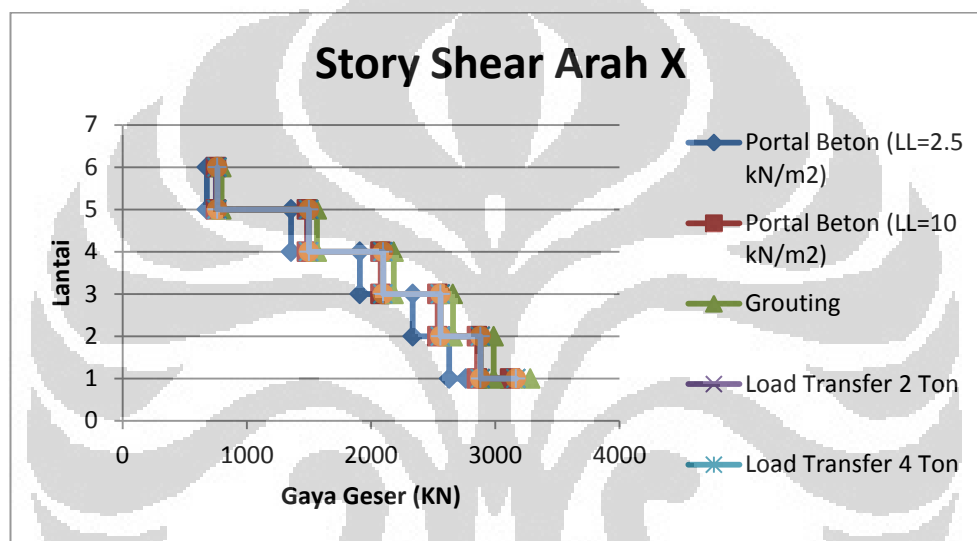
4.2 Distribusi Gaya Geser Tingkat

Tabel 4-2 Distribusi Gaya Geser Tingkat

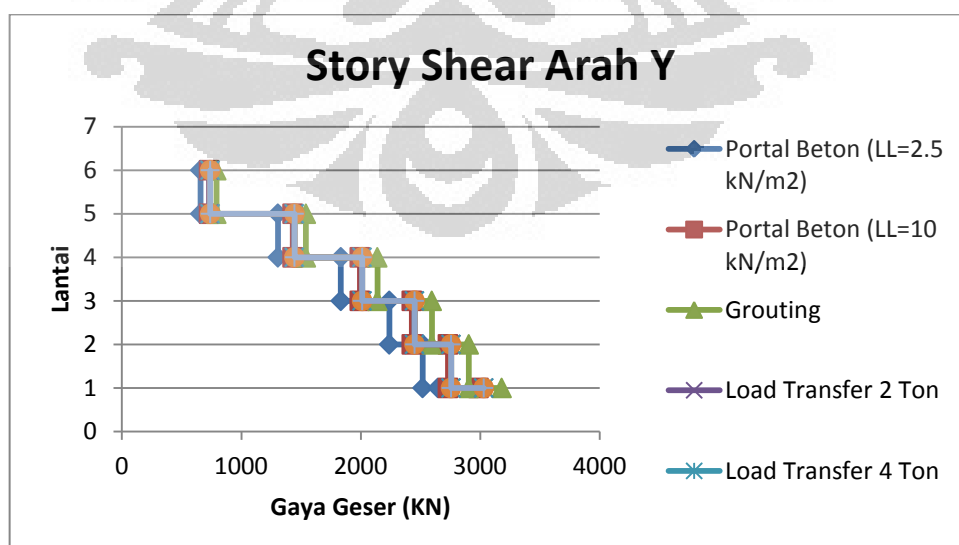
Lantai	Portal Beton (LL=2.5 kN/m ²)		Portal Beton (LL=10 kN/m ²)		Grouting	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
6	677.09	657.22	751.52	730.58	794.44	791.04
5	1355.17	1305.95	1483.76	1429.59	1563.32	1540.65
4	1908.58	1832.77	2076.11	1992.29	2181.69	2138.45
3	2334.9	2238.32	2534.26	2427.43	2657.74	2594.36
2	2628.28	2517.19	2853.11	2730.14	2986.93	2904.06
1	2763.05	2645.39	3119.83	2985.26	3281.59	3179.4

Tabel 4-2. (Lanjutan) Distribusi Gaya Geser Tingkat

Lantai	Load transfer 2 Ton		Load transfer 4 Ton		Load transfer 6 Ton		Load transfer 8 Ton	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
6	749.55	729.03	760.65	739.74	760.65	739.74	760.65	739.74
5	1492.01	1437.66	1499.57	1445.11	1499.57	1445.11	1499.57	1445.11
4	2091.63	2007.05	2096.35	2011.92	2096.35	2011.92	2096.35	2011.92
3	2555.64	2447.63	2558.2	2450.54	2558.2	2450.54	2558.2	2450.54
2	2878.88	2754.34	2879.97	2756	2879.97	2756	2879.97	2756
1	3165.65	3028.76	3165.72	3029.56	3165.72	3029.56	3165.72	3029.56



Gambar 4.3 Distribusi Gaya Geser Tingkat Arah X Seluruh Permodelan



Gambar 4.4 Distribusi Gaya Geser Tingkat Arah Y Seluruh Permodelan

Dari grafik distribusi gaya geser tingkat pada arah x maupun arah y, permodelan portal beton dengan menggunakan perkuatan balok baja dan *grouting* memiliki gaya geser yang paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh kekakuannya yang lebih tinggi sehingga gaya geser yang diterima menjadi semakin tinggi juga. Kemudian, gaya geser yang diterima oleh perkuatan dengan menggunakan variasi *load transfer* memiliki nilai yang hampir sama. Hal tersebut terjadi karena kekakuan yang dimiliki oleh mereka hampir sama dan massa yang dimiliki juga sama.

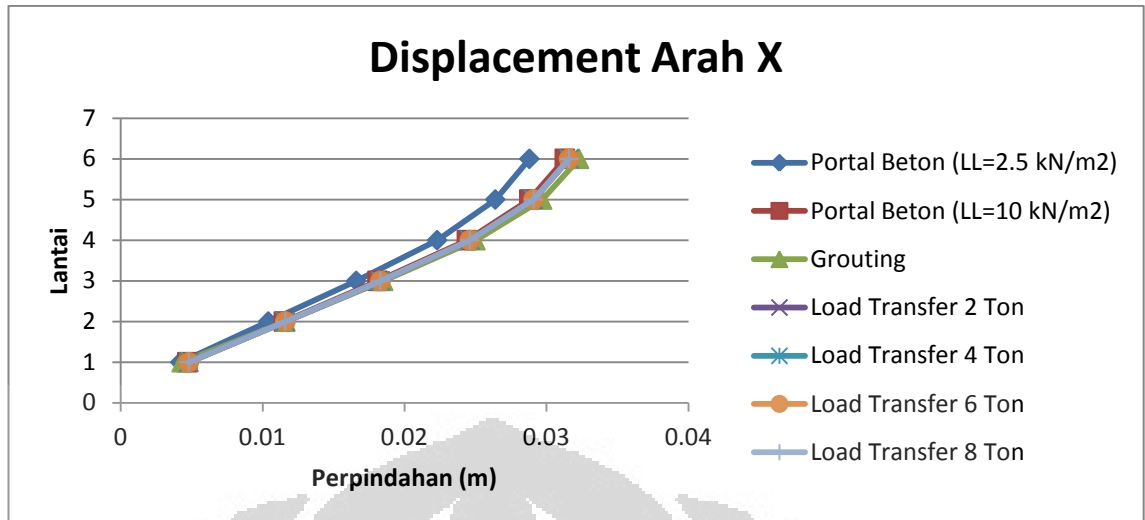
4.3 Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai

Tabel 4-3 Perpindahan Struktur

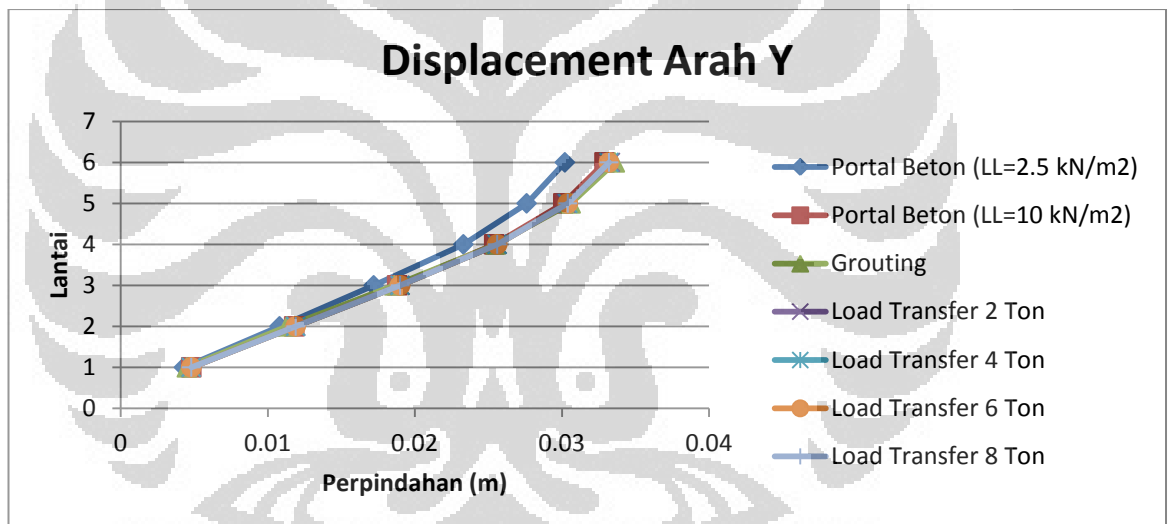
Lantai	Portal Beton (LL=2.5 kN/m ²)		Portal Beton (LL=10 kN/m ²)		Grouting	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
6	0.0288	0.0302	0.0313	0.0329	0.0323	0.0336
5	0.0264	0.0276	0.0288	0.0301	0.0297	0.0306
4	0.0223	0.0233	0.0244	0.0254	0.025	0.0255
3	0.0166	0.0172	0.0181	0.0188	0.0185	0.0186
2	0.0104	0.0108	0.0115	0.0118	0.0116	0.0113
1	0.0042	0.0043	0.0047	0.0048	0.0047	0.0045

Tabel 4-3. (Lanjutan) Perpindahan Struktur

Lantai	Load transfer 2 Ton		Load transfer 4 Ton		Load transfer 6 Ton		Load transfer 8 Ton	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
6	0.0316	0.0333	0.0316	0.0332	0.0316	0.0332	0.0316	0.0332
5	0.029	0.0303	0.0291	0.0304	0.0291	0.0304	0.0291	0.0304
4	0.0246	0.0256	0.0246	0.0256	0.0246	0.0256	0.0246	0.0256
3	0.0183	0.019	0.0183	0.019	0.0183	0.019	0.0183	0.019
2	0.0116	0.0119	0.0116	0.0119	0.0116	0.0119	0.0116	0.0119
1	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048	0.0048



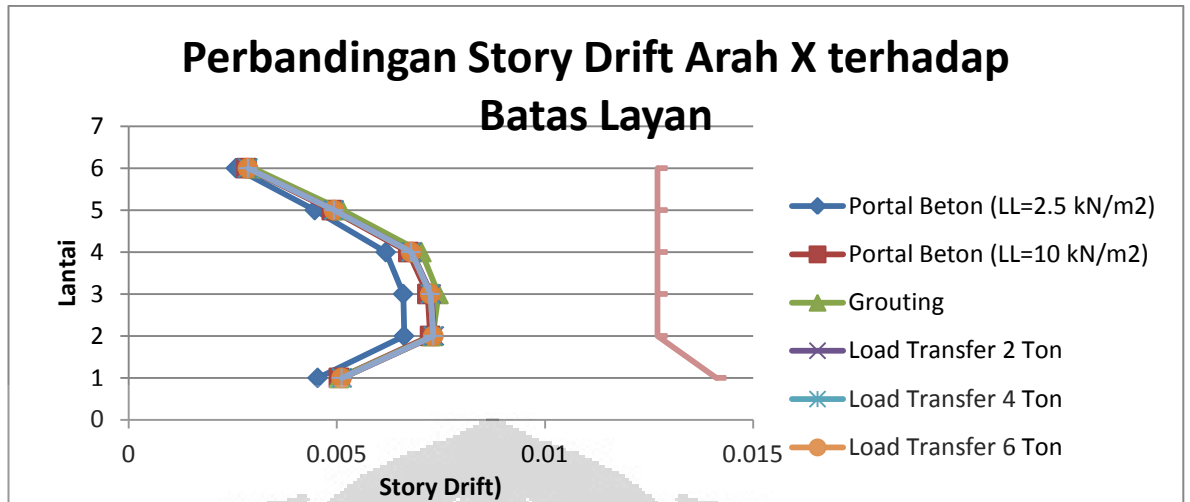
Gambar 4.5. Perpindahan Struktur Arah X Seluruh Permodelan



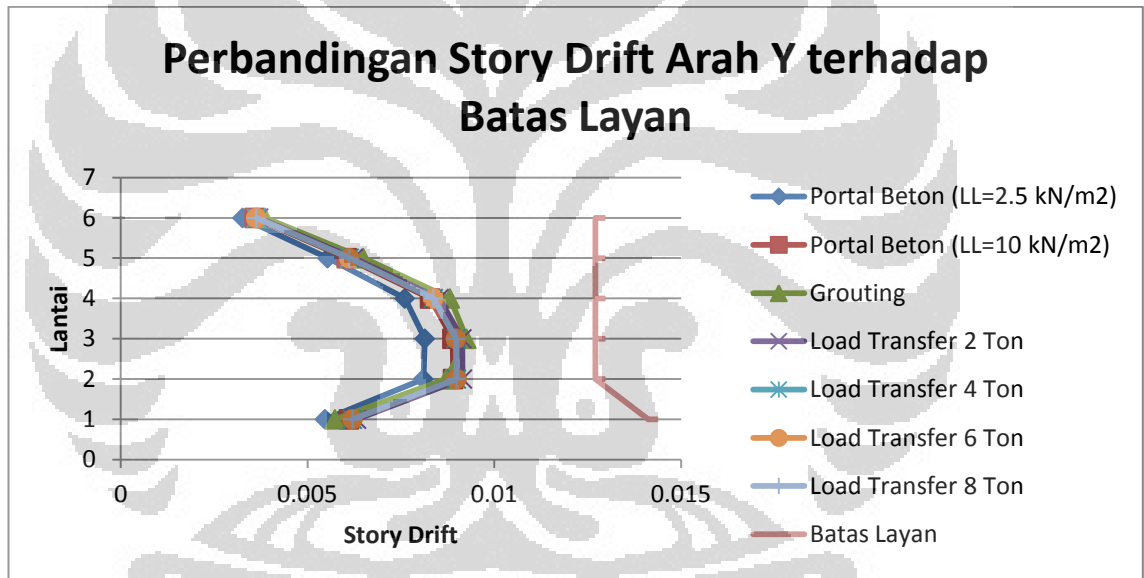
Gambar 4.6 Perpindahan Struktur Arah X Seluruh Permodelan

Pada grafik perpindahan struktur, besar perpindahan struktur yang telah diberikan beban hidup sebesar 10 kN/m² lebih besar dibandingkan sebelum diberikan beban hidup yang baru tersebut. Hal itu disebabkan semakin besar massa yang menyebabkan gaya geser yang diterima juga besar sehingga menghasilkan perpindahan yang lebih besar juga.

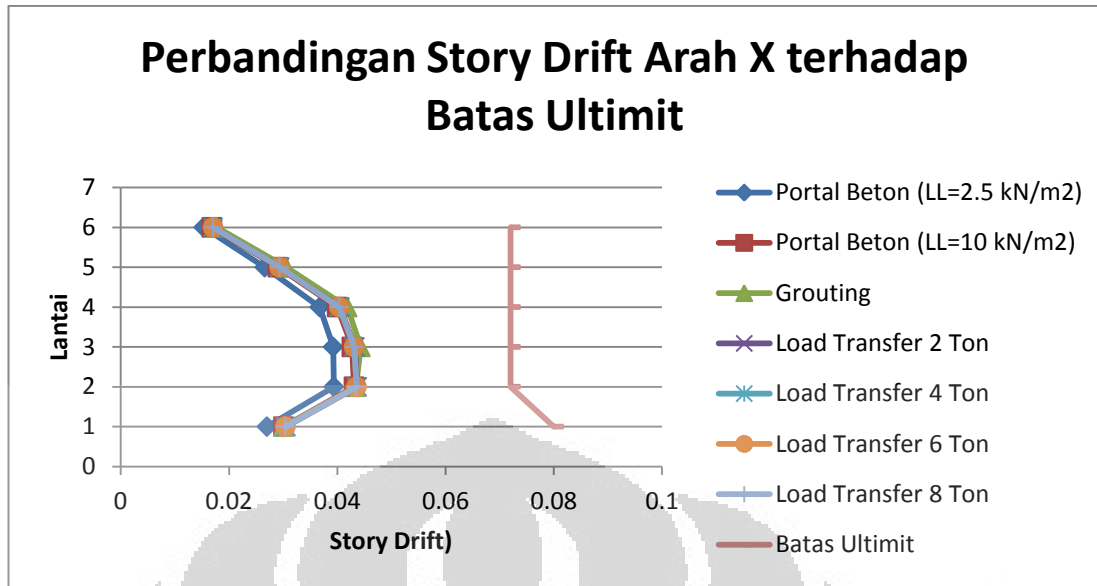
Kinerja struktur dalam simpangan harus diperiksa dalam dua aspek, yaitu kinerja batas layan dan batas ultimit. Besar simpangan dari bangunan yang didesain yang telah dibandingkan dengan batas ultimit dan batas layan adalah sebagai berikut:



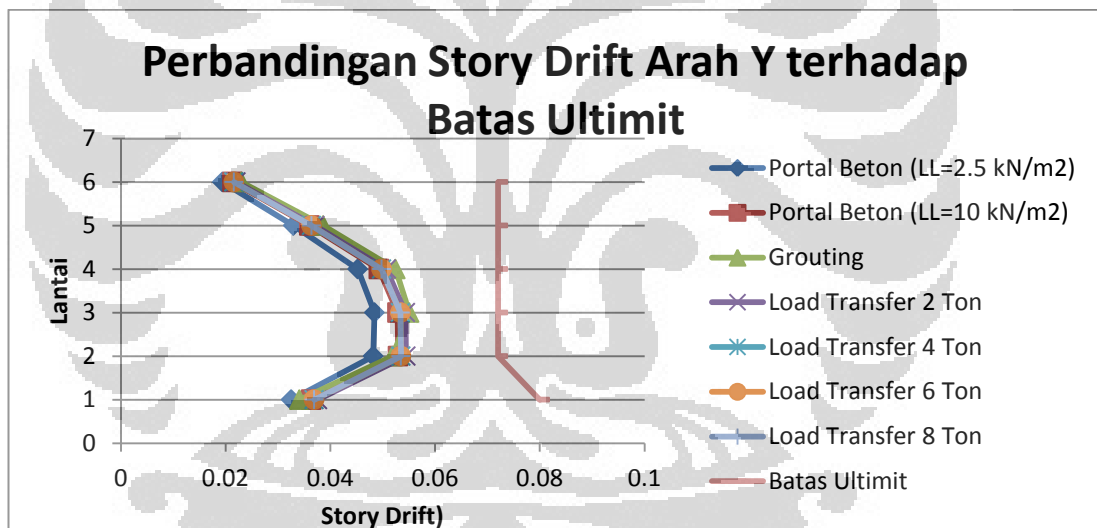
Gambar 4.7 Perbandingan Simpangan Arah X terhadap Baatas Layan



Gambar 4.8 Perbandingan Simpangan Arah Y terhadap Baatas Layan



Gambar 4.9 Perbandingan Simpangan Arah X terhadap Baatas Ultimit



Gambar 4.10 Perbandingan Simpangan Arah Y terhadap Baatas Ultimit

Dari gambar perbandingan simpangan struktur dari seluruh variasi permodelan dengan batas layan dan batas ultimit, struktur telah memenuhi batas yang telah ditentukan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi simpangan bangunan yang terlalu besar yang dapat mengakibatkan struktur dapat bersinggungan dengan struktur lain yang ada di sebelahnya.

4.4 Gaya Dalam Momen Balok Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa

4.4.1 Balok Memanjang Bagian Tepi

Berikut ini adalah tabel gaya dalam momen yang diterima balok memanjang bagian tepi pada seluruh permodelan:

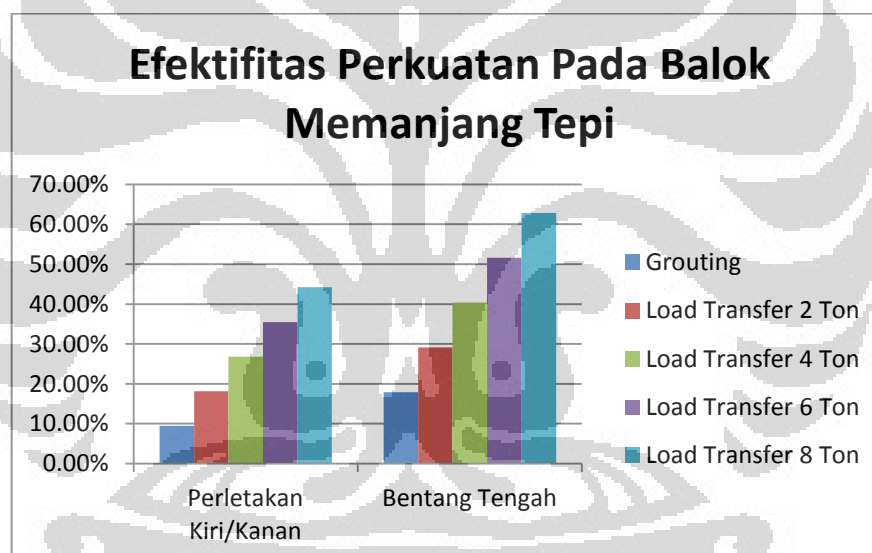
Tabel 4-4 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-82.903	71.039	-82.903	-82.523	68.658	-82.523
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-150.503	132.1776	-150.503	-147.388	127.4804	-147.388
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-136.567	107.538	-136.567	-133.196	105.6444	-133.196
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-123.256	92.511	-123.252	-120.635	91.4574	-120.63
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-109.944	77.491	-109.936	-108.075	77.2694	-108.065
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-96.6332	62.467	-96.6212	-95.5144	63.0824	-95.4994
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-83.3212	47.444	-83.3052	-82.9544	48.8944	-82.9344

Dari data gaya dalam momen di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan:

Tabel 4-5 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	9.26%	18.64%	9.26%	9.63%	17.13%	9.63%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 2 Ton</i>	18.10%	30.01%	18.11%	18.15%	28.26%	18.15%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 4 Ton</i>	26.95%	41.37%	26.95%	26.67%	39.39%	26.68%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 6 Ton</i>	35.8%	52.7%	35.8%	35.2%	50.5%	35.2%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 8 Ton</i>	44.64%	64.11%	44.65%	43.72%	61.65%	43.73%



Gambar 4.11 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

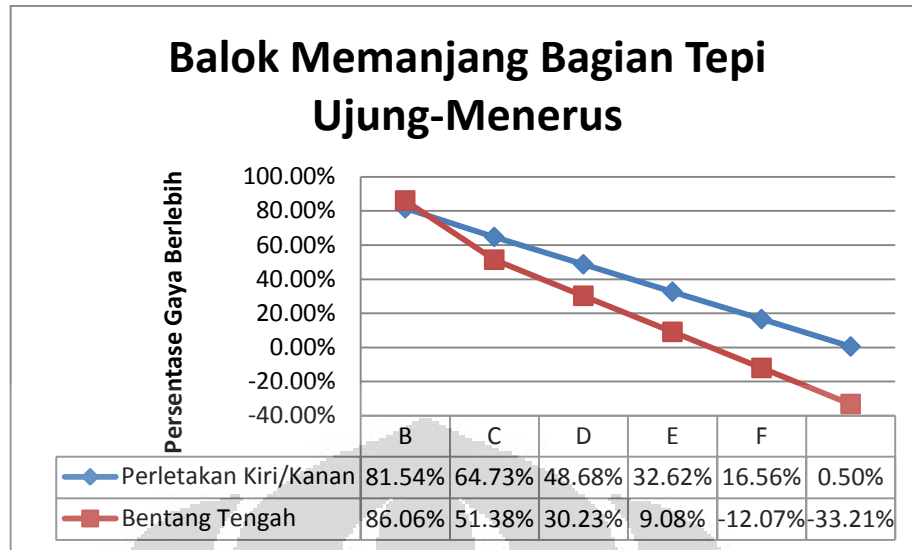
Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam momen dan gaya geser yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 9.44%, 18.13%, 26.81%, 35.5%, dan 44.18%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan

grouting dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 17.89%, 29.13%, 40.38%, 51.68%, dan 62.88%. Hasil persentase efisiensi yang didapat juga menunjukkan penggunaan *load transfer* lebih efektif daripada penggunaan *grouting* saja. Hal tersebut terjadi karena gaya yang dapat direduksi oleh grout lebih terbatas karena hanya beban hidup dan beban mati tambahan yang diberikan setelah proses konstruksi perkuatan dilakukan (bersifat pasif) sedangkan pada perkuatan dengan komponen *load transfer*, gaya dalam yang dapat direduksi bergantung kepada besar gaya pada *load transfer* yang diberikan (bersifat aktif). Kemudian pada perkuatan dengan *load transfer*, celah antara balok beton dan balok baja diberikan *local grout* sehingga transfer beban berjalan dengan lebih sempurna.

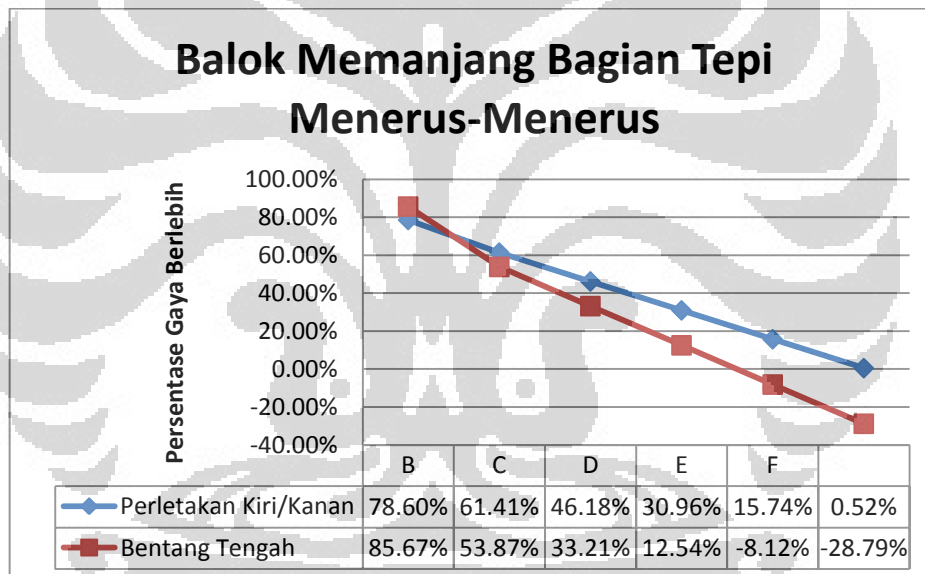
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-6 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Gaya Terlebih			Persentase Gaya Terlebih		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	81.54%	86.06%	81.54%	78.60%	85.67%	78.60%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	64.73%	51.38%	64.73%	61.41%	53.87%	61.41%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	48.68%	30.23%	48.67%	46.18%	33.21%	46.18%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	32.62%	9.08%	32.61%	30.96%	12.54%	30.95%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	16.56%	-12.07%	16.55%	15.74%	-8.12%	15.72%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	0.50%	-33.21%	0.49%	0.52%	-28.79%	0.50%



Gambar 4.12 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Ujung-Menerus(1.2DL + 1.6LL)

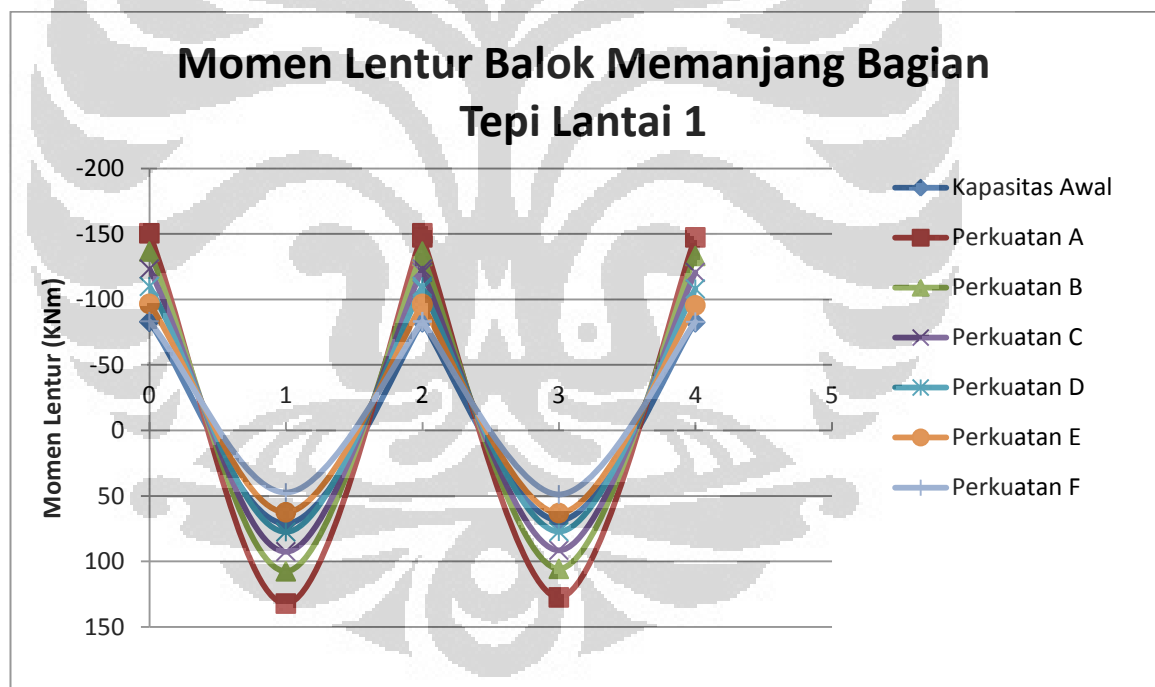


Gambar 4.13 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Menerus-Menerus (1.2DL + 1.6LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan momen yang negatif pada tengah bentang sedangkan pada perletakan kiri, nilai kelebihan momen hanya sebesar 0.5%. Kelebihan momen yang kecil tersebut dapat diabaikan dan dianggap bernilai sebesar 0%.

Kemudian selain itu, dari grafik kelebihan gaya dalam momen juga dapat dilihat bahwa nilai dari perkuatan dengan balok baja dan *load transfer* membentuk suatu garis yang linear. Hal tersebut disebabkan oleh nilai besar momen yang dapat direduksi ketika diberikan gaya terpusat *load transfer* sebesar $0.125 \times P \times L$.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.14 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan

sebelumnya. Berikut ini gaya dalam momen akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

Tabel 4-7 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-222.958	66.6479	-222.958	-219.2	62.7846	-219.2
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-280.914	105.2107	-280.914	-274.811	99.6366	-274.811
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-296.156	94.4592	-296.156	-283.702	85.3273	-283.702
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-261.505	68.4374	-261.142	-257	69.2802	-256.632
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-249.076	55.9434	-248.721	-244.44	55.1062	-244.067
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-238.139	38.3834	-237.776	-231.878	40.9322	-231.5
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-227.202	23.3564	-226.832	-219.317	26.7582	-218.934

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam momen yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-8 . Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-5.43%	10.22%	-5.43%	-3.24%	14.36%	-3.24%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	6.91%	34.95%	7.04%	6.48%	30.47%	6.62%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	11.33%	46.83%	11.46%	11.05%	44.69%	11.19%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	15.23%	63.52%	15.36%	15.62%	58.92%	15.76%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	19.12%	77.80%	19.25%	20.19%	73.14%	20.33%



Gambar 4.15 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -4.33%, 6.76%, 11.26%, 15.49%, dan 19.72%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 12.29%, 32.71%, 45.76%, 61.22%, dan 75.47%.

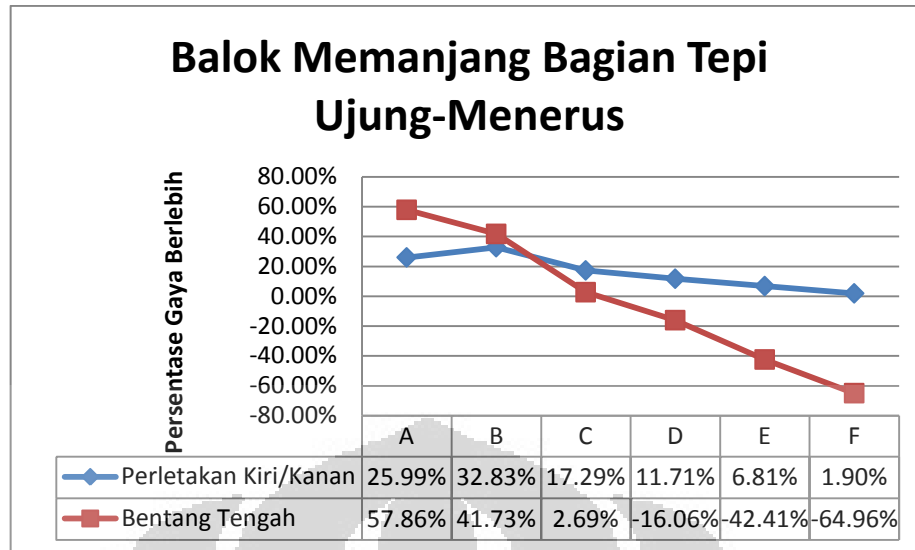
Pada tabel efektivitas penggunaan balok baja dan *grouting* akibat kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa bumi, terdapat beberapa persentase efisiensi yang bernilai negatif ($< 0\%$). Hal ini menunjukkan gaya dalam yang dialami balok setelah diberi perkuatan balok baja dan *grouting* lebih besar dibandingkan tanpa diberikan perkuatan (Model 2). Hal ini disebabkan oleh kekakuan bangunan yang diberi perkuatan balok baja dan *grouting* lebih besar sehingga gaya gempa yang diterima pun lebih besar. Akan tetapi, pada perkuatan dengan balok baja dan *load transfer*, nilai efektivitas dari perkuatan sudah positif. Hal tersebut terjadi karena periode getar pertama permodelan dengan *load transfer* hampir sama dengan permodelan portal beton dengan LL = 10 kN/m² sehingga gaya dalam momen pada balok yang diakibatkan oleh beban gempa antara kedua jenis permodelan tersebut hampir sama. Karena momen akibat beban gempa tersebut hampir sama, maka *load transfer* efektif dapat mereduksi momen lentur yang ada dalam balok beton.

Jika diperhatikan lebih lanjut, nilai efektivitas pada bagian tengah bentang balok jauh lebih besar dibandingkan dengan bagian perletakan kiri maupun kanan. Hal tersebut diakibatkan oleh beban gempa hanya mempengaruhi gaya dalam momen pada bagian perletakan kiri dan kanan saja sehingga nilai efektivitas tersebut berbeda dengan bagian bentang tengah.

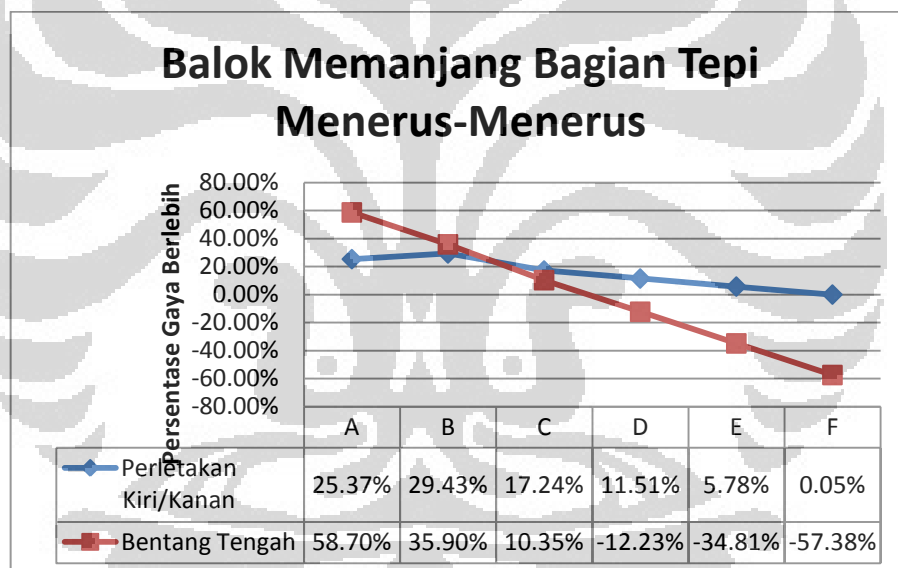
.Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-9 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Gaya Terlebih			Persentase Gaya Terlebih		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	25.99%	57.86%	25.99%	25.37%	58.70%	25.37%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	32.83%	41.73%	32.83%	29.43%	35.90%	29.43%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	17.29%	2.69%	17.13%	17.24%	10.35%	17.08%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	11.71%	-16.06%	11.56%	11.51%	-12.23%	11.34%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	6.81%	-42.41%	6.65%	5.78%	-34.81%	5.61%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	1.90%	-64.96%	1.74%	0.05%	-57.38%	-0.12%



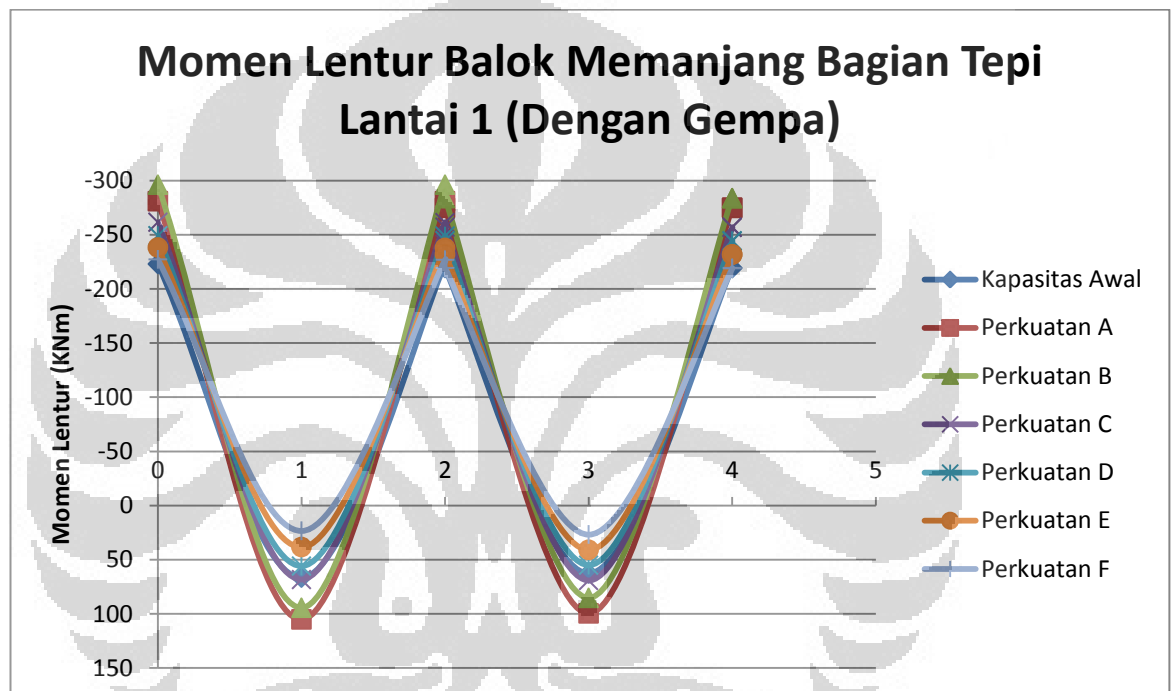
Gambar 4.16 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)



Gambar 4.17 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tepi Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan momen yang negatif pada tengah bentang sedangkan pada perletakan kiri, nilai kelebihan momen hanya sebesar kurang dari 2%. Kelebihan momen yang kecil tersebut dapat diabaikan dan dianggap bernilai sebesar 0%..

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.18 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.4.2 Balok Memanjang Bagian Tengah

Berikut ini adalah tabel gaya dalam momen yang diterima balok memanjang bagian tengah pada seluruh permodelan:

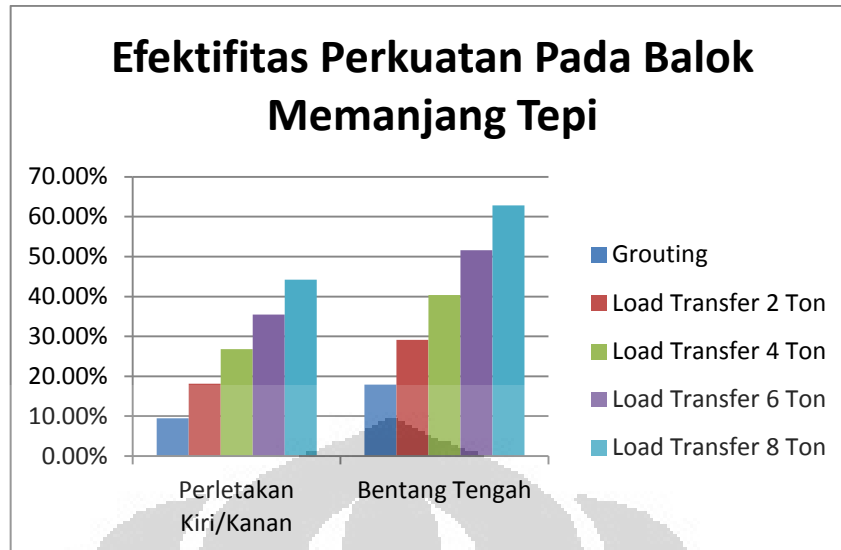
Tabel 4-10 Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-152.255	144.905	-152.255	-151.369	140.697	-151.369
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-312.206	294.5816	-312.206	-304.966	285.1572	-304.966
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-284.159	239.7202	-284.241	-276.727	236.6402	-276.727
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-270.751	224.6442	-270.91	-264.16	222.4472	-264.139
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-257.343	209.5672	-257.578	-251.594	208.2542	-251.552
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-243.936	194.4912	-244.247	-239.027	194.0622	-238.964
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-230.527	179.4142	-230.915	-226.461	179.8682	-226.377

Dari data gaya dalam momen di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan:

Tabel 4-11 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	8.98%	18.62%	8.96%	9.26%	17.01%	9.26%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	13.28%	23.74%	13.23%	13.38%	21.99%	13.39%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	17.57%	28.86%	17.50%	17.50%	26.97%	17.51%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	21.87%	33.98%	21.77%	21.62%	31.95%	21.64%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	26.16%	39.10%	26.04%	25.74%	36.92%	25.77%



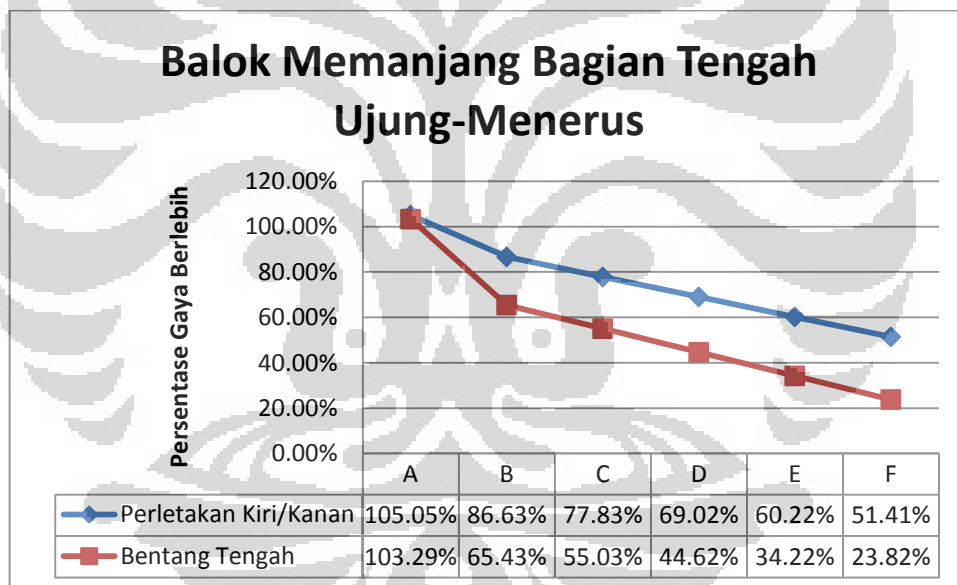
Gambar 4.19 Efektifitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam momen yang seharusnya diterima balok beton. Efektifitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 9.12%, 13.32%, 17.52%, 21.72%, dan 25.93%. Efektifitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 17.82%, 22.87%, 27.91%, 32.96%, dan 38.01%. Hasil persentase efisiensi yang didapat juga menunjukkan penggunaan *load transfer* lebih efektif daripada penggunaan *grouting* saja.

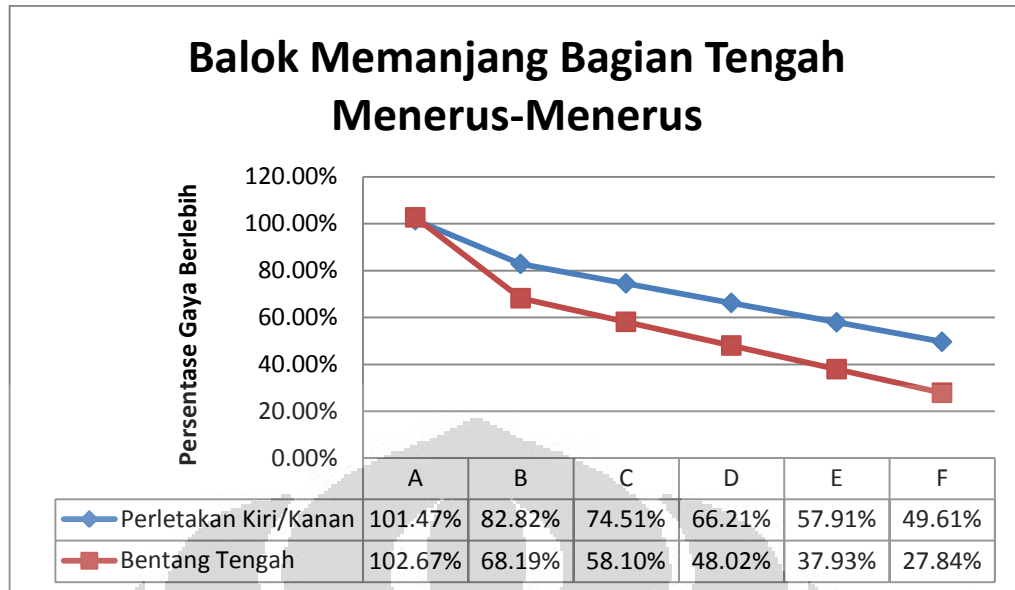
Selain efektifitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-12. Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Kelebihan Gaya			Persentase Kelebihan Gaya		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	105.05%	103.29%	105.05%	101.47%	102.67%	101.47%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	86.63%	65.43%	86.69%	82.82%	68.19%	82.82%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	77.83%	55.03%	77.93%	74.51%	58.10%	74.50%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	69.02%	44.62%	69.18%	66.21%	48.02%	66.18%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	60.22%	34.22%	60.42%	57.91%	37.93%	57.87%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	51.41%	23.82%	51.66%	49.61%	27.84%	49.55%



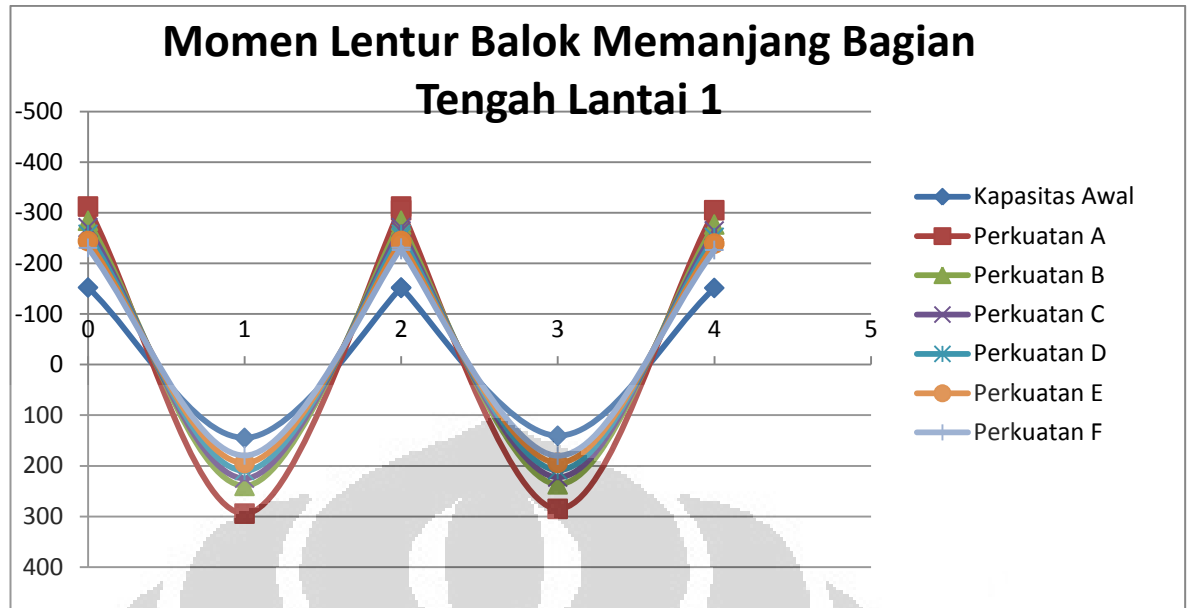
Gambar 4.20 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Ujung-Menerus (1.2DL + 1.6LL)



Gambar 4.21 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Menerus-Menerus (1.2DL + 1.6LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan momen yang positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* hingga variasi gaya 8 ton masih belum dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting sesuai dengan kapasitas rencananya awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.22 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam momen akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

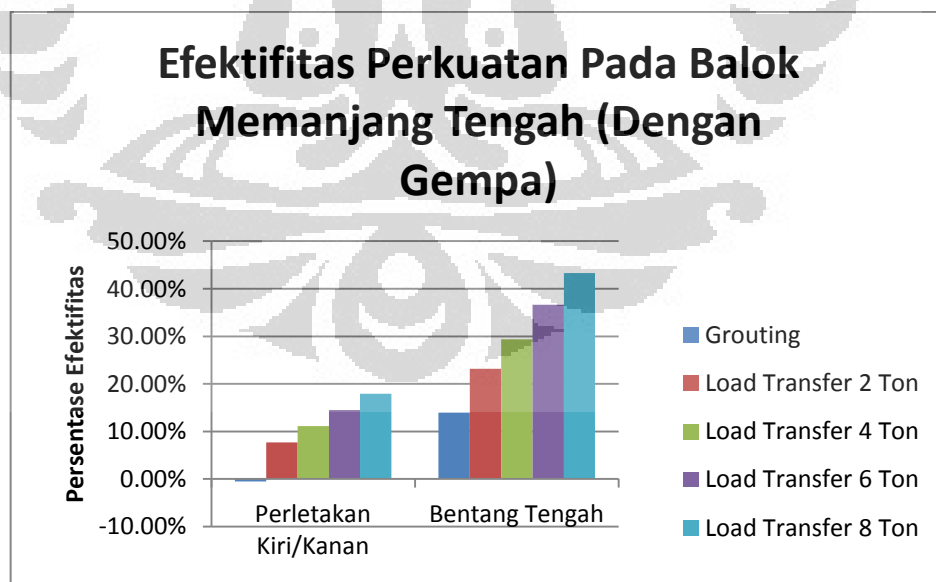
Tabel 4-13 . Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-270.93	128.8364	-270.93	-267.144	123.2769	-267.144
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-385.138	222.6455	-385.138	-377.042	213.6216	-377.042
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-390.26	193.9883	-390.26	-375.773	181.4976	-375.773
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-354.829	167.9982	-355.362	-348.306	166.891	-348.418
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-341.421	155.4882	-342.03	-335.743	152.712	-335.838
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-328.013	137.9082	-328.7	-323.18	138.533	-323.256
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-314.605	122.8632	-315.369	-310.617	124.354	-310.675

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam momen yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-14 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-1.33%	12.87%	-1.33%	0.34%	15.04%	0.34%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 2 Ton</i>	7.87%	24.54%	7.73%	7.62%	21.88%	7.59%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 4 Ton</i>	11.35%	30.16%	11.19%	10.95%	28.51%	10.93%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 6 Ton</i>	14.83%	38.06%	14.65%	14.29%	35.15%	14.27%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer 8 Ton</i>	18.31%	44.82%	18.12%	17.62%	41.79%	17.60%



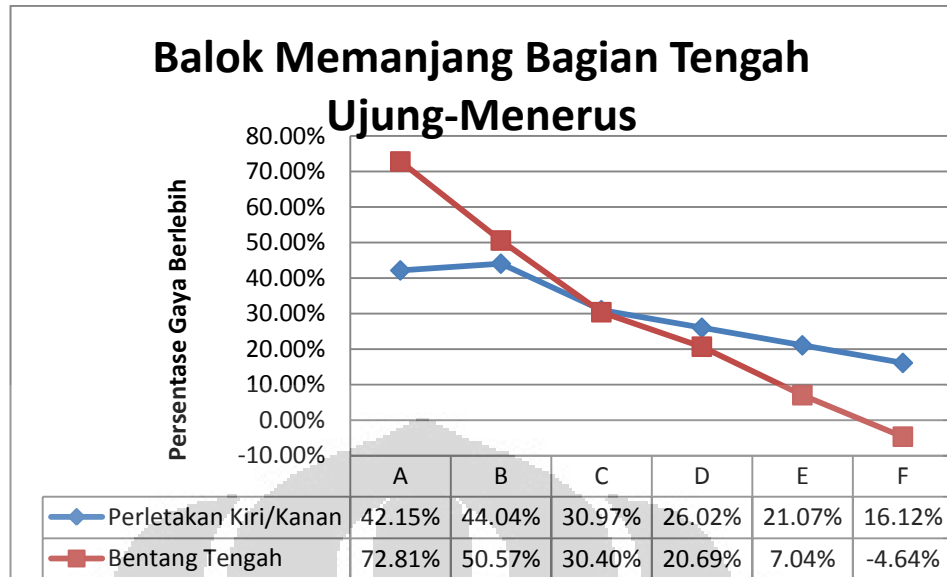
Gambar 4.23 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -0.5%, 7.7%, 11.11%, 14.51%, dan 17.91%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 13.95%, 23.21%, 29.34%, 36.6%, dan 43.3%.

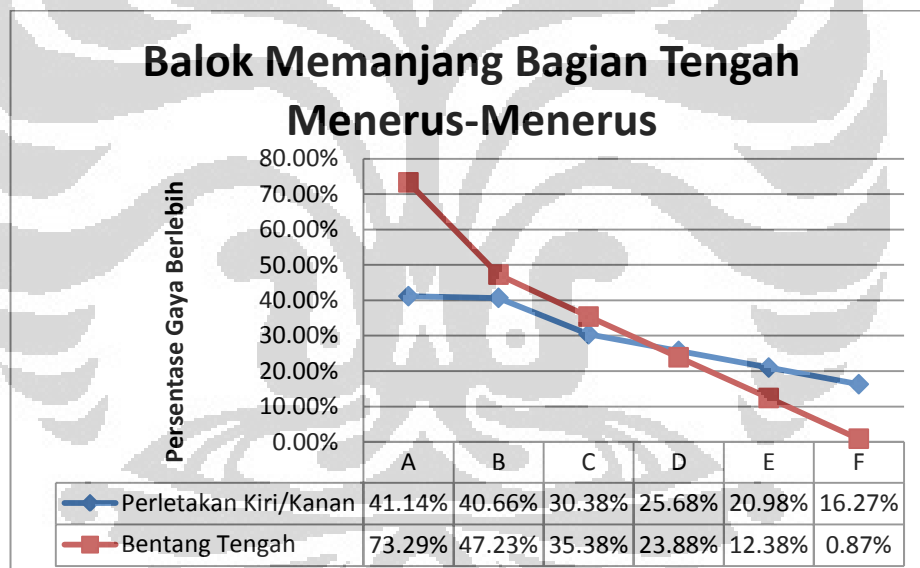
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-15. Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Gaya Terlebih			Persentase Gaya Terlebih		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	42.15%	72.81%	42.15%	41.14%	73.29%	41.14%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	44.04%	50.57%	44.04%	40.66%	47.23%	40.66%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	30.97%	30.40%	31.16%	30.38%	35.38%	30.42%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	26.02%	20.69%	26.24%	25.68%	23.88%	25.71%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	21.07%	7.04%	21.32%	20.98%	12.38%	21.00%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	16.12%	-4.64%	16.40%	16.27%	0.87%	16.30%



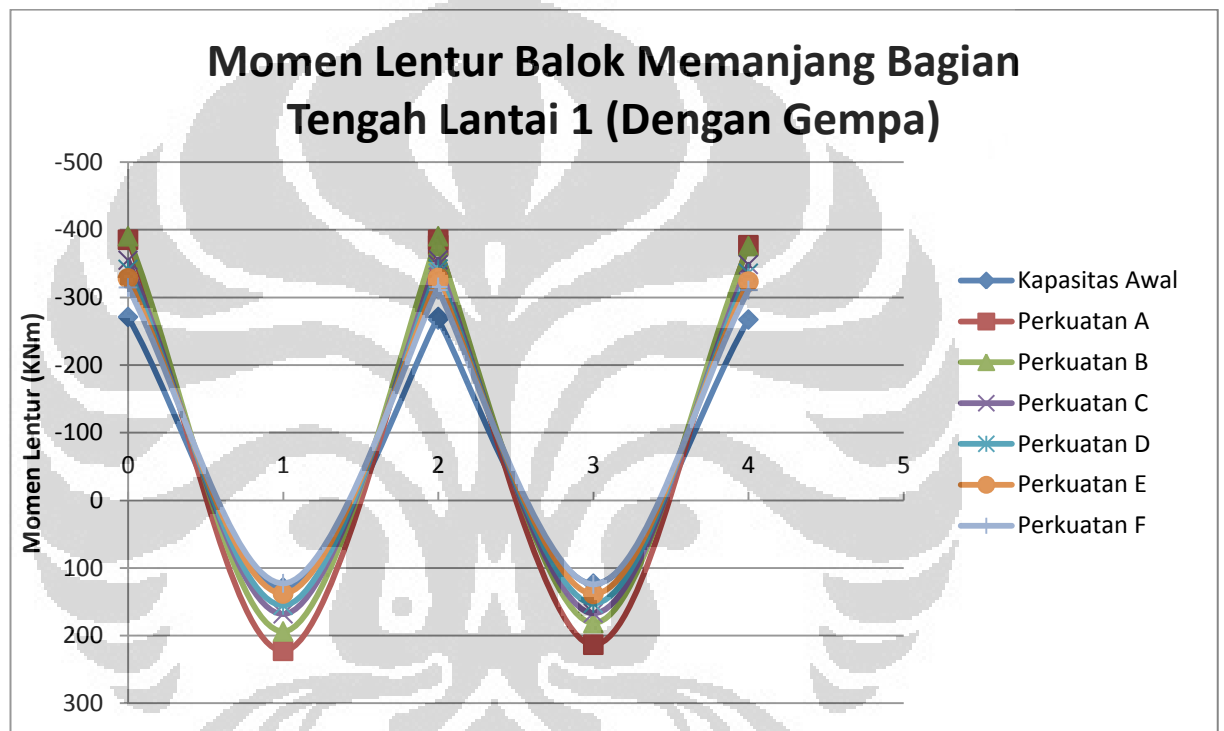
Gambar 4.24 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)



Gambar 4.25 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Memanjang Tengah Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan momen yang positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* hingga variasi gaya 8 ton masih belum dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting sesuai dengan kapasitas rencananya awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.26 Gaya Dalam Momen Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.4.3 Balok Melintang Bagian Tepi

Berikut ini adalah tabel gaya dalam momen yang diterima balok melintang bagian tepi pada seluruh permodelan:

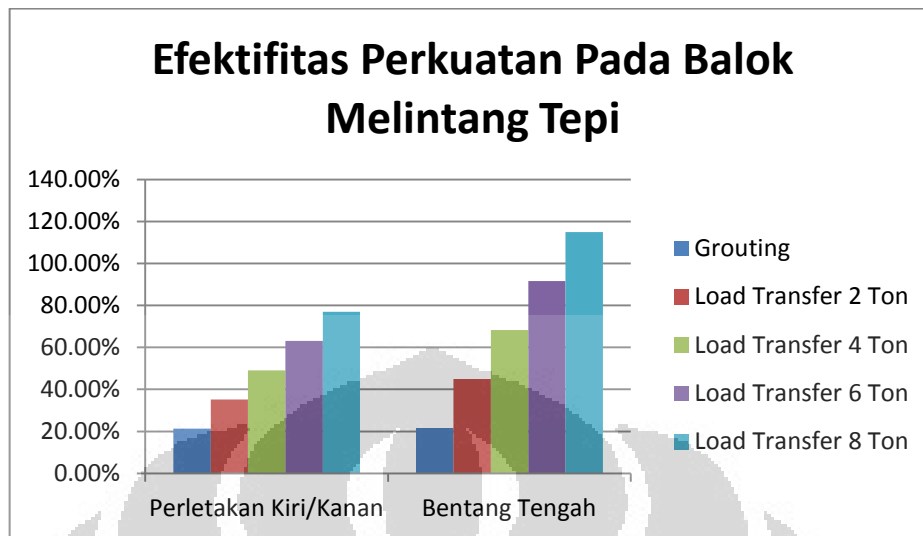
Tabel 4-16 . Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-54.805	38.8531	-54.805	-55.785	36.26768	-55.785
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-94.3296	66.45136	-94.3296	-93.7124	60.96409	-93.7124
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-65.8959	52.15149	-84.8075	-64.5452	47.64255	-80.7271
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-52.4179	36.76049	-71.3275	-51.8672	33.34955	-68.0481
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-38.9399	21.37049	-57.8485	-39.1892	19.05555	-55.3681
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-25.4619	5.979495	-44.3685	-26.5112	4.76255	-42.6891
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-11.9839	-9.41051	-30.8895	-13.8332	-9.53145	-30.0091

Dari data gaya dalam momen di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan:

Tabel 4-17 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	30.14%	21.52%	10.09%	31.12%	21.85%	13.86%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	44.43%	44.68%	24.38%	44.65%	45.30%	27.39%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	58.72%	67.84%	38.67%	58.18%	68.74%	40.92%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	73.01%	91.00%	52.96%	71.71%	92.19%	54.45%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	87.30%	114.16%	67.25%	85.24%	115.63%	67.98%



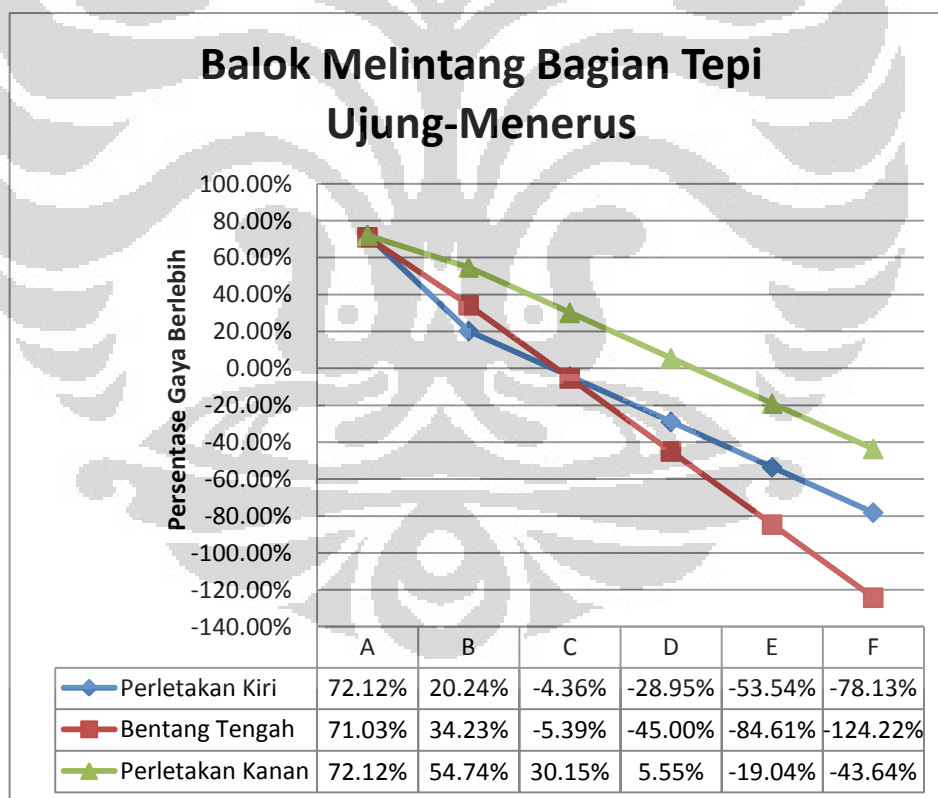
Gambar 4.27 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam momen yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 21.3%, 35.21%, 49.12%, 63.03%, dan 76.94%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 21.69%, 44.99%, 68.29%, 91.59% dan 114.9%. Hasil persentase efisiensi yang didapat juga menunjukkan penggunaan *load transfer* lebih efektif daripada penggunaan *grouting* saja.

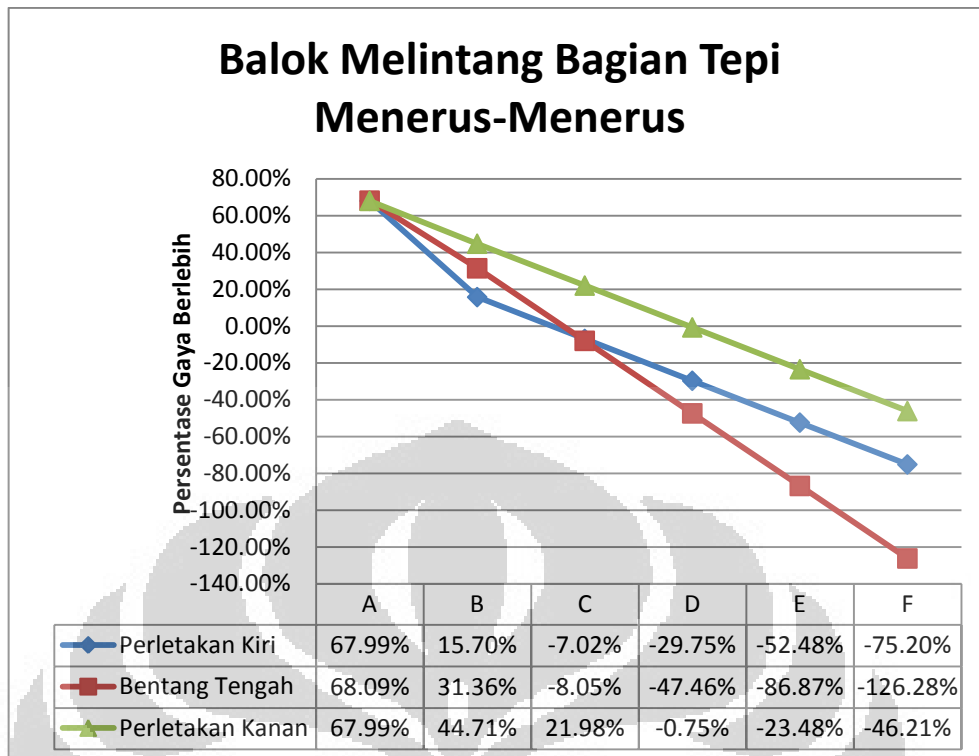
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-18 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Kelebihan Gaya			Persentase Kelebihan Gaya		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	72.12%	71.03%	72.12%	67.99%	68.09%	67.99%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	20.24%	34.23%	54.74%	15.70%	31.36%	44.71%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-4.36%	-5.39%	30.15%	-7.02%	-8.05%	21.98%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-28.95%	-45.00%	5.55%	-29.75%	-47.46%	-0.75%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-53.54%	-84.61%	-19.04%	-52.48%	-86.87%	-23.48%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-78.13%	-124.22%	-43.64%	-75.20%	-126.28%	-46.21%



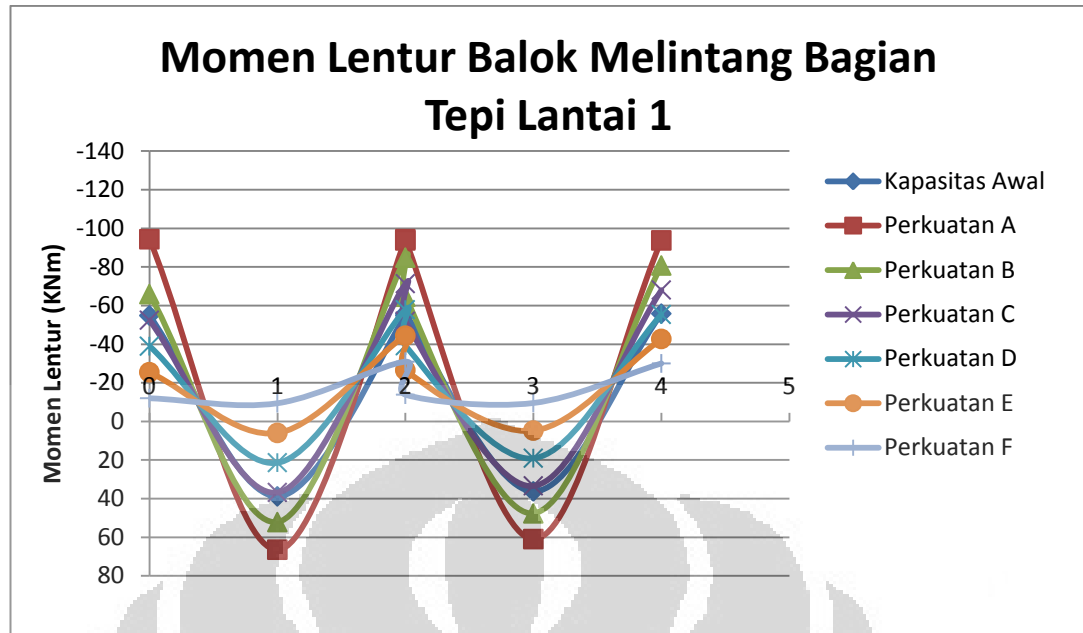
Gambar 4.28 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Ujung-Menerus (1.2DL + 1.6 LL)



Gambar 4.29 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Menerus-Menerus (1.2DL+1.6 LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 6 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan momen yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 6 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.30 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam momen akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

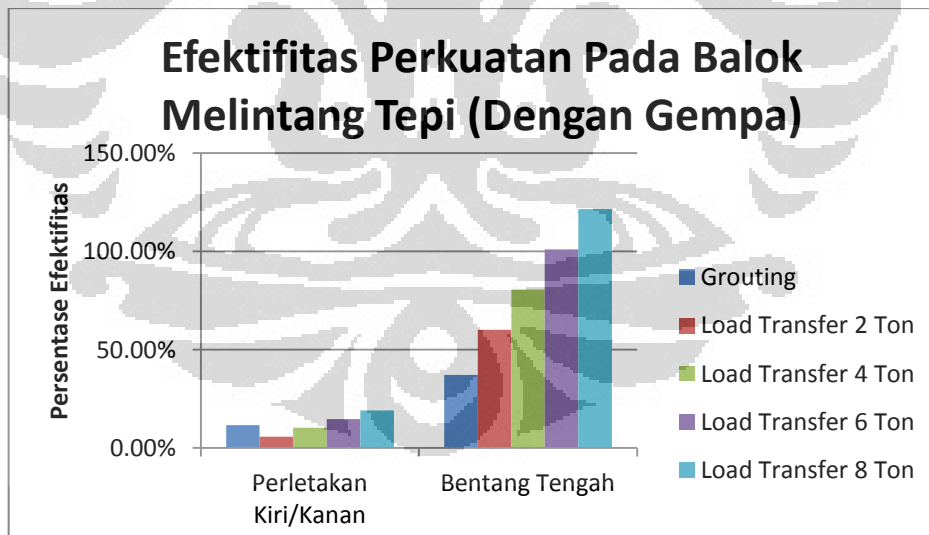
Tabel 4-19 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-231.424	48.92765	-231.424	-224.601	46.2417	-224.601
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-272.114	70.98174	-272.114	-267.422	66.10012	-267.422
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-211.473	46.06565	-276.898	-194.881	40.13995	-270.72
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-263.146	28.99539	-259.56	-242.654	25.62785	-251.12
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-252.149	15.34939	-246.969	-229.982	11.33385	-238.415
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-241.15	1.703395	-235.972	-217.31	-2.95815	-225.71
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-230.152	-11.9426	-224.974	-204.638	-17.2511	-213.005

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam momen yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-20 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	22.29%	35.10%	-1.76%	27.13%	39.27%	-1.23%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	3.30%	59.15%	4.61%	9.26%	61.23%	6.10%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	7.34%	78.38%	9.24%	14.00%	82.85%	10.85%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	11.38%	97.60%	13.28%	18.74%	104.48%	15.60%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	15.42%	116.82%	17.32%	23.48%	126.10%	20.35%



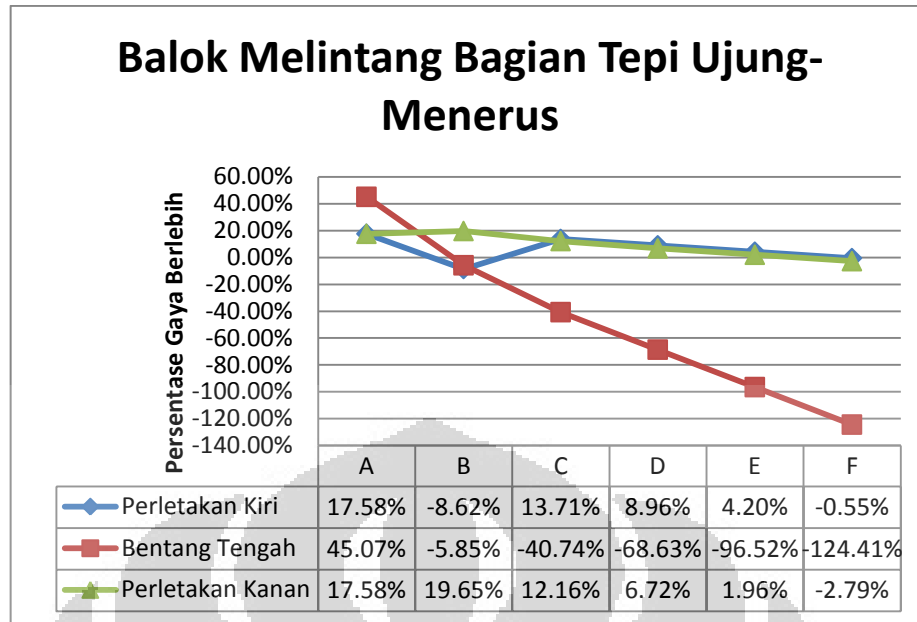
Gambar 4.31 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 11.6%, 5.82%, 10.36%, 14.75%, dan 19.14%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 37.19%, 60.19%, 80.61%, 101.04%, dan 121.46%.

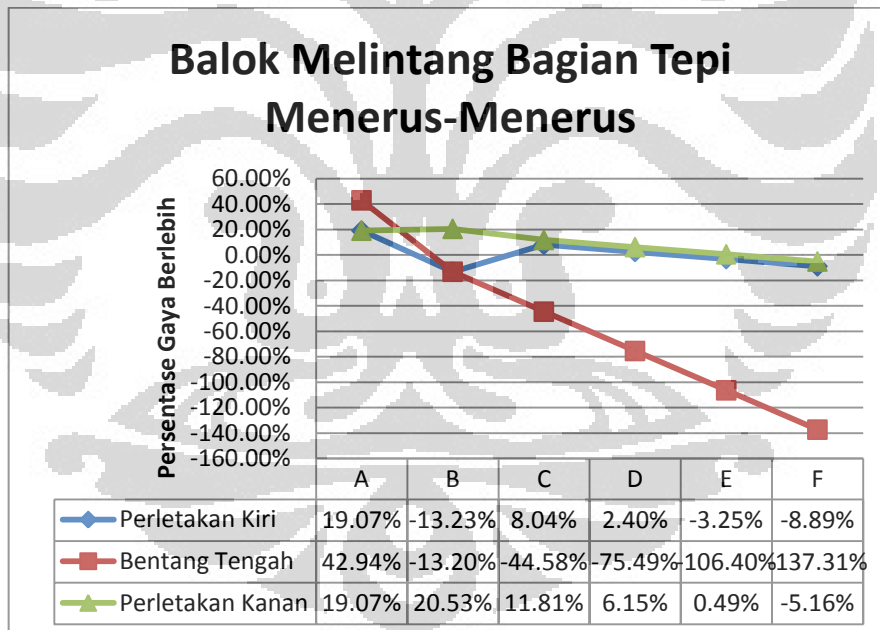
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-21 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Gaya Terlebih			Persentase Gaya Terlebih		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	17.58%	45.07%	17.58%	19.07%	42.94%	19.07%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-8.62%	-5.85%	19.65%	-13.23%	-13.20%	20.53%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	13.71%	-40.74%	12.16%	8.04%	-44.58%	11.81%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	8.96%	-68.63%	6.72%	2.40%	-75.49%	6.15%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	4.20%	-96.52%	1.96%	-3.25%	-106.40%	0.49%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-0.55%	-124.41%	-2.79%	-8.89%	-137.31%	-5.16%



Gambar 4.32 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

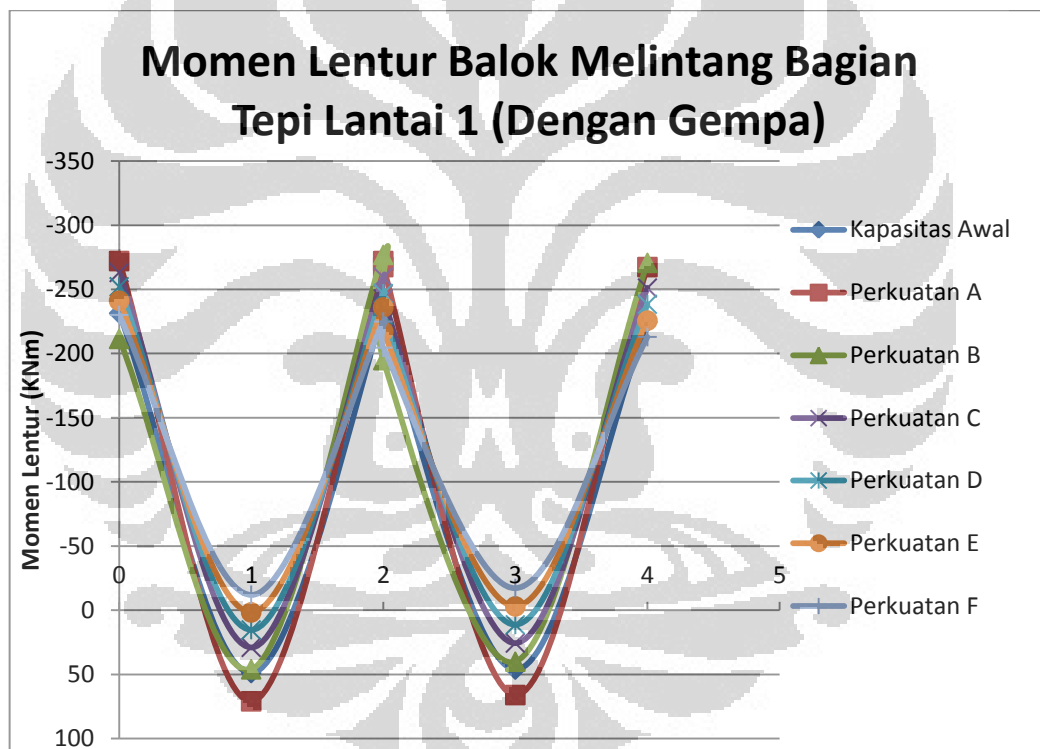


Gambar 4.33 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tepi Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 6 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan

momen yang negatif (walaupun terdapat beberapa nilai yang positif tetapi kecil). Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 6 ton masih dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.34 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.4.4 Balok Melintang Bagian Tengah

Berikut ini adalah tabel gaya dalam momen yang diterima balok melintang bagian tengah pada seluruh permodelan:

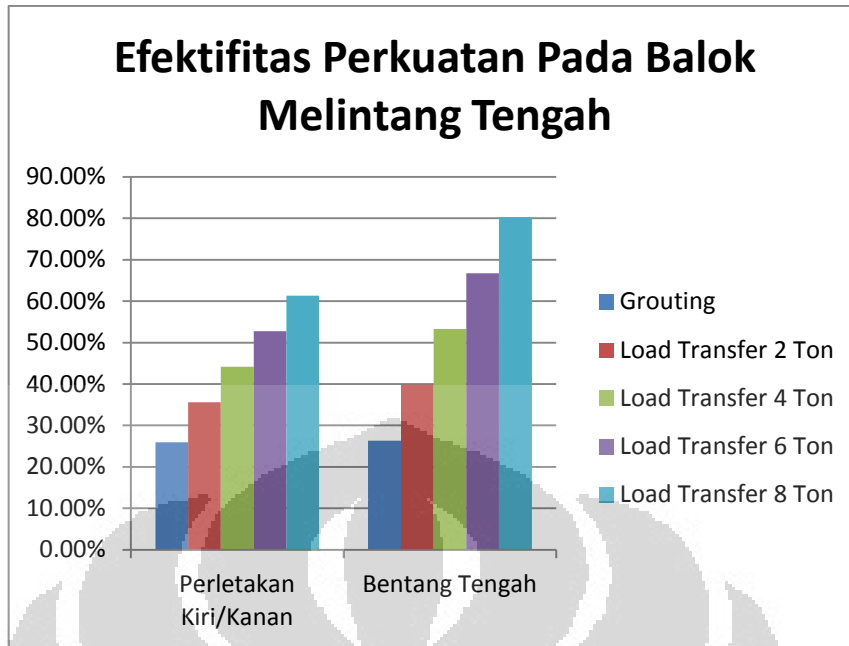
Tabel 4-22 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-73.719	53.69097	-73.719	-76	49.89336	-76
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-152.723	108.8627	-152.721	-151.856	99.28618	-151.856
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-97.8258	79.54928	-130.763	-95.6549	73.67037	-126.697
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-84.3548	65.90528	-110.891	-82.9809	59.38137	-114.022
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-70.8828	52.26028	-97.42	-70.3059	45.09237	-101.348
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-57.4118	38.61628	-83.948	-57.6319	30.80337	-88.6728
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-43.9398	24.97128	-70.477	-44.9569	16.51437	-75.9988

Dari data gaya dalam momen di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan:

Tabel 4-23 . Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	35.95%	26.93%	14.38%	37.01%	25.80%	16.57%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	44.77%	39.46%	27.39%	45.36%	40.19%	24.91%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	53.59%	51.99%	36.21%	53.70%	54.58%	33.26%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	62.41%	64.53%	45.03%	62.05%	68.98%	41.61%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	71.23%	77.06%	53.85%	70.39%	83.37%	49.95%



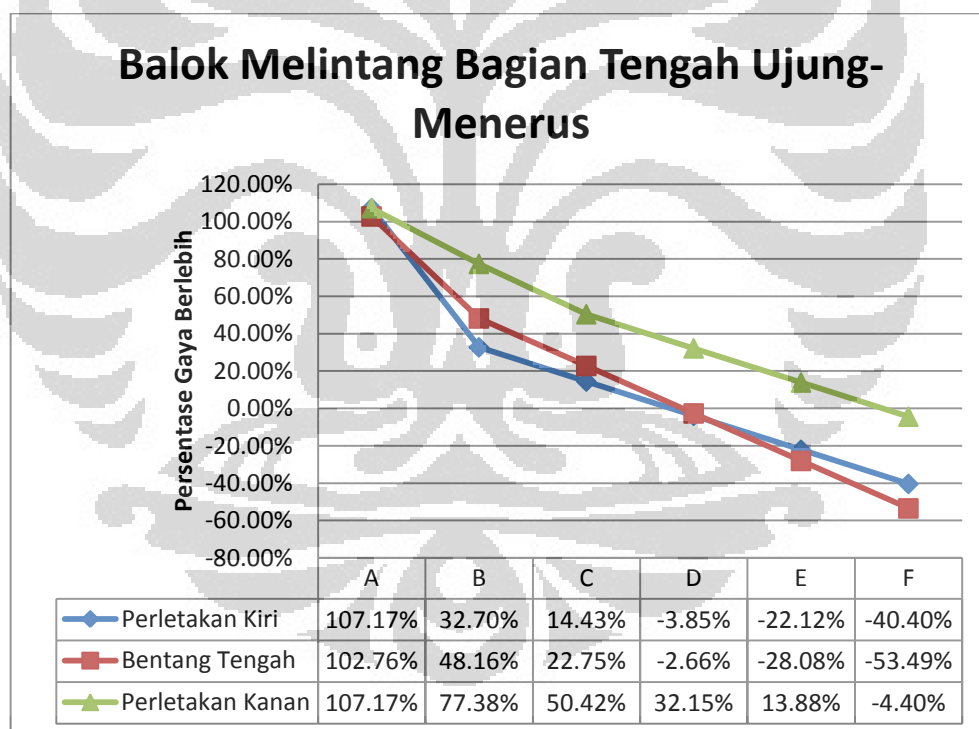
Gambar 4.35 Efektifitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam momen yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 25.98%, 35.61%, 44.19%, 52.77%, dan 61.36%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 26.36%, 39.83%, 53.29%, 66,75%, dan 80.21%. Hasil persentase efisiensi yang didapat juga menunjukkan penggunaan *load transfer* lebih efektif daripada penggunaan *grouting* saja.

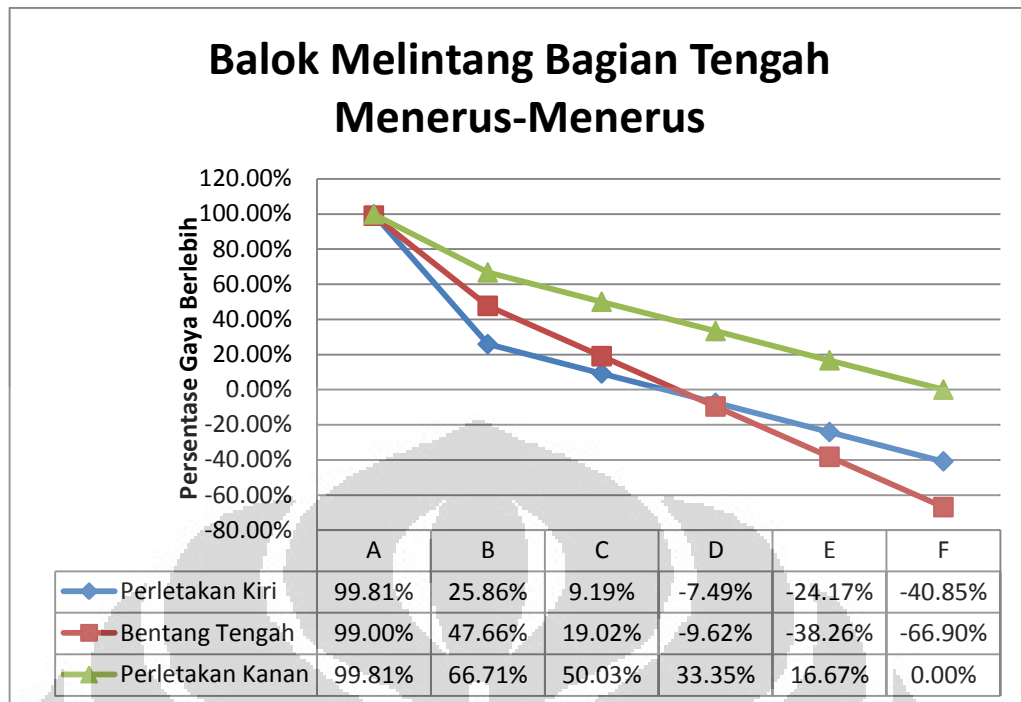
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-24 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat
Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Kelebihan Gaya			Persentase Kelebihan Gaya		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	107.17%	102.76%	107.17%	99.81%	99.00%	99.81%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	32.70%	48.16%	77.38%	25.86%	47.66%	66.71%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	14.43%	22.75%	50.42%	9.19%	19.02%	50.03%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-3.85%	-2.66%	32.15%	-7.49%	-9.62%	33.35%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-22.12%	-28.08%	13.88%	-24.17%	-38.26%	16.67%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-40.40%	-53.49%	-4.40%	-40.85%	-66.90%	0.00%



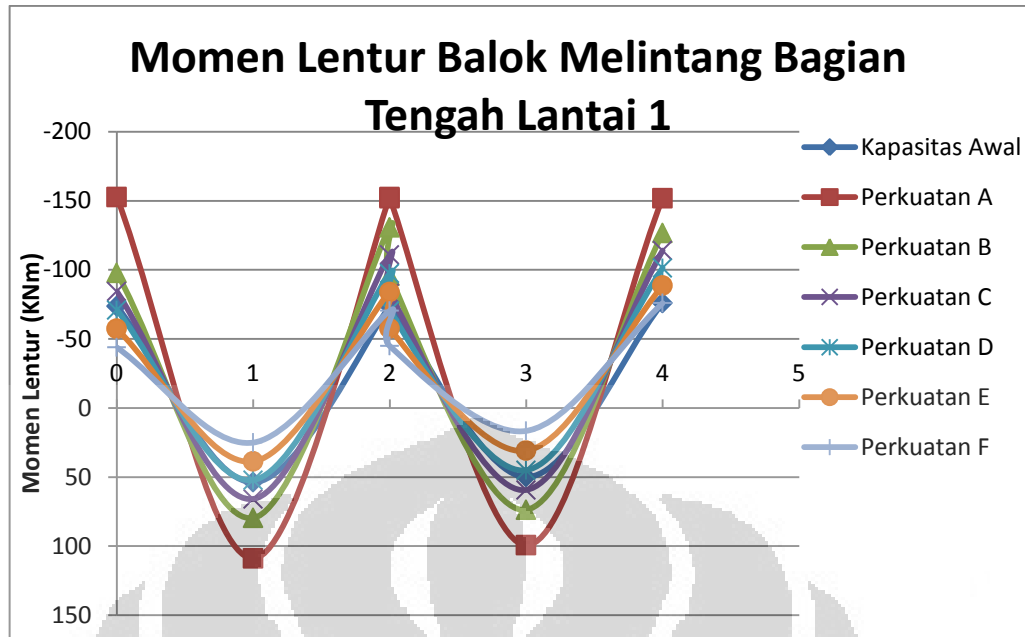
Gambar 4.36 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Ujung-Menerus (1.2DL + 1.6 LL)



Gambar 4.37 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Menerus-Menerus (1.2DL+1.6 LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan momen yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 8 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.38 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam momen akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

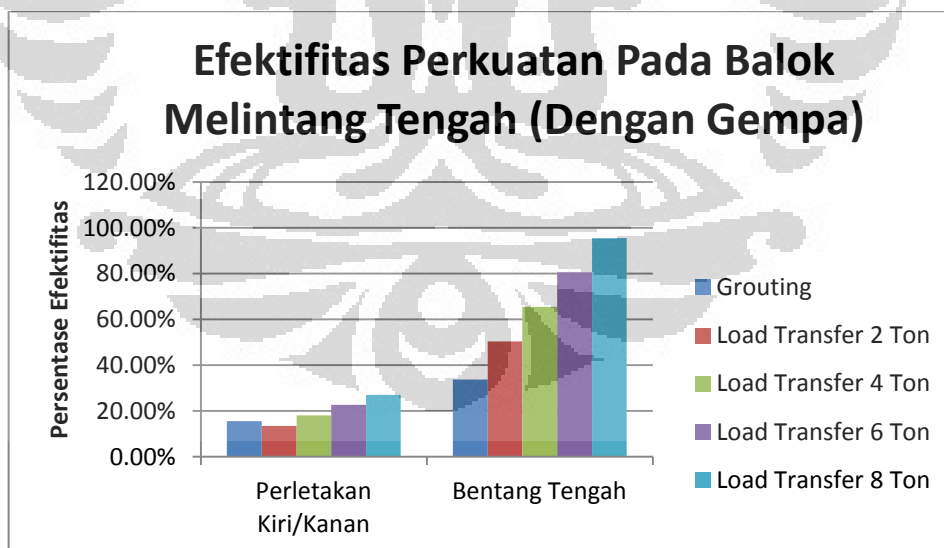
Tabel 4-25 Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Gaya Dalam Momen			Gaya Dalam Momen		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-217.274	56.9155	-217.274	-212.795	53.4172	-212.795
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-279.168	96.74234	-279.167	-275.405	89.20635	-275.405
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-198.111	65.38418	-275.689	-194.428	58.10097	-269.547
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-230.536	48.56018	-252.161	-228.302	43.81197	-248.754
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-218.217	34.91618	-238.69	-215.627	29.52297	-236.08
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-207.223	21.27018	-225.217	-202.954	15.23397	-223.404
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-196.228	7.625184	-212.964	-190.28	0.944965	-210.729

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam momen yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-26 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
	Efektivitas			Efektivitas		
	LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	29.04%	32.41%	1.25%	29.40%	34.87%	2.13%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	17.42%	49.80%	9.67%	17.10%	50.89%	9.68%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	21.83%	63.91%	14.50%	21.71%	66.90%	14.28%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	25.77%	78.01%	19.33%	26.31%	82.92%	18.88%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	29.71%	92.12%	23.71%	30.91%	98.94%	23.48%



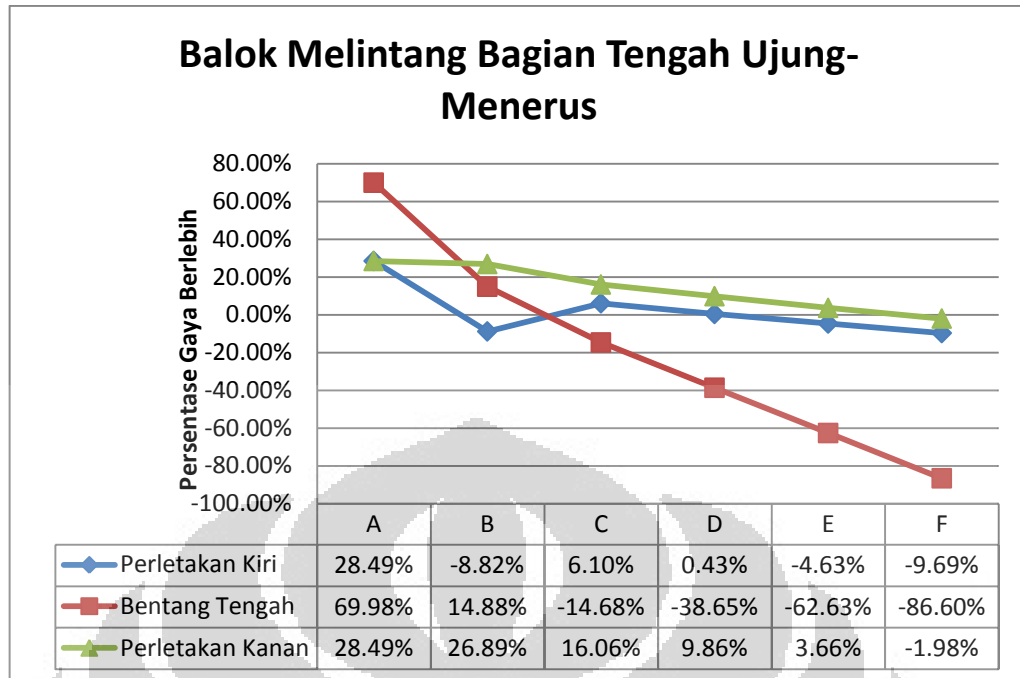
Gambar 4.39 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 14.45%, 13.47%, 18.08%, 22.57%, dan 26.95%. Efektivitas pada balok bagian bentang tengah perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 33.64%, 50.35%, 65.41%, 80.47%, dan 95.53%.

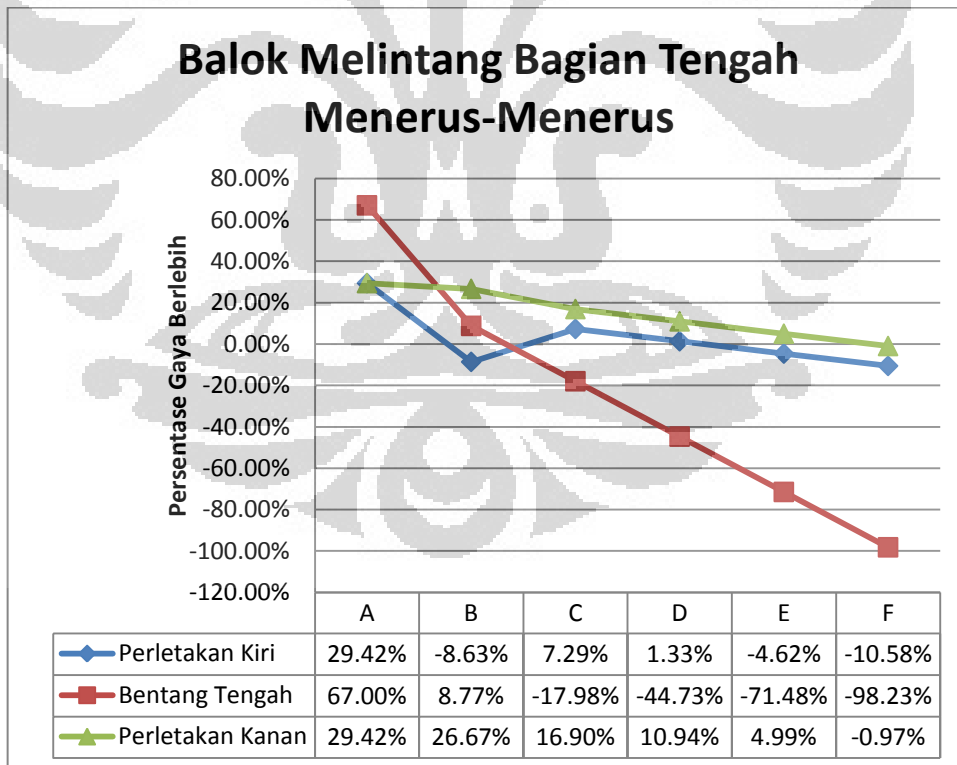
Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-27 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus			Menerus-Menerus		
		Persentase Gaya Terlebih			Persentase Gaya Terlebih		
		LSU	MSP	RSU	LSU	MSP	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	28.49%	69.98%	28.49%	29.42%	67.00%	29.42%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-8.82%	14.88%	26.89%	-8.63%	8.77%	26.67%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	6.10%	-14.68%	16.06%	7.29%	-17.98%	16.90%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	0.43%	-38.65%	9.86%	1.33%	-44.73%	10.94%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-4.63%	-62.63%	3.66%	-4.62%	-71.48%	4.99%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-9.69%	-86.60%	-1.98%	-10.58%	-98.23%	-0.97%



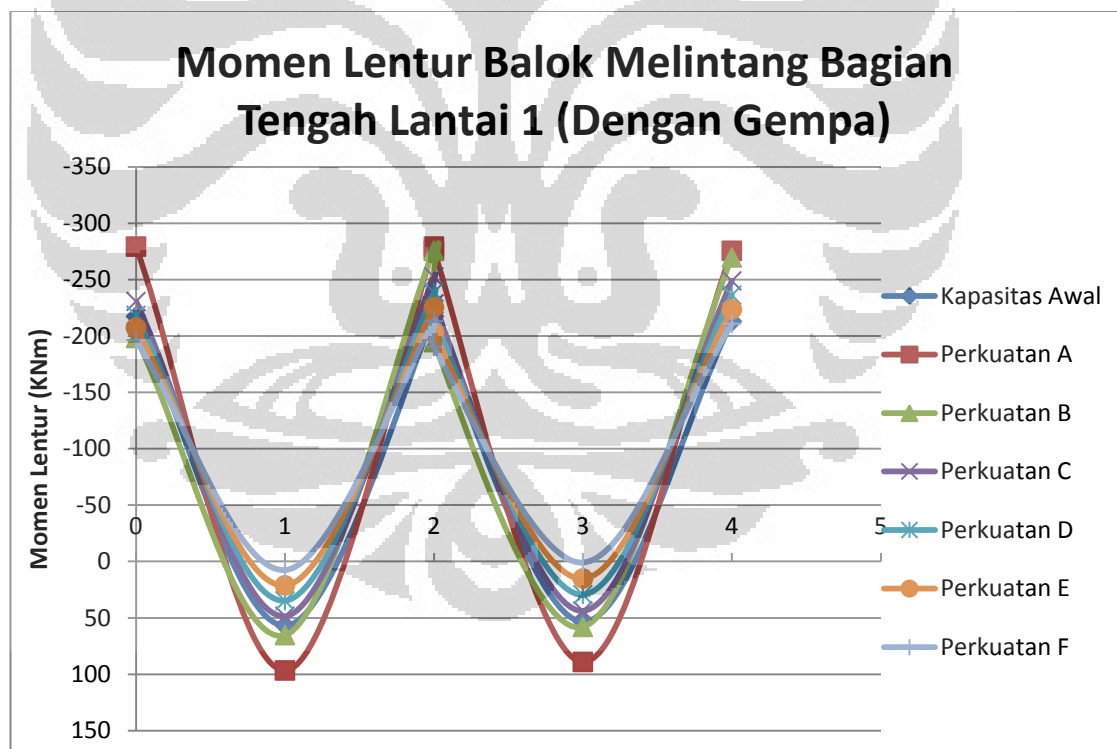
Gambar 4.40 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Ujung-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)



Gambar 4.41 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Momen pada Balok Melintang Tengah Menerus-Menerus Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan momen yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 8 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam momen dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam momen akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.42 Gaya Dalam Momen Balok Melintang Bagina Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.5 Gaya Geser Pada Balok Lantai Pertama Akibat Pembebanan Gravitasi dan Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa

4.5.1 Balok Memanjang Bagian Tepi

Berikut ini adalah tabel gaya dalam geser yang diterima balok memanjang bagian tepi pada seluruh permodelan:

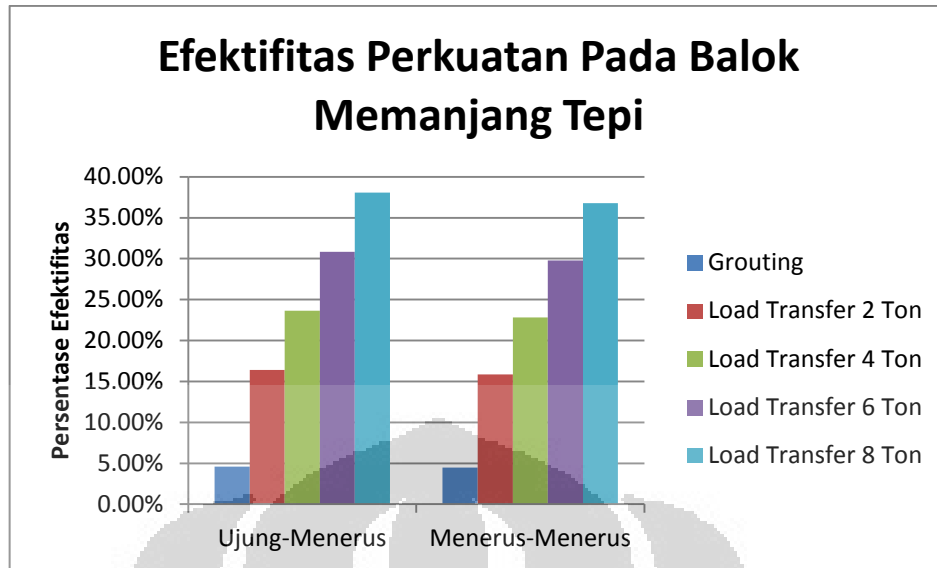
Tabel 4-28 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-81.83	81.83	-82.85	82.85
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-146.568	146.568	-143.596	143.596
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-139.846	139.846	-137.2	137.2
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-122.534	122.524	-120.804	120.804
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-111.944	111.924	-110.804	110.804
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-101.354	101.324	-100.804	100.804
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-90.764	90.724	-90.804	90.804

Dari data gaya dalam geser di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-29 Tabel 4.29. Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	4.59%	4.59%	4.45%	4.45%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	16.40%	16.40%	15.87%	15.87%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	23.62%	23.64%	22.84%	22.84%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	30.85%	30.87%	29.80%	29.80%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	38.07%	38.10%	36.76%	36.76%



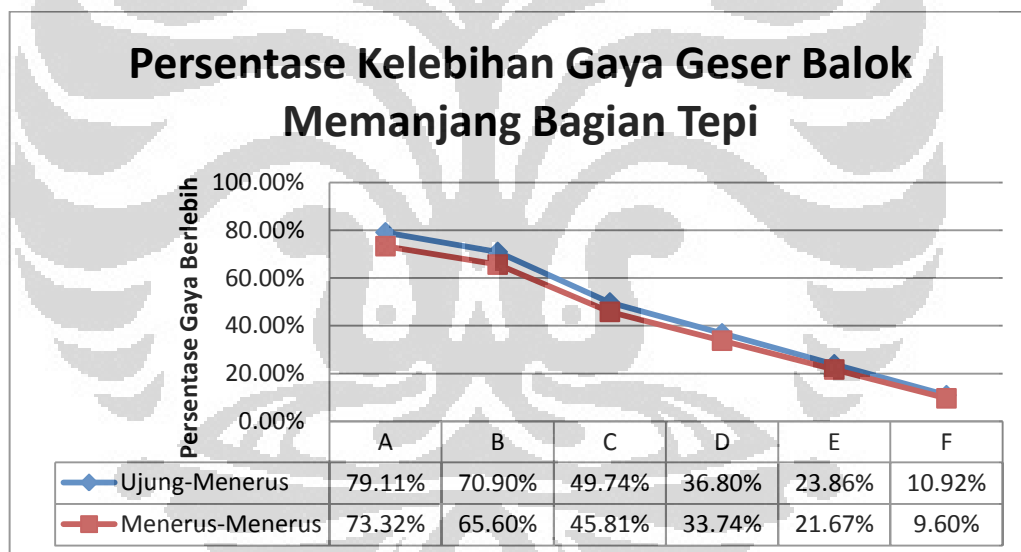
Gambar 4.43 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam geser yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 4.52%, 16.14%, 23.23%, 30.33% dan 37.43%. Hasil persentase efisiensi yang didapat juga menunjukkan penggunaan *load transfer* lebih efektif daripada penggunaan *grouting* saja. Hal tersebut terjadi karena gaya yang dapat direduksi oleh grout lebih terbatas karena hanya beban hidup dan beban mati tambahan yang diberikan setelah proses konstruksi perkuatan dilakukan (bersifat pasif) sedangkan pada perkuatan dengan komponen *load transfer*, gaya dalam yang dapat direduksi bergantung kepada besar gaya pada *load transfer* yang diberikan (bersifat aktif). Kemudian pada perkuatan dengan *load transfer*, celah antara balok beton dan balok baja diberikan local grout sehingga transfer beban berjalan dengan lebih sempurna.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-30 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	79.11%	79.11%	73.32%	73.32%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	70.90%	70.90%	65.60%	65.60%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	49.74%	49.73%	45.81%	45.81%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	36.80%	36.78%	33.74%	33.74%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	23.86%	23.82%	21.67%	21.67%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	10.92%	10.87%	9.60%	9.60%

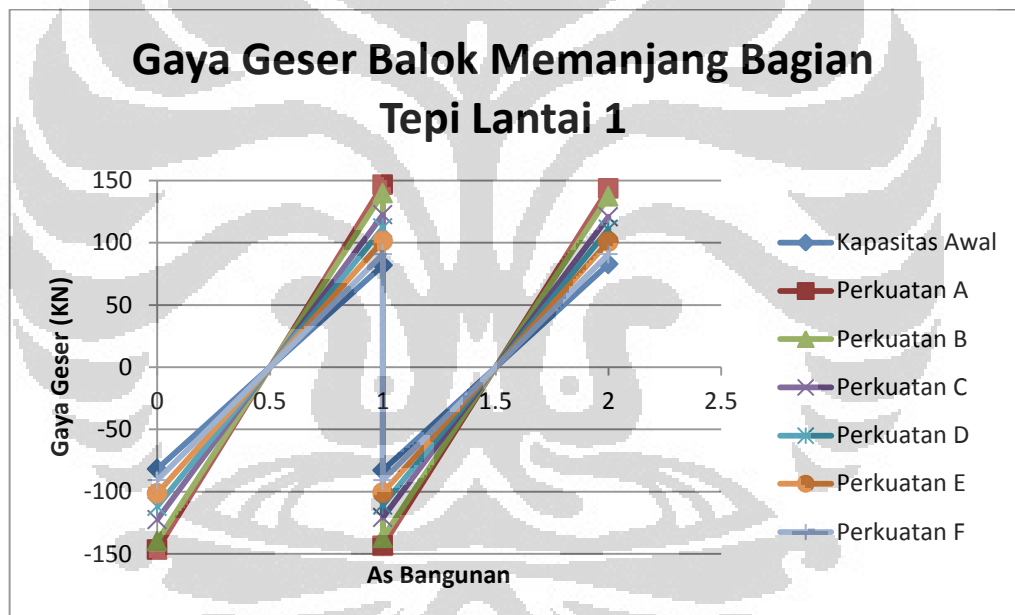


Gambar 4.44 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi (1.2DL + 1.6 LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* hingga variasi gaya 8 ton masih belum dapat mereduksi gaya geser yang diterima balok beton eksisting sesuai dengan kapasitas rencananya awalnya.

Kemudian selain itu, dari grafik kelebihan gaya dalam geser juga dapat dilihat bahwa nilai dari perkuatan dengan balok baja dan *load transfer* membentuk suatu garis yang linear. Hal tersebut disebabkan oleh nilai besar geser yang dapat direduksi ketika diberikan gaya terpusat *load transfer* sebesar $0.5 \times P$.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.45 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi ($1.2DL + 1.6LL$)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam geser akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

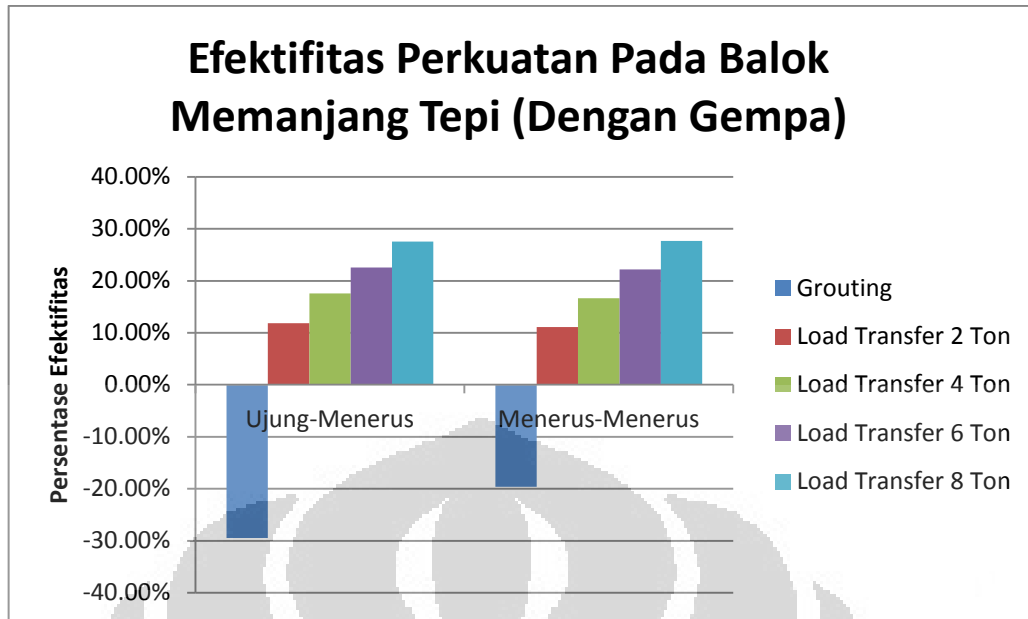
Tabel 4-31 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi
Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-133.409	133.409	-130.152	130.152
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-178.595	193.961	-173.81	188.618
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-240.729	240.729	-216.383	216.383
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-164.043	163.772	-160.931	160.673
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-153.453	153.172	-150.931	150.673
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-144.114	143.839	-140.931	140.673
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-134.884	134.599	-130.931	130.673

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam geser yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-32 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-34.79%	-24.11%	-24.49%	-14.72%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	8.15%	15.56%	7.41%	14.82%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	14.08%	21.03%	13.16%	20.12%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	19.31%	25.84%	18.92%	25.42%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	24.47%	30.61%	24.67%	30.72%



Gambar 4.46 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

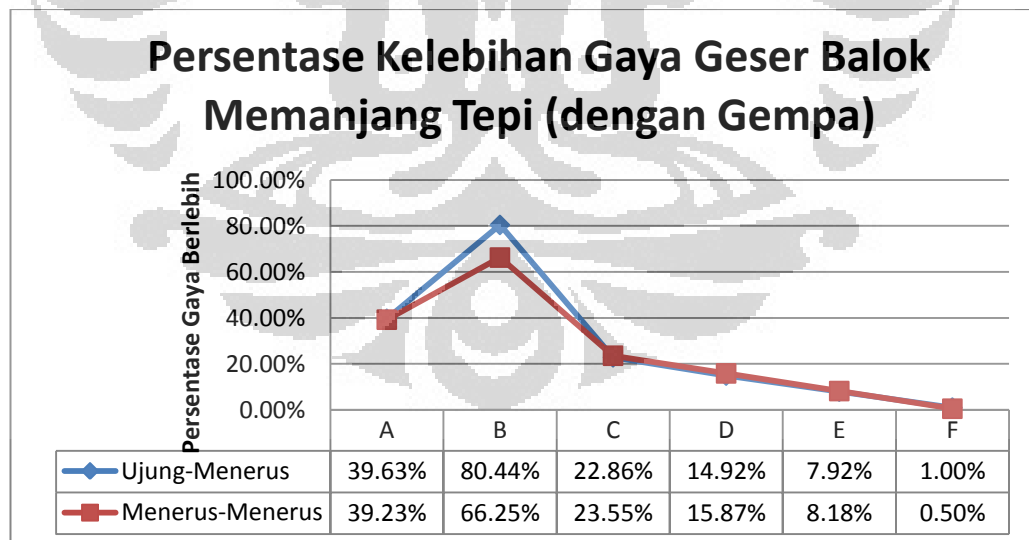
Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -24.53%, 11.48%, 17.10%, 22.37%, dan 27.62%.

Pada tabel efektivitas penggunaan balok baja dan *grouting* akibat kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa bumi, terdapat beberapa persentase efisiensi yang bernilai negatif ($< 0\%$). Hal ini menunjukkan gaya dalam yang dialami balok setelah diberi perkuatan balok baja dan *grouting* lebih besar dibandingkan tanpa diberikan perkuatan (Model 2). Hal ini disebabkan oleh kekakuan bangunan yang diberi perkuatan balok baja dan *grouting* lebih besar sehingga gaya gempa yang diterima pun lebih besar. Akan tetapi, pada perkuatan dengan balok baja dan *load transfer*, nilai efektivitas dari perkuatan sudah positif. Hal tersebut terjadi karena periode getar pertama permodelan dengan *load transfer* hampir sama dengan permodelan portal beton dengan $LL = 10 \text{ kN/m}^2$ sehingga gaya dalam momen pada balok yang diakibatkan oleh beban gempa antara kedua jenis permodelan tersebut hampir sama. Karena momen akibat beban gempa tersebut hampir sama, maka *load transfer* efektif dapat mereduksi momen lentur yang ada dalam balok beton.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-33 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

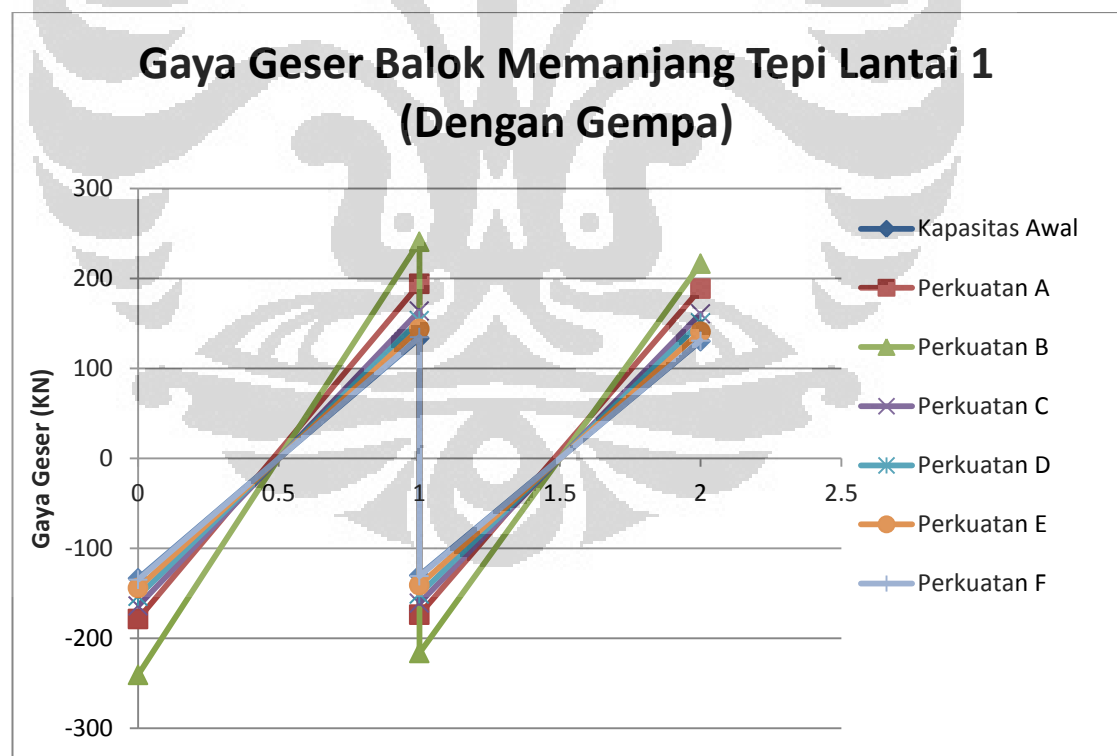
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	33.87%	45.39%	33.54%	44.92%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	80.44%	80.44%	66.25%	66.25%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	22.96%	22.76%	23.65%	23.45%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	15.02%	14.81%	15.97%	15.77%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	8.02%	7.82%	8.28%	8.08%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	1.11%	0.89%	0.60%	0.40%



Gambar 4.47 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang positif. Akan tetapi nilai kelebihan gaya geser hanya sebesar kurang dari 2% sehinggakelebihan gaya geser yang kecil tersebut dapat diabaikan dan dianggap bernilai sebesar 0% sehingga balok beton dapat menahan gaya geser akibat penambahan beban hidup.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.48 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.5.2 Balok Memanjang Bagian Tengah

Berikut ini adalah tabel gaya dalam geser yang diterima balok memanjang bagian tengah pada seluruh permodelan:

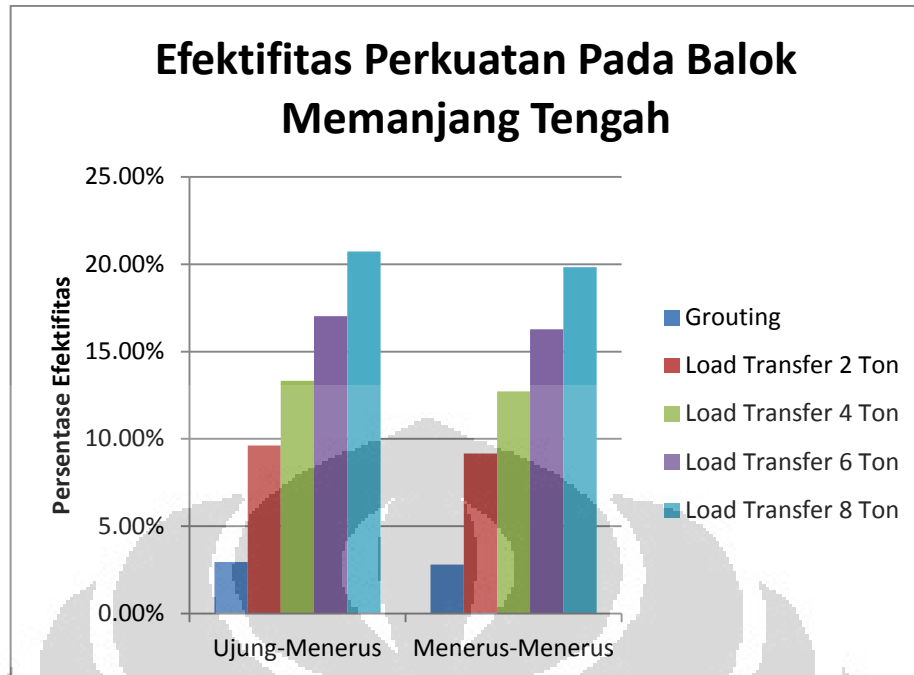
Tabel 4-34 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-138.66	138.66	-140.62	140.62
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-287.4	287.4	-281.04	281.04
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-278.906	278.906	-273.168	273.168
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-259.762	259.802	-255.296	255.286
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-249.112	249.192	-245.296	245.276
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-238.462	238.582	-235.296	235.266
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-227.812	227.972	-225.296	225.256

Dari data gaya dalam geser di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan:

Tabel 4-35 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	2.96%	2.96%	2.80%	2.80%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	9.62%	9.60%	9.16%	9.16%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	13.32%	13.29%	12.72%	12.73%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	17.03%	16.99%	16.28%	16.29%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	20.73%	20.68%	19.83%	19.85%



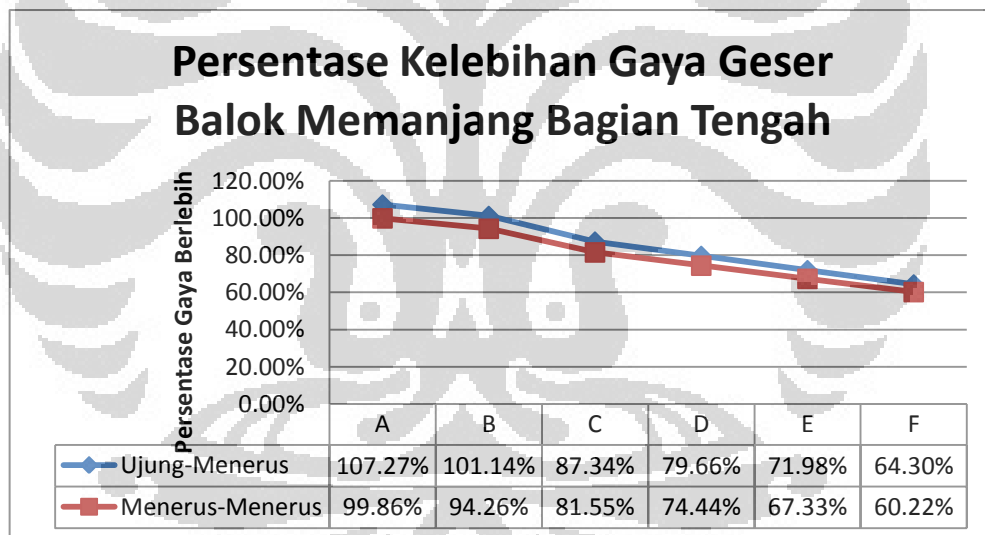
Gambar 4.49 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam geser yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 2.88%, 9.39%, 13.02%, 16.64%, dan 20.27%.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-36 . Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

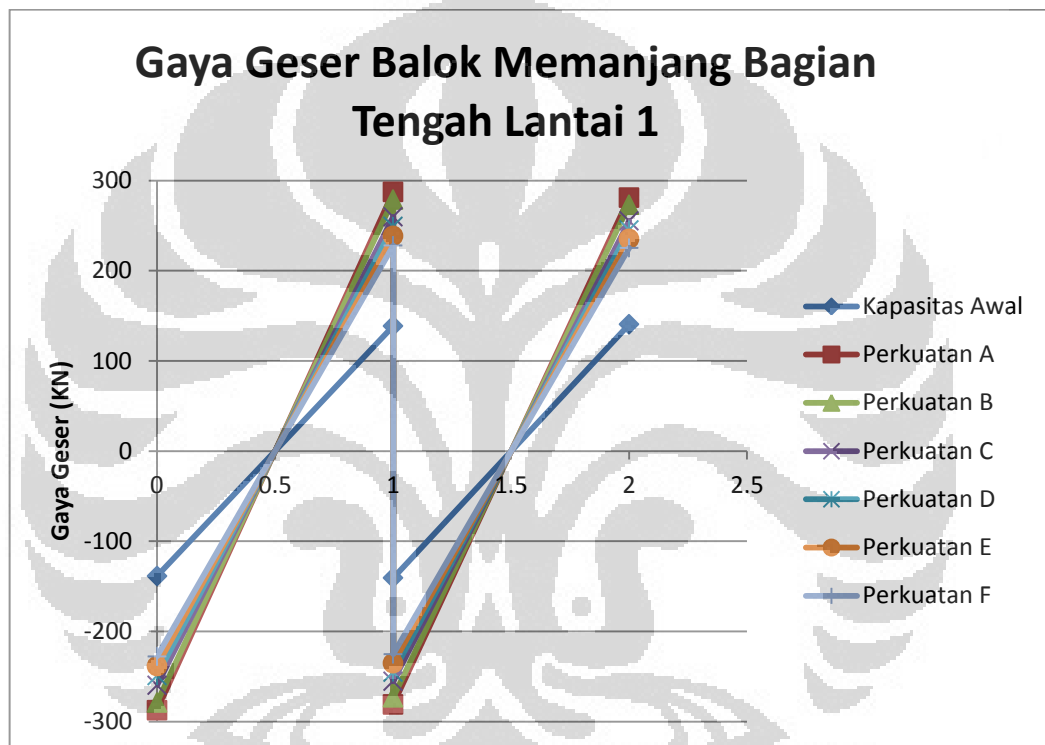
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	107.27%	107.27%	99.86%	99.86%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	101.14%	101.14%	94.26%	94.26%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	87.34%	87.37%	81.55%	81.54%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	79.66%	79.71%	74.44%	74.42%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	71.98%	72.06%	67.33%	67.31%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	64.30%	64.41%	60.22%	60.19%



Gambar 4.50 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah (1.2DL + 1.6 LL)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* hingga variasi gaya 8 ton masih belum dapat mereduksi gaya geser yang diterima balok beton eksisting sesuai dengan kapasitas rencananya awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.51 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam geser akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

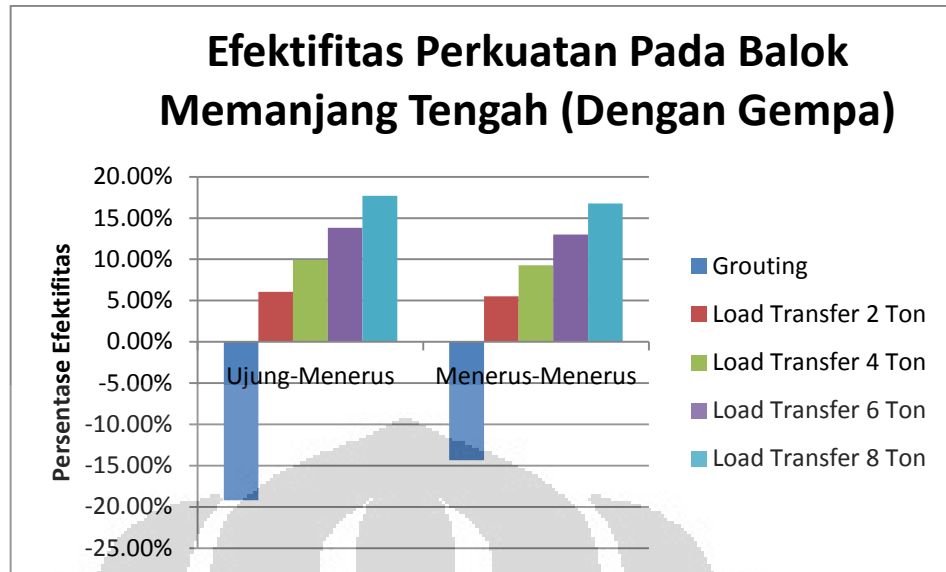
Tabel 4-37 Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-177.904	177.904	-174.261	174.261
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-273.822	273.822	-267.202	267.202
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-326.363	326.363	-305.545	305.545
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-257.102	257.41	-252.396	252.471
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-246.452	246.8	-242.396	242.461
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-235.802	236.19	-232.396	232.451
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-225.152	225.58	-222.396	222.441

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam geser yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-38 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-19.19%	-19.19%	-14.35%	-14.35%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	6.11%	5.99%	5.54%	5.51%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	10.00%	9.87%	9.28%	9.26%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	13.88%	13.74%	13.03%	13.01%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	17.77%	17.62%	16.77%	16.75%



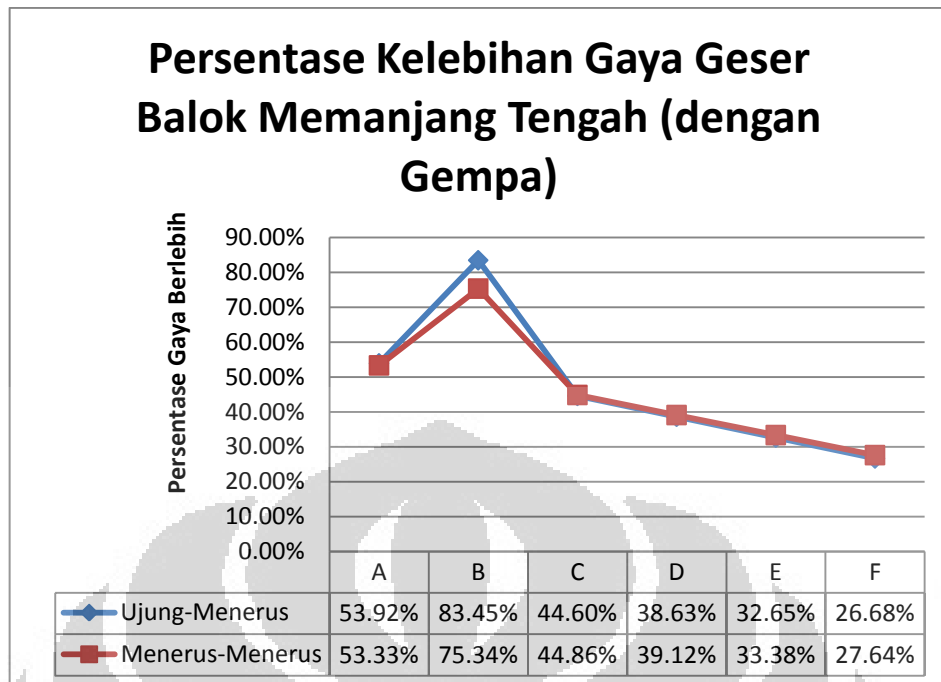
Gambar 4.52 Efektifitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektifitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -16.77%, 5.79%, 9.6%, 13.41%, dan 17.23%.

Selain efektifitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-39 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

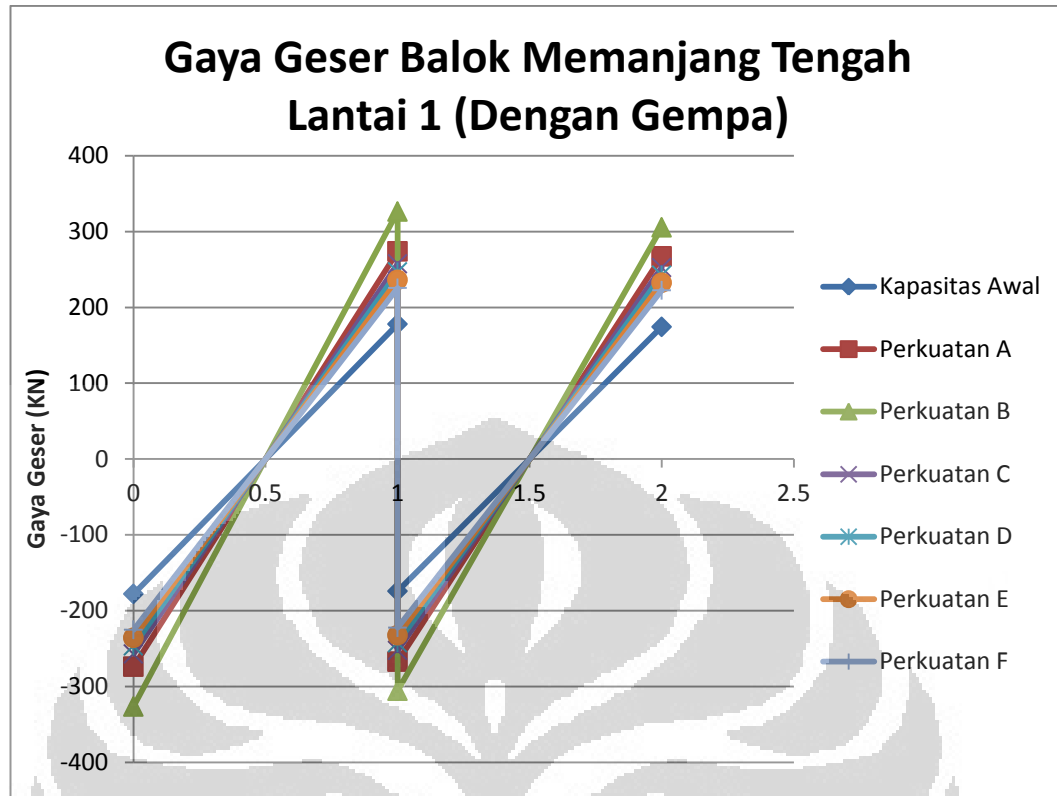
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	53.92%	53.92%	53.33%	53.33%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	83.45%	83.45%	75.34%	75.34%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	44.52%	44.69%	44.84%	44.88%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	38.53%	38.73%	39.10%	39.14%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	32.54%	32.76%	33.36%	33.39%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	26.56%	26.80%	27.62%	27.65%



Gambar 4.53 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Memanjang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

Dari tabel dan kedua grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus masih memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang positif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* hingga variasi gaya 8 ton masih belum dapat mereduksi gaya geser yang diterima balok beton eksisting sesuai dengan kapasitas rencananya awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.54 Gaya Dalam Geser Balok Memanjang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.5.3 Balok Melintang Bagian Tepi

Berikut ini adalah tabel gaya dalam geser yang diterima balok melintang bagian tepi pada seluruh permodelan:

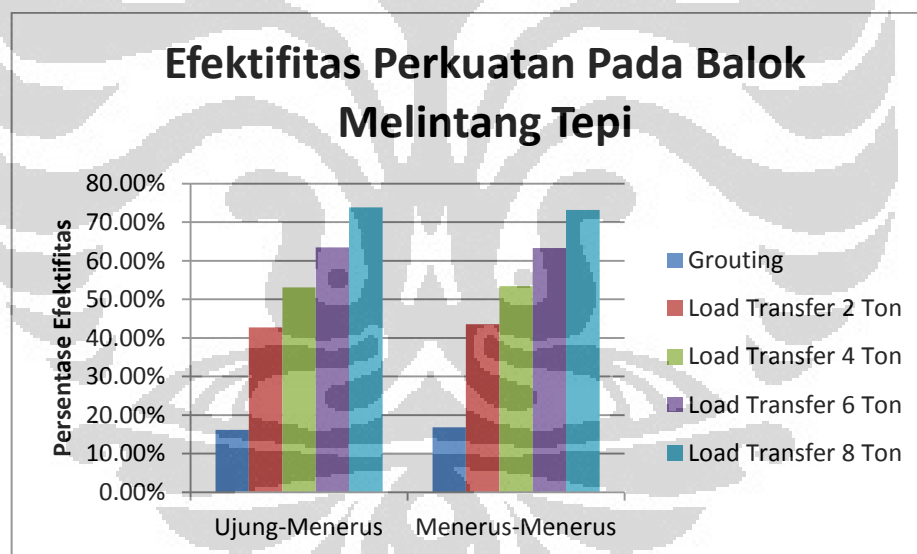
Tabel 4-40 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi ($1.2DL + 1.6LL$)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser			
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan $LL = 2.5 \text{ kN/m}^2$)	-61.71	61.71	-62.19	62.19
Portal Beton dengan $LL = 10 \text{ kN/m}^2$)	-103.984	103.984	-102.052	102.052
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-87.153	87.1538	-84.8772	84.8772
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-59.532	59.5336	-57.6224	57.6224
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-48.742	48.7436	-47.5424	47.5424
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-37.952	37.9536	-37.4624	37.4624
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-27.162	27.1636	-27.3824	27.3824

Dari data gaya dalam geser di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load transfer* dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-41 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	16.19%	16.19%	16.83%	16.83%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	42.75%	42.75%	43.54%	43.54%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	53.13%	53.12%	53.41%	53.41%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	63.50%	63.50%	63.29%	63.29%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	73.88%	73.88%	73.17%	73.17%



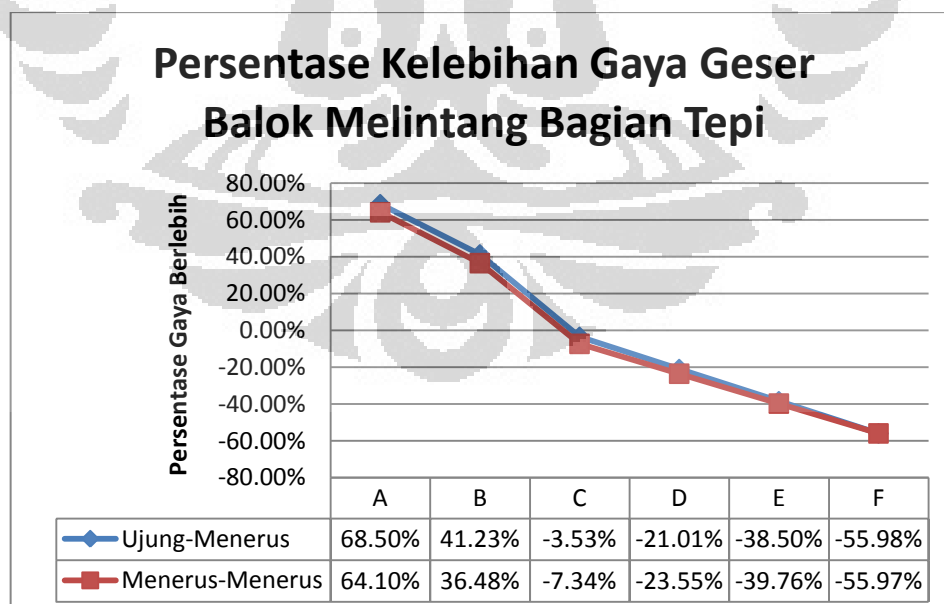
Gambar 4.55 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + LL ± Gempa)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif (> 0%). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam geser yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 16.51%, 43.14%, 53.27%, 63.4%, dan 73.52%.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-42 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

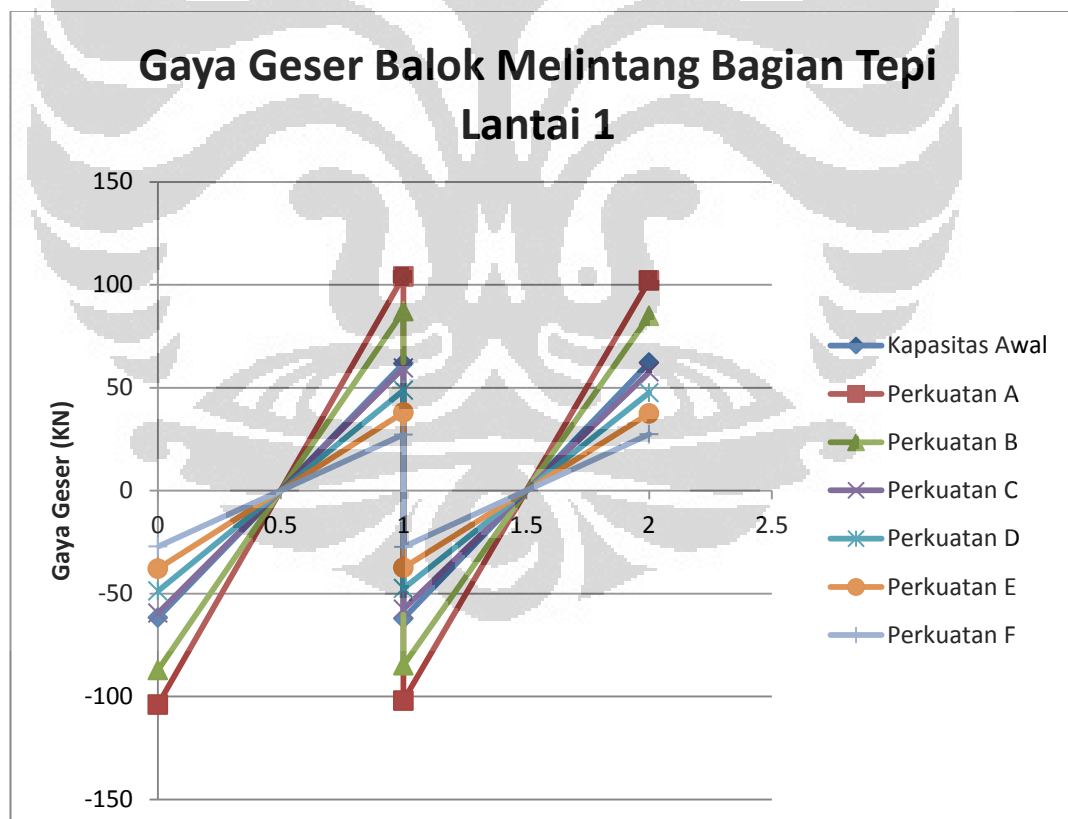
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	68.50%	68.50%	64.10%	64.10%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	41.23%	41.23%	36.48%	36.48%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-3.53%	-3.53%	-7.34%	-7.34%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-21.01%	-21.01%	-23.55%	-23.55%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-38.50%	-38.50%	-39.76%	-39.76%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-55.98%	-55.98%	-55.97%	-55.97%



Gambar 4.56 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi (1.2DL + 1.6LL)

Dari tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 2 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 2 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentuk, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.57 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam geser akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

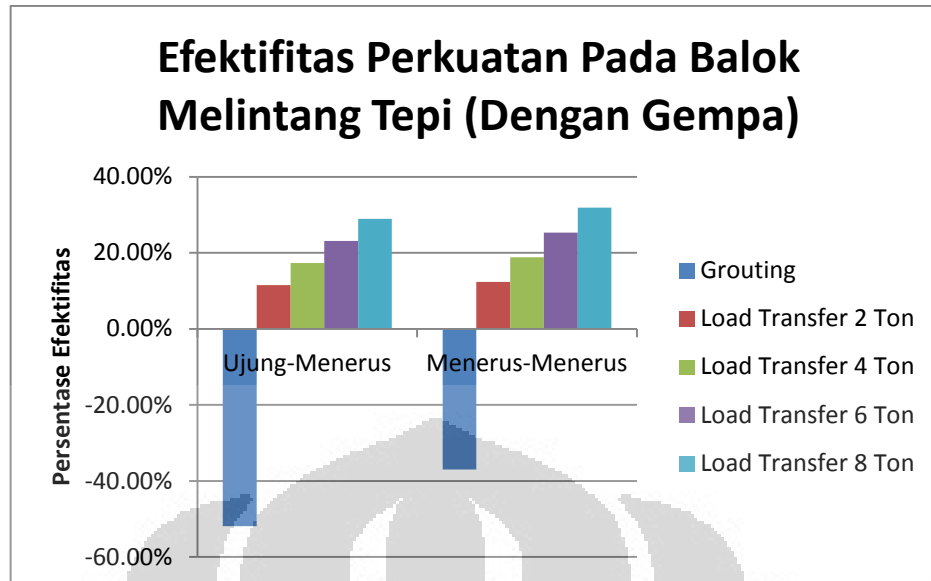
Tabel 4-43 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-125.807	125.807	-122.689	122.689
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-159.17	159.17	-154.82	154.82
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-235.411	248.1131	-185.381	238.799
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-141.127	140.428	-135.931	135.471
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-131.917	131.218	-125.851	125.391
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-122.707	122.008	-115.771	115.311
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-113.497	112.798	-105.691	105.231

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam geser yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-44 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-47.90%	-55.88%	-19.74%	-54.24%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	11.34%	11.77%	12.20%	12.50%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	17.12%	17.56%	18.71%	19.01%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	22.91%	23.35%	25.22%	25.52%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	28.69%	29.13%	31.73%	32.03%



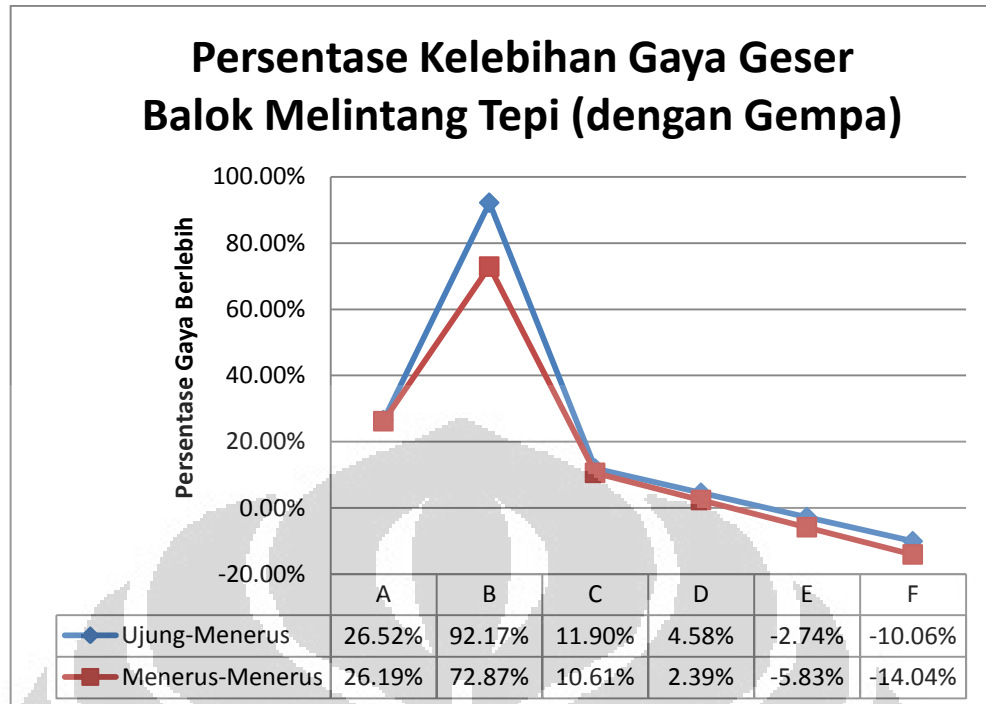
Gambar 4.58 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -44.44%, 11.95%, 18.1%, 24.25%, dan 30.4%.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-45 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa(1.2DL + LL ± Gempa)

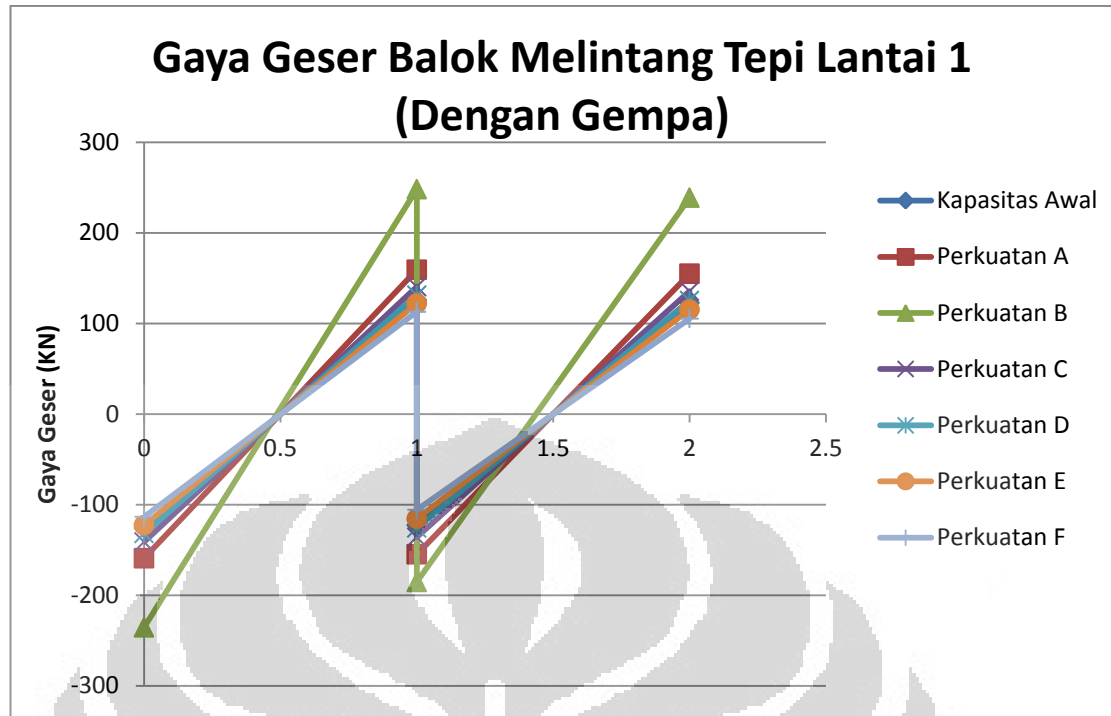
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	26.52%	26.52%	26.19%	26.19%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	87.12%	97.22%	51.10%	94.64%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	12.18%	11.62%	10.79%	10.42%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	4.86%	4.30%	2.58%	2.20%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-2.46%	-3.02%	-5.64%	-6.01%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-9.78%	-10.34%	-13.85%	-14.23%



Gambar 4.59 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tepi Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 6 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 6 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.60 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tepi dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

4.5.4 Balok Melintang Bagian Tengah

Berikut ini adalah tabel gaya dalam geser yang diterima balok melintang bagian tepi pada seluruh permodelan:

Tabel 4-46 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi ($1.2DL + 1.6 LL$)

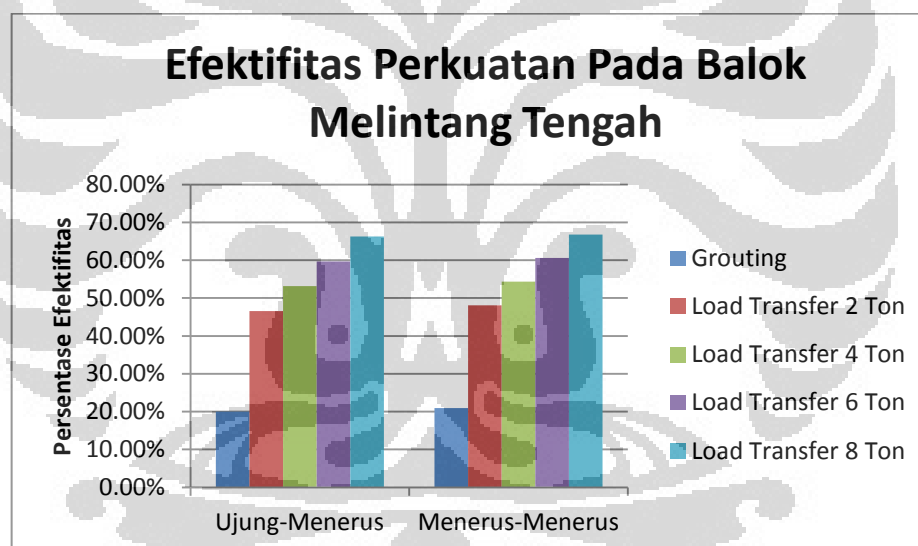
Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser			
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan $LL = 2.5 \text{ kN/m}^2$)	-81.45	81.45	-81.87	81.87
Portal Beton dengan $LL = 10 \text{ kN/m}^2$)	-164.908	164.908	-161.6	161.6
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-131.87	131.8698	-127.779	127.7794
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-88.0414	88.0416	-83.877	83.8788
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-77.2514	77.2516	-73.797	73.7988
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-66.4614	66.4616	-63.717	63.7188
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-55.6714	55.6716	-53.637	53.6388

Dari data gaya dalam geser di atas, nilai efektivitas dari penggunaan perkuatan portal beton dengan balok baja di lantai 1 dengan *grouting* atau *load*

transfer dengan beberapa variasi gaya dapat didapatkan sesuai dengan cara perhitungan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan

Tabel 4-47 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	20.03%	20.03%	20.93%	20.93%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	46.61%	46.61%	48.10%	48.09%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	53.15%	53.15%	54.33%	54.33%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	59.70%	59.70%	60.57%	60.57%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	66.24%	66.24%	66.81%	66.81%



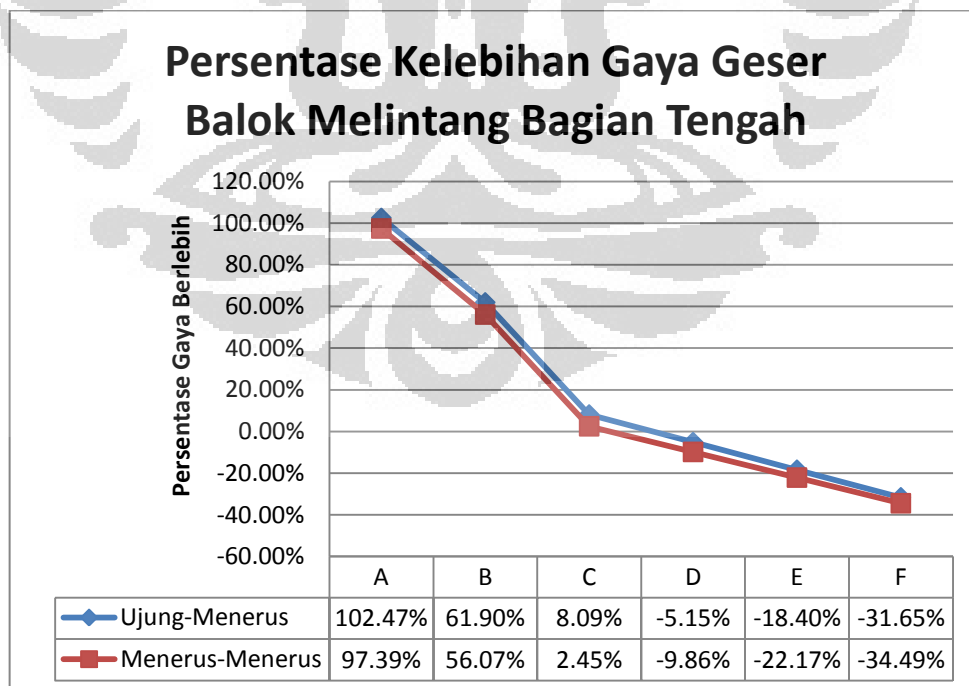
Gambar 4.61 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Pada tabel dan grafik di atas, persentase efisiensi yang didapat bernilai positif ($> 0\%$). Hal ini menunjukkan bahwa perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam geser yang seharusnya diterima balok beton. Efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut 20.48%, 47.35%, 53.74%, 60.13%, dan 66.52%.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya dengan cara perhitungan setelah yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-48 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

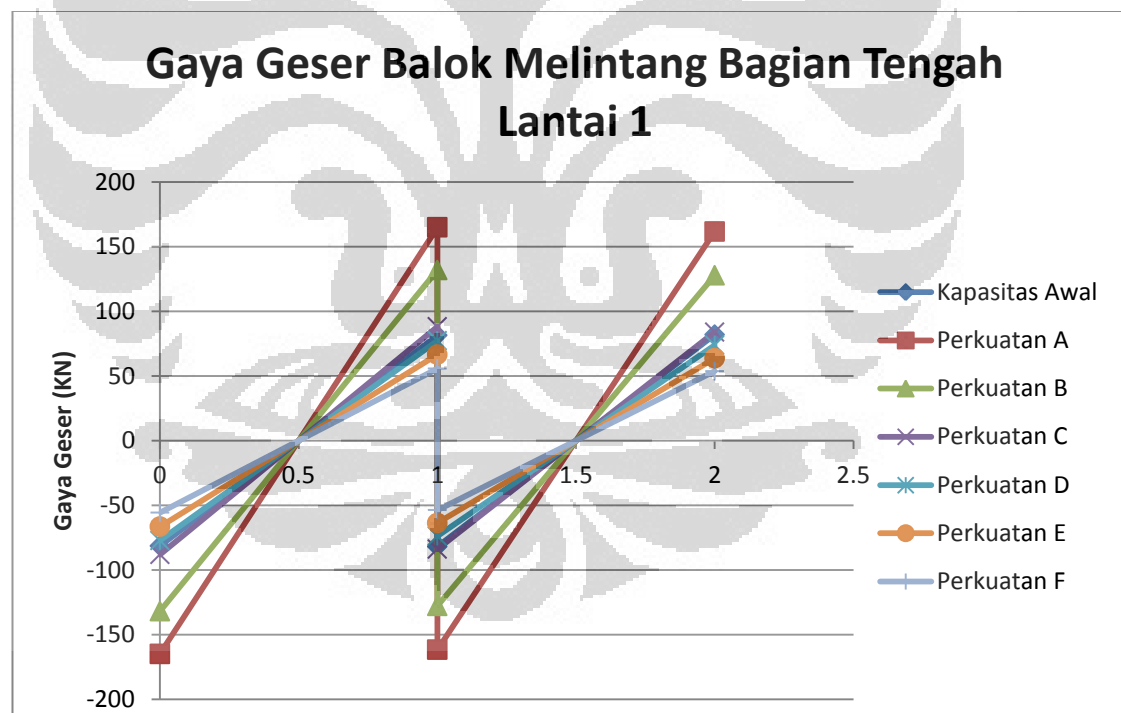
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	102.47%	102.47%	97.39%	97.39%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	61.90%	61.90%	56.07%	56.08%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	8.09%	8.09%	2.45%	2.45%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-5.15%	-5.15%	-9.86%	-9.86%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-18.40%	-18.40%	-22.17%	-22.17%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-31.65%	-31.65%	-34.49%	-34.48%



Gambar 4.62 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah (1.2DL + 1.6 LL)

Dari tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 4 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 4 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentuk, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.63 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi (1.2DL + 1.6 LL)

Kemudian, setelah dianalisa dengan menggunakan beban gravitasi saja, struktur juga harus dianalisa dengan menggunakan kombinasi beban gravitasi dan gempa dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang telah dijelaskan sebelumnya. Berikut ini gaya dalam geser akibat pembebanan gravitasi dan gempa untuk seluruh permodelan.

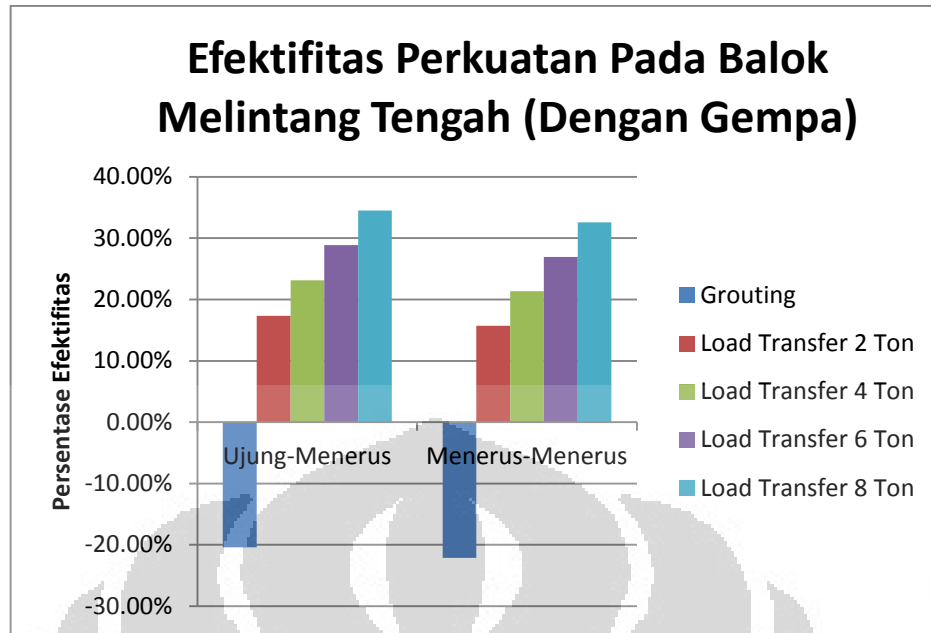
Tabel 4-49 Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Gaya Geser		Gaya Geser	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-129.702	129.702	-127.087	127.087
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-187.331	187.331	-182.653	176.856
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-202.272	248.9134	-196.476	241.6598
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-154.811	154.8106	-151.444	151.4446
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-144.021	144.0206	-141.364	141.3646
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-133.231	133.2306	-131.284	131.2846
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-122.704	122.7036	-121.204	121.2046

Dengan cara yang sama seperti analisa dengan menggunakan beban gravitasi, data gaya dalam geser yang sebelumnya didapatkan dapat dianalisa dan didapatkan efektivitas dari perkuatan tersebut. Berikut ini nilai efektivitas dari setiap perkuatan yang diberikan.

Tabel 4-50 Efektivitas Perkuatan dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Lantai 1 Akibat pembebanan Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
	Efektivitas		Efektivitas	
	LSU	RSU	LSU	RSU
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-7.98%	-32.87%	-7.57%	-36.64%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	17.36%	17.36%	17.09%	14.37%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	23.12%	23.12%	22.61%	20.07%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	28.88%	28.88%	28.12%	25.77%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	34.50%	34.50%	33.64%	31.47%



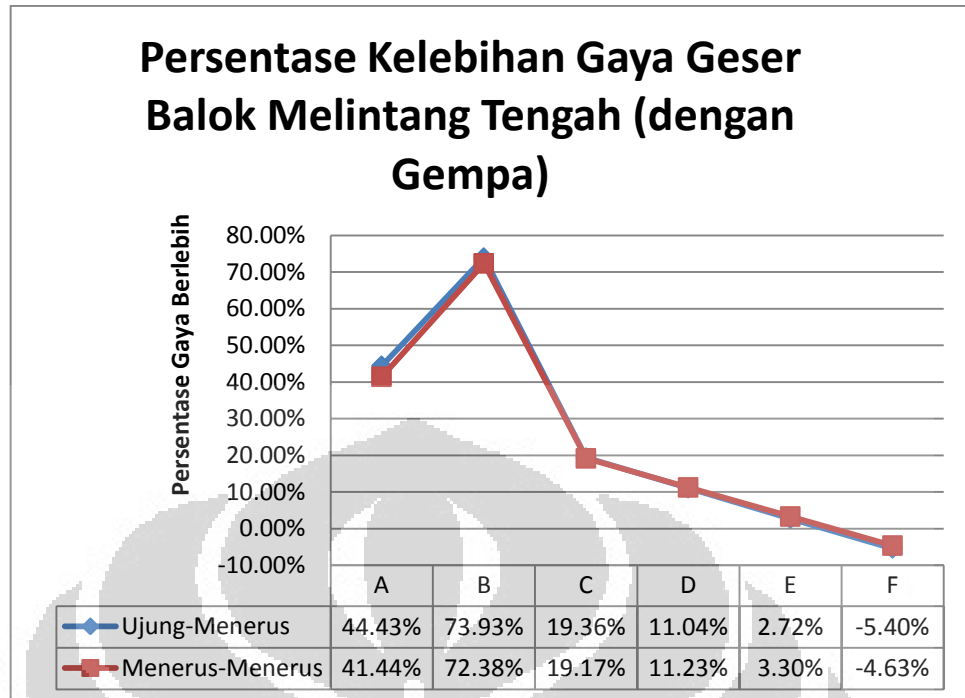
Gambar 4.64 Efektivitas Perkuatan Dalam Mereduksi Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

Dari kedua tabel dan diagram di atas, efektivitas pada balok bagian perletakan kiri/kanan dengan perkuatan balok baja dengan *grouting* dan variasi gaya *load transfer* berturut-turut -21.26%, 16.54%, 22.23%, 27.91%, dan 33.53%.

Selain efektivitas, data gaya dalam yang telah didapatkan dapat diolah menjadi data kelebihan gaya. Berikut adalah data tabel dan grafik kelebihan gaya dari setiap permodelan.

Tabel 4-51 Persentase Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm Gempa$)

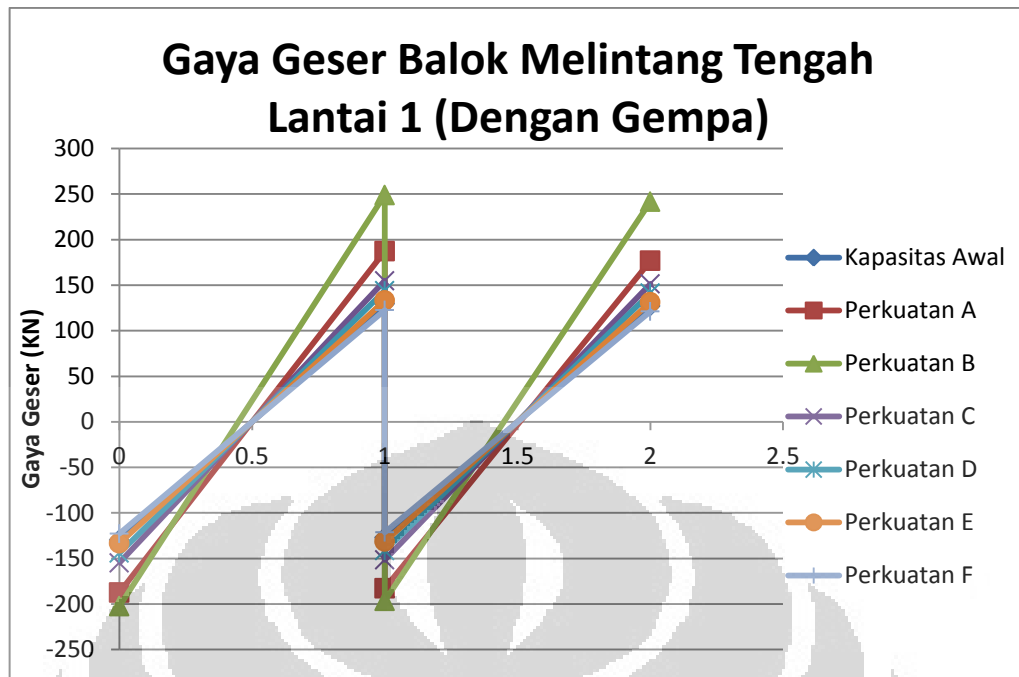
Notasi	Perkuatan	Ujung-Menerus		Menerus-Menerus	
		Persentase Kelebihan Gaya		Persentase Kelebihan Gaya	
		LSU	RSU	LSU	RSU
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	44.43%	44.43%	43.72%	39.16%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	55.95%	91.91%	54.60%	90.15%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	19.36%	19.36%	19.17%	19.17%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	11.04%	11.04%	11.23%	11.23%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	2.72%	2.72%	3.30%	3.30%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-5.40%	-5.40%	-4.63%	-4.63%



Gambar 4.65 Grafik Kelebihan Gaya Dalam Geser pada Balok Melintang Tengah Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari tabel dan grafik di atas, terlihat bahwa ketika variabel besar gaya *load transfer* yang digunakan sebesar 8 ton, balok beton baik pada sisi ujung-menerus dan menerus-menerus memiliki nilai persentase kelebihan gaya geser yang negatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan dengan balok baja dengan *load transfer* 8 ton dapat mereduksi momen yang diterima balok beton eksisting hingga lebih kecil dari kapasitas rencana awalnya.

Setelah itu, gaya-gaya dalam geser dari seluruh permodelan yang digunakan digambarkan. Jika ada gaya dalam struktur yang telah diberi perkuatan yang berada di dalam (tidak melampaui) gaya dalam ketika struktur eksisting diberikan beban awal, maka perkuatan tersebut dapat menahan gaya dalam geser akibat pembebanan yang baru. Untuk menyederhanakan penyajian, maka gaya dalam hanya disajikan dalam dua bentang, yaitu balok jenis ujung-menerus di sebelah kiri dan menerus-menerus di sebelah kanan.



Gambar 4.66 Gaya Dalam Geser Balok Melintang Bagian Tengah dari Setiap Permodelan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa ($1.2DL + LL \pm$ Gempa)

Dari perhitungan momen dan geser akibat pembebanan gravitasi dan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa, jenis variasi gaya pada *load transfer* yang efektif dapat didapatkan.

Tabel 4-52 Penggunaan *Load transfer* yang Efektif Akibat Pembebanan Gravitasi ($1.2 DL + 1.6 LL$)

Balok	Gravitasi ($1.2 DL + 1.6 LL$)			Load transfer yang Digunakan
	Momen		Geser	
	Tumpuan	Lapangan		
Memanjang Tepi	8 Ton	6 Ton	>8 Ton	>8 Ton
Memanjang Tengah	> 8 Ton	> 8 Ton	> 8 Ton	>8 Ton
Melintang Tepi	4 Ton	2 Ton	2 Ton	4 Ton
Melintang Tengah	8 Ton	4 Ton	4 Ton	8 Ton

Pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa *load transfer* memiliki efektivitas yang lebih besar dalam menahan gaya yang ada di lapangan serta gaya geser. Kemudian pada jenis balok memanjang tengah, keseluruhan gaya dalam momen dan geser harus menggunakan *load transfer* yang memiliki gaya di atas 8 ton. Hal terjadi karena balok memanjang tengah menerima beban yang lebih besar akibat gaya yang diterima dari balok anak.

Tabel 4-53 Penggunaan *Load transfer* yang Efektif Akibat Pembebanan Gravitasi (1.2 DL + LL ± Gempa)

Balok	Gravitasi dan Gempa (1.2 DL + LL ± Gempa)			Load transfer yang Digunakan
	Momen		Geser	
	Tumpuan	Lapangan		
Memanjang Tepi	8 Ton	4 Ton	8 Ton	8 Ton
Memanjang Tengah	> 8 Ton	8 Ton	> 8 Ton	>8 Ton
Melintang Tepi	6 Ton	Grout	4 Ton	6 Ton
Melintang Tengah	4 Ton	2 Ton	6 Ton	6 Ton

Hal yang sama pun terjadi pada pembebanan akibat beban gravitasi dan gempa. Gaya momen dan geser di daerah tumpuan membutuhkan *load transfer* yang lebih besar dibandingkan momen di daerah lapangan

4.6 Gaya Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Kombinasi Pembebanan Gravitasi dan Gempa Bumi

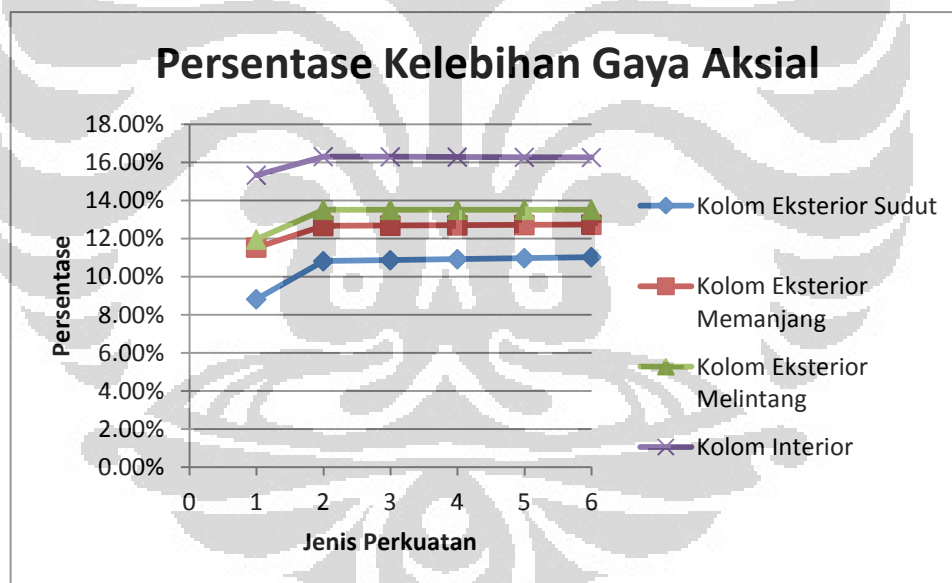
Berikut ini gaya dalam aksial pada kolom lantai 1 pada perletakan bawah akibat berbagai macam permodelan dan jenis kolom akibat pembebanan gravitasi:

Tabel 4-54 Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Permodelan (1.2DL + 1.6LL)

Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
	P	P	P	P
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-1152.252	-1767.676	-1849.344	-2898.224
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-1253.836	-1971.5	-2070.368	-3342.368
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-1276.822	-1991.482	-2099.264	-3370.686
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-1277.442	-1991.782	-2099.264	-3370.346
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-1278.062	-1992.082	-2099.264	-3370.006
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-1278.682	-1992.382	-2099.264	-3369.666
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-1279.302	-1992.682	-2099.264	-3369.326

Tabel 4-55 Kelebihan Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + 1.6LL)

Notasi	Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
		Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial
1	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	8.82%	11.53%	11.95%	15.32%
2	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	10.81%	12.66%	13.51%	16.30%
3	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	10.86%	12.68%	13.51%	16.29%
4	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	10.92%	12.69%	13.51%	16.28%
5	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	10.97%	12.71%	13.51%	16.27%
6	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	11.03%	12.73%	13.51%	16.25%



Gambar 4.67 Kelebihan Gaya Aksial Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan (1.2DL + 1.6LL)

Pada tabel gaya dalam aksial dan gambar kelebihan gaya dalam, dapat diperhatikan terjadi kenaikan antara struktur yang menggunakan beban hidup 2.5 kN/m² dengan struktur yang telah diberikan tambahan beban hidup di lantai 1 menjadi 10 kN/m² tetapi belum menggunakan kekuatan. Kemudian gaya aksial tersebut naik kembali ketika struktur telah diberikan perkuatan di lantai 1 berupa

balok baja dengan *grouting* atau *load transfer*. Kenaikan tersebut berasal dari berat perkuatan tambahan yang diberikan pada balok beton lantai 1.

Selain itu, gaya aksial yang diterima kolom lantai 1 setelah diberikan perkuatan balok baja dengan *grouting* atau *load transfer* hampir sama satu dengan yang lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkuatan yang diberikan tidak berpengaruh terhadap gaya dalam aksial kolom. Hal itu disebabkan karena gaya aksial tarik yang ada di dalam *grouting* maupun *load transfer* yang kemudian menekan permukaan bawah balok baja dan permukaan atas balok beton sama. Perbedaan gaya aksial dari perkuatan yang diberikan bervariasi antara 0 – 2 KN. Variasi tersebut berasal dari lendutan dari balok beton maupun balok baja yang berbeda-beda. Karena lendutan yang didapatkan kecil, maka variasi tersebut juga kecil dan dapat diabaikan.

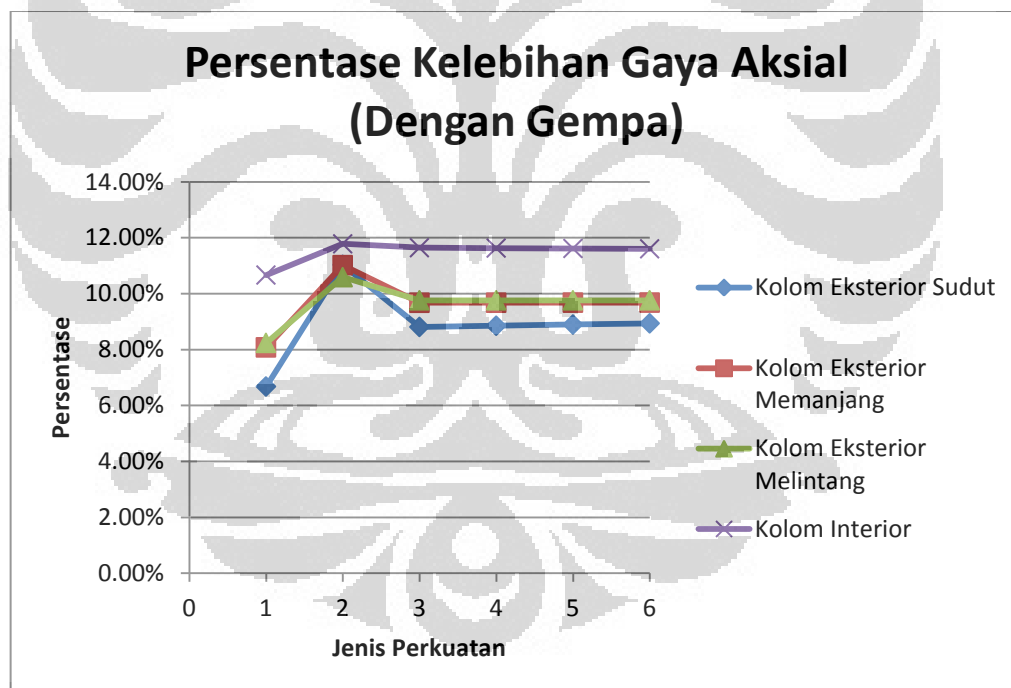
Setelah menganalisa gaya aksial kolom akibat beban gravitasi saja, gaya aksial kolom juga dianalisa dengan menggunakan kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa. Berikut ini gaya dalam aksial pada kolom lantai 1 bagian perletakan bawah akibat berbagai macam permodelan dan jenis kolom akibat pembebanan gravitasi dan gempa.

Tabel 4-56 Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
	P	P	P	P
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-1447.045	-1937.74	-1951.758	-2611.338
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-1543.718	-2094.315	-2112.597	-2889.926
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-1606.711	-2151.281	-2158.511	-2919.063
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-1574.556	-2125.249	-2142.34	-2915.431
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-1575.176	-2125.289	-2142.34	-2915.091
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-1575.796	-2125.329	-2142.34	-2914.751
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-1576.416	-2125.369	-2142.34	-2914.411

Tabel 4-57 Kelebihan Gaya Dalam Aksial Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
		Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial	Kelebihan Aksial
1	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	6.68%	8.08%	8.24%	10.67%
2	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	11.03%	11.02%	10.59%	11.78%
3	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	8.81%	9.68%	9.76%	11.65%
4	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	8.85%	9.68%	9.76%	11.63%
5	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	8.90%	9.68%	9.76%	11.62%
6	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	8.94%	9.68%	9.76%	11.61%



Gambar 4.68 Kelebihan Gaya Aksial Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Sama seperti gaya aksial dengan beban gravitasi, perkuatan dengan menggunakan *grouting* dan *load transfer* tidak mempengaruhi gaya aksial pada kolom. Akan tetapi dari tabel tersebut, terlihat gaya aksial pada perkuatan dengan menggunakan balok baja dan *grouting* memiliki gaya

aksial yang lebih tinggi. Hal tersebut diakibatkan kekakuan dari struktur tersebut yang lebih tinggi sehingga gaya lateral yang diterima struktur tersebut menjadi lebih besar yang kemudian berpengaruh terhadap gaya aksial kolom.

4.7 Gaya Dalam Momen Pada Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa

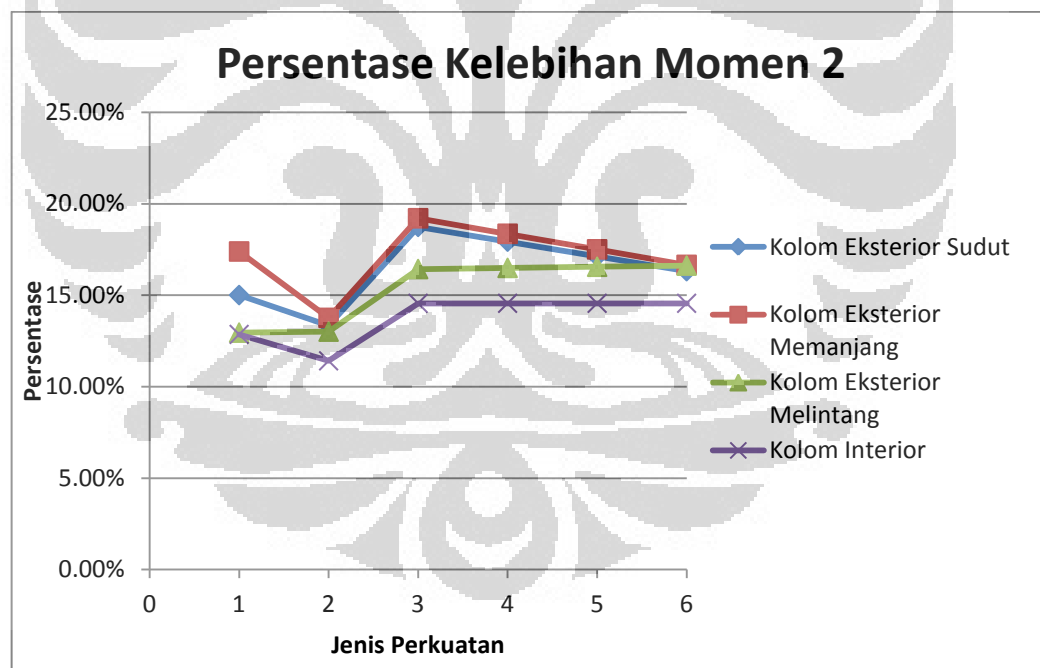
Pada pengecekan gaya dalam momen pada kolom ini pembebanan yang digunakan adalah kombinasi pembebanan gravitasi dan gempa karena pada momen kolom lebih dominan berasal dari gaya lateral yang merupakan gaya gempa pada bangunan. Momen dari kolom dibedakan menjadi dua yaitu momen pada arah M2 dan M3. Berikut ini gaya dalam M2 pada kolom lantai 1 bagian perletakan bawah akibat berbagai macam permodelan dan jenis kolom akibat pembebanan gravitasi dan gempa:

Tabel 4-58 Gaya Dalam M2 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
	M2	M2	M2	M2
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	402.9254	380.5876	425.0566	392.9834
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	463.3882	446.7685	480.1185	443.5071
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	456.6828	432.9453	480.351	437.8219
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	478.4183	453.6841	494.8946	450.1837
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	475.1653	450.4491	495.1616	450.1837
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	471.9123	447.2141	495.4286	450.1837
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	468.6593	443.9791	495.6956	450.1837

Tabel 4-59 Kelebihan Gaya Dalam Momen M2 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
		Kelebihan M2	Kelebihan M2	Kelebihan M2	Kelebihan M2
1	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	15.01%	17.39%	12.95%	12.86%
2	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	13.34%	13.76%	13.01%	11.41%
3	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	18.74%	19.21%	16.43%	14.56%
4	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	17.93%	18.36%	16.49%	14.56%
5	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	17.12%	17.51%	16.56%	14.56%
6	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	16.31%	16.66%	16.62%	14.56%



Gambar 4.69 Kelebihan Momen M2 Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Pada tabel dan grafik di atas, terlihat perkuatan dengan *load transfer* dan *grouting* tidak mempengaruhi besarnya momen M2 pada kolom. Sekilas terlihat bahwa pada kolom eksterior sudut dan kolom eksterior memanjang terjadi penurunan kelebihan momen dan terkesan memberikan efektivitas. Akan tetapi jika diteliti lebih lanjut, pengurangan momen oleh *load transfer* sangat kecil yaitu hanya sekitar 3 kNm saja atau 0.8% untuk setiap kelipatan gaya *load transfer* sebesar 2 ton sehingga bisa diasumsikan tidak memberikan efektivitas.

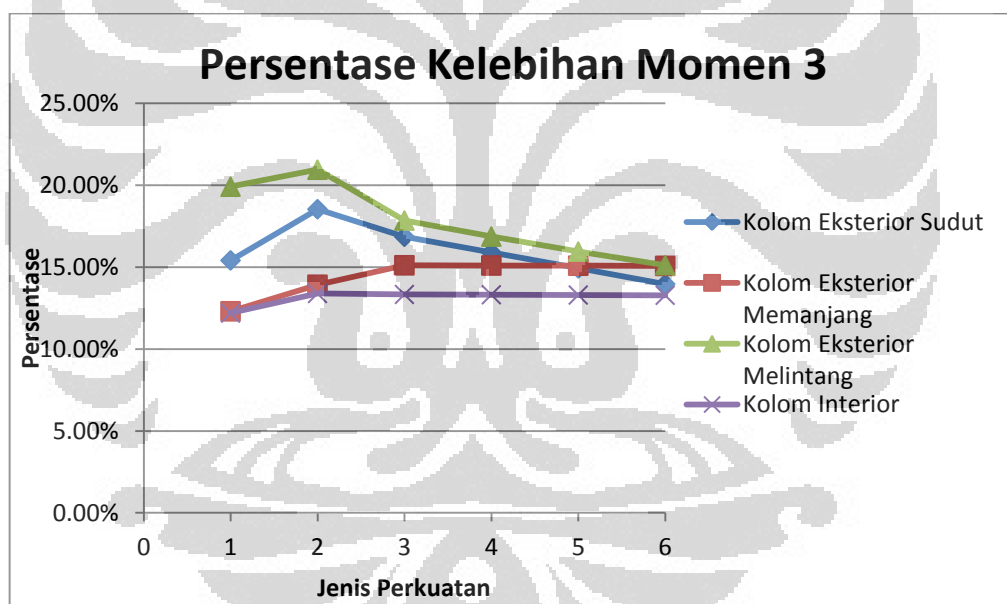
Kemudian, analisis momen pada kolom dilanjutkan dengan momen M3. Berikut ini gaya dalam M3 pada kolom lantai 1 bagian perletakan bawah akibat berbagai macam permodelan dan jenis kolom akibat pembebanan gravitasi dan gempa:

Tabel 4-60 Gaya Dalam M3 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Permodelan (1.2DL + LL ± Gempa)

Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
	M3	M3	M3	M3
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	343.9269	356.214	337.462	332.8116
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	396.9397	400.059	404.6663	373.4026
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	407.6858	405.8276	408.1684	377.3803
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	401.905	410.06	397.6962	377.1965
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	398.591	410.017	394.3882	377.1375
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	395.277	409.974	391.3016	377.0785
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	391.963	409.931	388.4996	377.0195

Tabel 4-61 Kelebihan Gaya Dalam Momen M3 Kolom Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi dan Gempa Pada Setiap Perkuatan Struktur (1.2DL + LL ± Gempa)

Notasi	Perkuatan	Kolom Eksterior Sudut	Kolom Eksterior Memanjang	Kolom Eksterior Melintang	Kolom Interior
		Kelebihan M3	Kelebihan M3	Kelebihan M3	Kelebihan M3
1	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	15.41%	12.31%	19.91%	12.20%
2	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	18.54%	13.93%	20.95%	13.39%
3	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	16.86%	15.12%	17.85%	13.34%
4	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	15.89%	15.10%	16.87%	13.32%
5	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	14.93%	15.09%	15.95%	13.30%
6	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	13.97%	15.08%	15.12%	13.28%



Gambar 4.70 Kelebihan Momen M3 Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi dan Gempa (1.2DL + LL ± Gempa)

Pada tabel dan grafik di atas, terlihat perkuatan dengan *load transfer* dan *grouting* tidak mempengaruhi besarnya momen M3 pada kolom. Akan tetapi pada grafik di atas terlihat momen M3 pada perkuatan dengan menggunakan balok baja dan *grouting* memiliki momen M3 yang lebih tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh gaya dalam momen akibat gaya gempa pada sumbu X yang lebih besar

dibandingkan kekuatan struktur dengan menggunakan balok baja dan *load transfer*. Hal tersebut juga menunjukkan menunjukkan kekakuan struktur tersebut pada sumbu X lebih besar dibandingkan kekuatan struktur dengan menggunakan balok baja dan *load transfer*.

Sekilas terlihat bahwa pada kolom ekterior sudut dan kolom ekterior melintang terjadi penurunan kelebihan momen dan terkesan memberikan efektivitas. Akan tetapi jika diteliti lebih lanjut, pengurangan momen oleh *load transfer* sangat kecil yaitu hanya sekitar 3.4 kNm saja atau 0.9% untuk setiap kelipatan gaya *load transfer* sebesar 2 ton sehingga bisa diasumsikan tidak memberikan efektivitas.

4.8 Deformasi Vertikal Pada Balok Beton Lantai 1 Akibat Pembebanan Gravitasi

Selain pengecekan terhadap gaya dalam momen dan geser pada balok, pengecekan deformasi vertikal pada tengah bentang balok juga perlu dilakukan. Pengecekan ini berfungsi untuk meneliti pertambahan kekakuan pada balok yang telah diberi kekuatan. Untuk mendapatkan lendutan pada tengah bentang, kombinasi beban yang digunakan adalah DL + LL. Berikut ini lendutan vertikal pada setiap jenis balok pada setiap permodelan.

Tabel 4-62 Lendutan Pada Bentang Tengah Balok Akibat Beban Gravitasi untuk Setiap Permodelan (DL + LL)

Permodelan	Balok Memanjang Tepi	Balok Memanjang Tengah	Balok Melintang Tepi	Balok Melintang Tengah
	Deformasi (m)	Deformasi (m)	Deformasi (m)	Deformasi (m)
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	-0.0014	-0.0026	-0.0011	-0.0015
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	-0.0021	-0.0043	-0.0015	-0.0023
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	-0.0017	-0.0034	-0.0012	-0.0018
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	-0.0016	-0.0035	-0.0011	-0.0018
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	-0.0014	-0.0033	-0.0008	-0.0016

Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-0.0012	-0.0031	-0.0006	-0.0013
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-0.0009	-0.0028	-0.0004	-0.0011

Dari tabel tersebut, dapat diketahui efektivitas pengurangan lendutan dari setiap perkuatan yang digunakan. Berikut ini adalah persentase efektivitas dari setiap perkuatan yang dilakukan.

Tabel 4-63 Persentase Efektivitas Perkuatan Dalam Mengurangi Lendutan Vertikal Pada Balok (DL + LL)

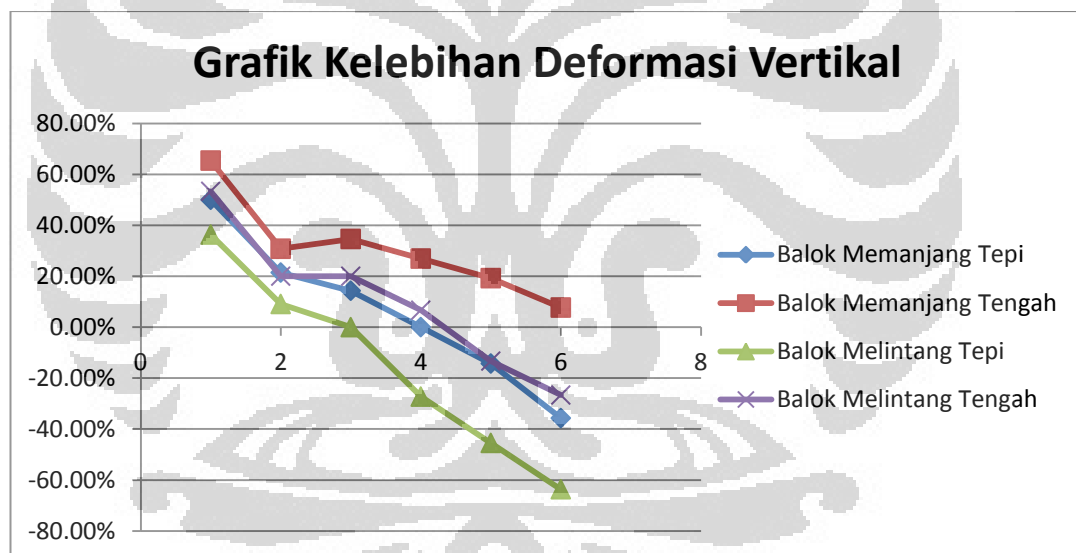
Perkuatan	Balok Memanjang Tepi	Balok Memanjang Tengah	Balok Melintang Tepi	Balok Melintang Tengah
	Efektivitas	Efektivitas	Efektivitas	Efektivitas
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	19.05%	20.93%	20.00%	21.74%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	23.81%	18.60%	26.67%	21.74%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	33.33%	23.26%	46.67%	30.43%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	42.86%	27.91%	60.00%	43.48%
Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	57.14%	34.88%	73.33%	52.17%

Pada tabel efektivitas ini terlihat bahwa perkuatan dengan menggunakan balok baja dengan *grouting* atau *load transfer* dapat menambah kekakuan balok beton eksisting karena dapat mereduksi lendutan yang terjadi.

Dari tabel lendutan dari setiap permodelan di atas juga dapat dihitung kelebihan di lendutan vertikal dari permodelan dengan penambahan beban baik sebelum maupun setelah diberikan perkuatan. Berikut tabel kelebihan deformasi vertikal tersebut.

Tabel 4-64 Kelebihan Lendutan Vertikal Pada Balok Lantai 1 Akibat Beban Gravitasi (DL+LL)

Notasi	Perkuatan	Balok Memanjang Tepi	Balok Memanjang Tengah	Balok Melintang Tepi	Balok Melintang Tengah
		Kelebihan Lendutan	Kelebihan Ledutan	Kelebihan Lendtuatan	Kelebihan Lendutan
A	Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	50.00%	65.38%	36.36%	53.33%
B	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Grouting</i>	21.43%	30.77%	9.09%	20.00%
C	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 2 Ton	14.29%	34.62%	0.00%	20.00%
D	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 4 Ton	0.00%	26.92%	-27.27%	6.67%
E	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 6 Ton	-14.29%	19.23%	-45.45%	-13.33%
F	Portal Beton dengan Balok Baja dan <i>Load transfer</i> 8 Ton	-35.71%	7.69%	-63.64%	-26.67%



Gambar 4.71 Kelebihan Lendutan Pada Kolom Lantai 1 untuk Setiap Perkuatan Akibat Beban Gravitasi (DL +LL)

Dari tabel dan grafik di atas, nilai kelebihan deformasi sebesar $\leq 0\%$ menunjukkan bahwa balok beton memiliki lendutan yang sama atau lebih kecil daripada balok beton yang diberikan beban hidup sebesar 2.5 kN/m². Untuk mencapai kondisi tersebut, pada balok memanjang tepi harus menggunakan perkuatan dengan *load transfer* 4 ton. Kemudian untuk balok melintang tepi

digunakan *load transfer* sebesar 2 ton dan untuk balok melintang tengah digunakan *load transfer* sebesar 6 ton. Sedangkan untuk balok memanjang tengah, sampai penggunaan *load transfer* 8 ton pun kondisi di atas belum tercapai sehinggadiperlukan *load transfer* dengan gaya yang lebih besar atau kombinasi dengan perkuatan yang lain.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada permodelan perkuatan struktur dengan menggunakan balok baja dengan *load transfer* dapat mengurangi gaya dalam momen dan geser pada balok.
2. Perkuatan dengan load transfer lebih besar daripada grouting karena efek tambahan yang diberikan *local grout* pada celah antara balok beton dan baja besarnya dianggap sama dengan permodelan dengan grouting.
3. Efektivitas load transfer dalam mereduksi gaya dalam Balok:
 - Momen = $1/8 P L$ + kapasitas momen akibat *Local Grout*
 - Gaya Geser = $1/2 P$ + kapasitas geser akibat *Local Grout*

Karena besar efektivitas tergantung pada P (besar gaya load transfer), maka efektivitas load transfer proposional terhadap gaya transfer P.

4. Penggunaan perkuatan balok beton dengan menggunakan *load transfer* tidak mempengaruhi gaya aksial dan momen pada kolom.
5. Penggunaan elemen *load transfer* dapat menambah kekakuan pada balok beton. Hal tersebut dapat dianalisa dengan menghitung besar lendutan pada tengah bentang pada balok. Efisiensi pengurangan lendutan vertikal pada balok dibandingkan dengan balok tanpa perkuatan untuk *load transfer* 2, 4, 6, dan 8 ton adalah 22.71%, 33.42%, 43.56%, dan 54.38%.

5.2 Saran

Dari penelitian ini, diketahui bahwa perkuatan struktur dengan menggunakan balok baja dengan *load transfer* tidak dapat mereduksi gaya aksial dan momen yang diterima oleh kolom. Oleh karena itu diperlukan perkuatan tambahan pada elemen kolom. Selain itu, pada permodelan ini digunakan profil balok baja yang sama. Pada saat pelaksanaan, ukuran balok baja dapat disesuaikan dengan besar gaya *load transfer* yang dibutuhkan. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan analisis Pushover untuk mengetahui perilaku struktur tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, Anil K. (1995) *Dynamics of structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Hibbeler, R.C. (2005). *Mechanic of Material*, 6th Edition. New Jersey : Prentice-Hall.
- Naeim, Farzad. (2001). *The Seismic Design Handbook*, 2nd Edition. Boston : Kluwer Academic Publishers.
- Federal Emergency Management Agency. 2006. *FEMA-547 Techniques for The Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*.
- Tim Penyusun. (2001). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tim Penyusun (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (SKBI-1.3.53.1987)*. Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.
- Utari Khatulistiani (2003, December 3rd). *Perencanaan Balok Komposit Menggunakan Metode LRFD* (pp. 95-102). Jurnal Aksial-Majalah Teknik Sipil.
- Suprobo, Priyo. (2000). *Desain Balok Komposit Baja-Beton*. Surabaya : ITS Press

Lampiran 1. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan $LL = 2.5 \text{ kN/m}^2$

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.043606	0	80.1226	0	0	80.1226	0	99.6034	0	0	99.6034	0	0
2	0.999513	80.4859	0	0	80.4859	80.1226	0	0	99.5917	0	99.6034	99.5917	0
3	0.941034	0	0	0	80.4859	80.1226	0	0	0	80.2252	99.6034	99.5917	80.2252
4	0.330831	0	11.3711	0	80.4859	91.4937	0	0.0415	0	0	99.6449	99.5917	80.2252
5	0.319449	11.2491	0	0	91.7351	91.4937	0	0	0.0606	0	99.6449	99.6523	80.2252
6	0.299984	0	0	0	91.7351	91.4937	0	0	0	11.3368	99.6449	99.6523	91.562
7	0.175069	0	4.4979	0	91.7351	95.9915	0	0.3236	0	0	99.9685	99.6523	91.562
8	0.1706	4.3683	0	0	96.1034	95.9915	0	0	0.3187	0	99.9685	99.971	91.562
9	0.159542	0	0	0	96.1034	95.9915	0	0	0	4.4616	99.9685	99.971	96.0236
10	0.110416	0	2.3766	0	96.1034	98.3681	0	0.0039	0	0	99.9724	99.971	96.0236
11	0.108549	2.3178	0	0	98.4212	98.3681	0	0	0.0021	0	99.9724	99.9732	96.0236
12	0.101156	0	0	0	98.4212	98.3681	0	0	0	2.3602	99.9724	99.9732	98.3838

Lampiran 2. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan LL = 10 kN/m²

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.04642	0	75.3008	0	0	75.3008	0	99.5421	0	0	99.5421	0	0
2	1.002357	75.734	0	0	75.734	75.3008	0	0	99.5389	0	99.5421	99.5389	0
3	0.943375	0	0	0	75.734	75.3008	0	0	0	75.9309	99.5421	99.5389	75.9309
4	0.33884	0	14.1667	0	75.734	89.4675	0	0.0194	0	0	99.5615	99.5389	75.9309
5	0.327517	14.096	0	0	89.83	89.4675	0	0	0.0338	0	99.5615	99.5727	75.9309
6	0.306544	0	0	0	89.83	89.4675	0	0	0	13.83	99.5615	99.5727	89.761
7	0.185772	0	6.7193	0	89.83	96.1868	0	0.4121	0	0	99.9735	99.5727	89.761
8	0.181165	6.5232	0	0	96.3532	96.1868	0	0	0.4029	0	99.9735	99.9757	89.761
9	0.16819	0	0	0	96.3532	96.1868	0	0	0	6.4271	99.9735	99.9757	96.1881
10	0.119486	0	2.7477	0	96.3532	98.9344	0	0.0032	0	0	99.9767	99.9757	96.1881
11	0.11747	2.6382	0	0	98.9914	98.9344	0	0	0.0014	0	99.9767	99.9771	96.1881
12	0.108601	0	0	0	98.9914	98.9344	0	0	0	2.7143	99.9767	99.9771	98.9024

Lampiran 3. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan *Grouting*

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.017685	0	73.2618	0	0	73.2618	0	99.4765	0	0	99.4765	0	0
2	0.991992	74.693	0	0	74.693	73.2618	0	0	99.5323	0	99.4765	99.5323	0
3	0.921045	0	0	0	74.693	73.2618	0	0	0	74.1031	99.4765	99.5324	74.1031
4	0.33233	0	15.2226	0	74.693	88.4845	0	0.0012	0	0	99.4777	99.5324	74.1031
5	0.326241	14.814	0	0	89.507	88.4845	0	0	0.0131	0	99.4777	99.5454	74.1031
6	0.301861	0	0	0	89.507	88.4845	0	0	0	14.8339	99.4777	99.5454	88.9369
7	0.185051	0	7.5781	0	89.507	96.0626	0	0.4959	0	0	99.9736	99.5454	88.9369
8	0.182168	6.9378	0	0	96.4447	96.0626	0	0	0.4325	0	99.9736	99.978	88.9369
9	0.168011	0	0	0	96.4447	96.0626	0	0	0	7.1841	99.9736	99.978	96.121
10	0.119673	0	2.8877	0	96.4447	98.9504	0	0.0048	0	0	99.9784	99.978	96.121
11	0.118249	2.6097	0	0	99.0545	98.9504	0	0	0.0011	0	99.9784	99.9791	96.121
12	0.109011	0	0	0	99.0545	98.9504	0	0	0	2.8185	99.9784	99.9791	98.9395

Lampiran 4. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan *Load Transfer* 2 Ton

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.043766	0.0001	74.6963	0	0.0001	74.6963	0	99.437	0.0001	0.0853	99.437	0.0001	0.0853
2	0.999899	75.1944	0.0002	0	75.1945	74.6965	0	0.0003	99.4922	0.0306	99.4373	99.4923	0.116
3	0.938216	0.0308	0.0841	0	75.2253	74.7806	0	0.0944	0.0367	75.2963	99.5316	99.529	75.4122
4	0.339063	0	14.5429	0	75.2253	89.3236	0	0.0173	0	0.018	99.549	99.529	75.4303
5	0.327775	14.4854	0	0	89.7107	89.3236	0	0	0.0314	0.0046	99.549	99.5604	75.4348
6	0.305907	0.0048	0.0184	0	89.7155	89.342	0	0	0	14.2223	99.549	99.5604	89.6571
7	0.186869	0	6.9431	0	89.7155	96.2851	0	0.4251	0	0.0078	99.9741	99.5604	89.665
8	0.182221	6.741	0	0	96.4566	96.2851	0	0	0.4158	0.0014	99.9741	99.9763	89.6664
9	0.168843	0.0013	0.0074	0	96.4579	96.2925	0	0.0005	0.0001	6.6512	99.9746	99.9764	96.3176
10	0.120324	0	2.7029	0	96.4579	98.9954	0	0.0026	0	0.0018	99.9772	99.9764	96.3193
11	0.118269	2.5934	0	0	99.0513	98.9954	0	0	0.001	0.0003	99.9772	99.9774	96.3196
12	0.109283	0.0002	0.0019	0	99.0515	98.9973	0	0	0	2.6588	99.9772	99.9774	98.9784

Lampiran 5. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan *Load Transfer* 4 Ton

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.046546	0	74.7739	0	0	74.7739	0	99.5354	0	0	99.5354	0	0
2	1.002628	75.2181	0	0	75.2181	74.7739	0	0	99.5331	0	99.5354	99.5331	0
3	0.943605	0	0	0	75.2181	74.7739	0	0	0	75.3962	99.5355	99.5331	75.3962
4	0.339904	0	14.5519	0	75.2181	89.3258	0	0.0168	0	0.0001	99.5523	99.5331	75.3963
5	0.328603	14.4814	0	0	89.6995	89.3258	0	0	0.0307	0	99.5523	99.5639	75.3963
6	0.307598	0	0.0001	0	89.6995	89.3259	0	0	0	14.2272	99.5523	99.5639	89.6236
7	0.187231	0	6.9577	0	89.6995	96.2836	0	0.4223	0	0.0003	99.9746	99.5639	89.6238
8	0.182588	6.7497	0	0	96.4491	96.2836	0	0	0.4127	0	99.9746	99.9765	89.6238
9	0.169604	0	0.0003	0	96.4492	96.2839	0	0	0	6.6745	99.9747	99.9765	96.2983
10	0.120471	0	2.7125	0	96.4492	98.9963	0	0.0028	0	0.0001	99.9774	99.9765	96.2984
11	0.118422	2.6015	0	0	99.0507	98.9963	0	0	0.0011	0	99.9774	99.9776	96.2984
12	0.109598	0	0.0003	0	99.0507	98.9966	0	0	0	2.6781	99.9774	99.9776	98.9765

Lampiran 6. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan *Load Transfer* 6 Ton

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.046546	0	74.7739	0	0	74.7739	0	99.5354	0	0	99.5354	0	0
2	1.002628	75.2181	0	0	75.2181	74.7739	0	0	99.5331	0	99.5354	99.5331	0
3	0.943605	0	0	0	75.2181	74.7739	0	0	0	75.3962	99.5355	99.5331	75.3962
4	0.339904	0	14.5519	0	75.2181	89.3258	0	0.0168	0	0.0001	99.5523	99.5331	75.3963
5	0.328603	14.4814	0	0	89.6995	89.3258	0	0	0.0307	0	99.5523	99.5639	75.3963
6	0.307598	0	0.0001	0	89.6995	89.3259	0	0	0	14.2272	99.5523	99.5639	89.6236
7	0.187231	0	6.9577	0	89.6995	96.2836	0	0.4223	0	0.0003	99.9746	99.5639	89.6238
8	0.182588	6.7497	0	0	96.4491	96.2836	0	0	0.4127	0	99.9746	99.9765	89.6238
9	0.169604	0	0.0003	0	96.4492	96.2839	0	0	0	6.6745	99.9747	99.9765	96.2983
10	0.120471	0	2.7125	0	96.4492	98.9963	0	0.0028	0	0.0001	99.9774	99.9765	96.2984
11	0.118422	2.6015	0	0	99.0507	98.9963	0	0	0.0011	0	99.9774	99.9776	96.2984
12	0.109598	0	0.0003	0	99.0507	98.9966	0	0	0	2.6781	99.9774	99.9776	98.9765

Lampiran 7. Partisipasi Massa Model Portal Beton dengan Perkuatan Balok Baja dan *Load Transfer* 8 Ton

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1.046546	0	74.7739	0	0	74.7739	0	99.5354	0	0	99.5354	0	0
2	1.002628	75.2181	0	0	75.2181	74.7739	0	0	99.5331	0	99.5354	99.5331	0
3	0.943605	0	0	0	75.2181	74.7739	0	0	0	75.3962	99.5355	99.5331	75.3962
4	0.339904	0	14.5519	0	75.2181	89.3258	0	0.0168	0	0.0001	99.5523	99.5331	75.3963
5	0.328603	14.4814	0	0	89.6995	89.3258	0	0	0.0307	0	99.5523	99.5639	75.3963
6	0.307598	0	0.0001	0	89.6995	89.3259	0	0	0	14.2272	99.5523	99.5639	89.6236
7	0.187231	0	6.9577	0	89.6995	96.2836	0	0.4223	0	0.0003	99.9746	99.5639	89.6238
8	0.182588	6.7497	0	0	96.4491	96.2836	0	0	0.4127	0	99.9746	99.9765	89.6238
9	0.169604	0	0.0003	0	96.4492	96.2839	0	0	0	6.6745	99.9747	99.9765	96.2983
10	0.120471	0	2.7125	0	96.4492	98.9963	0	0.0028	0	0.0001	99.9774	99.9765	96.2984
11	0.118422	2.6015	0	0	99.0507	98.9963	0	0	0.0011	0	99.9774	99.9776	96.2984
12	0.109598	0	0.0003	0	99.0507	98.9966	0	0	0	2.6781	99.9774	99.9776	98.9765

Lampiran 8. Perbandingan Gaya Geser Dasar Statik dan Gaya Geser Dasar Dinamik

Permodelan	Arah X			Arah Y			Status
	V statik	80% V Statik	V Dinamik	V statik	80% V Statik	V Dinamik	
Portal Beton dengan LL = 2.5 kN/m ²)	3391.653	2713.323	2729.53	3249.937	2599.949	2609.49	OK
Portal Beton dengan LL = 10 kN/m ²)	3739.374	3037.899	3050.68	3637.473	2909.978	2911.46	OK
Portal Beton dengan Balok Baja dan Grouting	3862.417	3089.933	3199.62	3795.297	3036.238	3087.86	OK
Portal Beton dengan Balok Baja dan Load Transfer 2 Ton	3845.484	3076.387	3090.06	3684.239	2947.391	2947.46	OK
Portal Beton dengan Balok Baja dan Load Transfer 4 Ton	3848.315	3078.652	3090.69	3686.822	2949.457	2949.47	OK
Portal Beton dengan Balok Baja dan Load Transfer 6 Ton	3848.315	3078.652	3090.69	3686.822	2949.457	2949.47	OK
Portal Beton dengan Balok Baja dan Load Transfer 8 Ton	3848.315	3078.652	3090.69	3686.822	2949.457	2949.47	OK