



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERBAIKAN DAN PERKUATAN BANGUNAN
AKIBAT PENAMBAHAN LANTAI DENGAN METODE
*CONCRETE JACKETING***

SKRIPSI

Oleh :

MUHAMMAD RIZQI

0706266462

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
JUNI 2010/2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS PERBAIKAN DAN PERKUATAN BANGUNAN
AKIBAT PENAMBAHAN LANTAI DENGAN METODE
*CONCRETE JACKETING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh :

MUHAMMAD RIZQI
0706266462

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhammad Rizqi

NPM : 0706266462

Tanda Tangan : 




Tanggal : 23 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Rizqi
NPM : 0706266462
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Seminar : Analisis Perbaikan dan Perkuatan Bangunan
Akibat Penambahan Lantai dengan Metode
Concrete jacketing

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA ()
Penguji : Mulia Orientilize, S.T, M.Eng ()
Penguji : Dr.-Ing.Ir. Josia I Rastandi ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 23 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya 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) Orang tua, kakak dan adik saya yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material;
- (3) Seluruh sahabat khususnya Teknik Sipil 2007 yang telah memberikan bantuan/dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Muhammad Rizqi

NPM : 0706266462

Program Studi : Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

Analisis Perbaikan dan Perkuatan Bangunan Akibat Penambahan Lantai Dengan
Metode *Concrete jacketing*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 23 Juni 2011

Yang menyatakan



(Muhammad Rizqi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Rizqi

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Analisis Perbaikan dan Perkuatan Bangunan Akibat Penambahan Lantai dengan Metode *Concrete jacketing*

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* akibat penambahan lantai pada sebuah bangunan dua lantai. Analisis dilakukan terhadap portal dua dimensi melalui pemodelan bangunan eksisting dengan penambahan lantai. Perilaku dan kinerja *concrete jacketing* dianalisis berdasarkan periode getar, reaksi perletakan, simpangan, gaya geser dasar, gaya dalam, serta analisis *shear connector*. Pemodelan portal dilakukan dengan membedakan sumbu pusat struktur lama dengan struktur *concrete jacketing* untuk melihat perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* dengan berbagai variasi parametrik. Analisis dilakukan berdasarkan atas variasi parametrik dari mutu beton, jumlah *shear connector*, diameter *shear connector*, jumlah lantai yang ditambahkan dan variasi jumlah *shear connector* pada balok dan kolom. Setiap variasi tadi akan dibandingkan dengan kondisi monolitnya. Untuk melihat efek penggunaan *shear connector*, dilakukan pemodelan kolom tunggal dengan menggunakan elemen *shell*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *shear connector* dan semakin besar diameter *shear connector* yang digunakan, maka kinerja dan perilakunya mendekati dengan kondisi monolitnya. Begitu pula dengan mutu beton yang digunakan pada *concrete jacketing*. Tetapi hal yang berbeda ditunjukkan dengan semakin banyaknya jumlah lantai yang ditambahkan.

Kata kunci : penambahan lantai, *concrete jacketing*, *shear connector*

ABSTRACT

Name : Muhammad Rizqi

Study Program: Teknik Sipil

Title : Building Rehabilitation and Strengthening Analysis due to Floors
Addition by Concrete jacketing Method

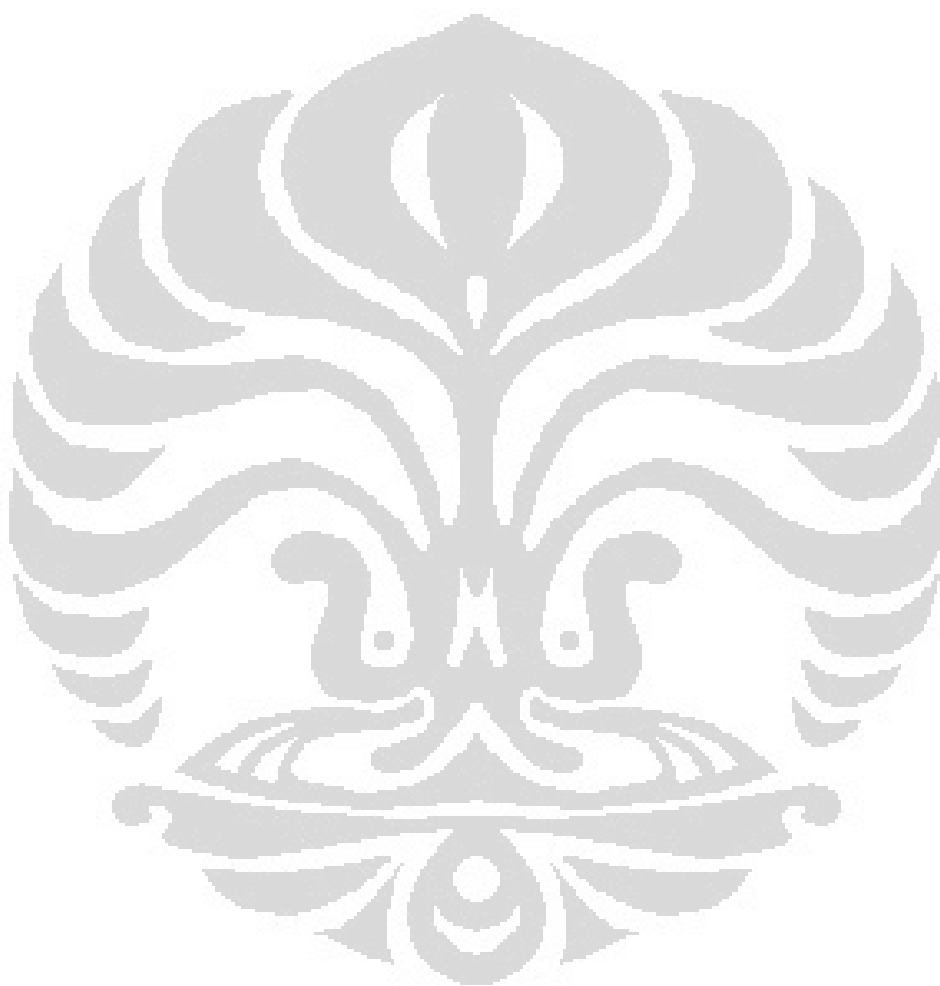
The aim of this study is to analyze both the behavior and performance of concrete jacketing due to floors addition on a two stories existing building. The analysis was performed for 2D frames by structural modeling of existing building with floor addition. Behavior and performance of concrete jacketing analyzed based on the period of vibration, base reaction, displacement, base shear, the element forces, and the analysis of shear connector. The modeling of the frames is done by distinguishing the centroidal axis of the old structure with that of the concrete jacketing structure to observe both the behavior and performance of concrete jacketing with various parametric. Analysis was performed based on parametric variation of concrete quality, the amount of shear connector, shear connector diameter, the number of added floors and the variations on the number of shear connectors in both beams and columns. Each variation would then be compared to the monolithic conditions. To evaluate the effect of the shear connectors utilization, the single-column modeling was done using shell elements. The results showed that both the greater number of shear connectors and its diameter used, then the performance and behavior approaches to its monolithic condition. Similarly, the quality of concrete used in concrete jacketing. But different result was indicated by the increasing number of added floors.

Keywords : floors addition, concrete jacketing, shear connector

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis Awal	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 DASAR TEORI	6
2.1 Pendahuluan.....	6
2.2 Jenis-Jenis Usaha Perbaikan Kerusakan Struktur.....	6
2.3 Teknik-Teknik Perbaikan Bangunan dengan Metode Peningkatan Kinerja Elemen Eksisting	9
2.4 <i>Concrete jacketing</i>	10
2.4.1 Tinjauan Literatur	11
2.4.2 Metode Perbaikan dan Perkuatan Kolom dengan <i>Concrete jacketing</i>	17
2.4.3 Metode Perbaikan dan Perkuatan Balok dengan <i>Concrete jacketing</i>	22
2.4.4 Waktu Konstruksi <i>Concrete jacketing</i>	27
2.4.5 Kesulitan Konstruksi.....	27
2.4.6 Perawatan Beton	28

2.4.7	Biaya	28
2.4.8	Kegagalan	28
2.4.9	Ikatan antar material	28
2.4.10	Ketahanan korosi dan pembakaran	29
2.5	Struktur Komposit	29
2.5.1	Balok Komposit	30
2.5.2	Kolom Komposit	31
2.5.3	Pelat Komposit	32
2.6	Teori Dinamika Struktur	33
2.6.1	Massa	33
2.6.2	Kekakuan	35
2.6.3	Redaman	35
2.6.4	Simpangan (<i>Drift</i>) Akibat Gaya Gempa	36
2.6.5	Derajat Kebebasan (Degree of Freedom)	37
2.6.6	Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)	41
2.7	Analisis Statik Ekuivalen	45
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		49
3.1	Informasi Umum Pemodelan Struktur	49
3.1.1	Spesifikasi material	51
3.1.2	Dimensi	51
3.1.3	Pembebanan	52
3.2	Variasi Pemodelan	56
3.3	Prosedur Analisis	64
3.4	Hasil Pemodelan	67
BAB 4 PEMBAHASAN		69
4.1	Pemodelan Struktur Bagian Pertama	69
4.1.1	Pemodelan Struktur Eksisting	69
4.1.2	Pemodelan Struktur Variasi	70
4.2	Pemodelan Struktur Bagian Kedua	76
4.3	Hasil dan Analisis Pemodelan Struktur Bagian Pertama	77
4.3.1	Hasil Pemodelan Struktur Eksisting	78
4.3.2	Hasil Pemodelan Struktur Variasi	81
4.4	Hasil dan Analisis Pemodelan Struktur Bagian Kedua	152
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		167
DAFTAR PUSTAKA		169



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Metode Perkuatan dengan Pemasangan <i>Wire Mesh Reinforcement</i> ...	9
Gambar 2.2. Metode Perkuatan Struktur dengan <i>FRP Jacketing</i>	10
Gambar 2.3. Model Kolom Percobaan yang Dilakukan Pengetesan di <i>University Of Texas</i> (Arturo, 2001)	12
Gambar 2.4. Set Alat Pembebanan Aksial dan Lateral di <i>University of Texas</i>	13
Gambar 2.5. Pembebanan <i>Lateral-Displacement Drift</i> Kolom Percobaan.....	14
Gambar 2.6. Dimensi Sengkang dari Bahan Percobaan yang Diperkuat (Ersoy Et Al. 1993)	15
Gambar 2.7. Kurva Pembebanan-Tegangan untuk Bahan Percobaan 1 (Ersoy et al. 1993)	15
Gambar 2.8. Geometri dan Penulangan pada Kolom 430SR, Diperkuat dengan Penulangan Spiral (Lehman Et Al. 2001)	16
Gambar 2.9. Grafik Pembebanan <i>Lateral-Displacement</i> untuk Bahan Percobaan Asli dan Setelah Diperbaiki (Lehman et al. 2001).....	17
Gambar 2.10. Sambungan Antara Tulangan Baru (<i>Jacket</i>) dan Tulangan Lama..	18
Gambar 2.11. Teknik Penulangan <i>Jacketing</i> dengan Pemasangan Tulangan Sengkang di Sekitar Tulangan <i>Jacketing</i>	19
Gambar 2.12. Teknik Penulangan <i>Jacketing</i> dengan Pemasangan Sengkang dan <i>Dowel/Shear Conncector</i> Antara Beton Lama dan Beton Baru.....	20
Gambar 2.13. Teknik Penulangan <i>Jacket</i> dengan Pemasangan Sengkang dan Tulangan Bengkok yang di Las ke Tulangan Lama dan Tulangan Baru	20
Gambar 2.14. <i>Jacketing</i> Balok pada Keempat Sisinya dengan Satu Sambungan Tulangan yang di Las	22
Gambar 2.15. Lubang yang Dibuat di Sepanjang Bentang Balok.....	23
Gambar 2.16. Perkuatan Balok Tanpa Harus Menambah Luas Penampang Baloknya	24
Gambar 2.17. Perkuatan Balok dengan Cara Menambahkan Pelat Baja	25
Gambar 2.18. Pengurangan Beban Pada Balok dengan Cara Memasang Balok Baja	26

Gambar 2.19. Perkuatan pada Balok, Kolom dan Pelat	26
Gambar 2.20. Perkuatan pada Balok dan Pelat	26
Gambar 2.21. <i>Jacketing</i> pada Balok dengan Menambah Tulangan dan Luas Penampang	27
Gambar 2.22. Perbaikan dan Perkuatan dengan Pelat Baja.....	27
Gambar 2.23. Balok Baja yang Menumpu Pelat Beton Bertulang.....	30
Gambar 2.24. Balok Baja yang Diselubungi Beton	30
Gambar 2.25. Kolom Baja yang Diisi Beton Bertulang.....	31
Gambar 2.26. Kolom Baja yang Diselubungi Beton.....	32
Gambar 2.27. Pelat Dek Baja yang Menahan Pelat Beton Bertulang	32
Gambar 2.28. Gambar Struktur Komposit Balok (kanan) dan Nonkomposit (kiri)	33
Gambar 2.29. Contoh Pemodelan SDOF	38
Gambar 2.30. Modelisasi Kesetimbangan SDOF Dinamik	38
Gambar 2.31. Modelisasi SDOF Getaran Bebas	39
Gambar 2.32. Modelisasi SDOF Getaran Paksa	40
Gambar 2.33. Modelisasi SDOF Perpindahan Perletakan	41
Gambar 2.34. Model Fisik (kiri) dan Model Model Bangunan Gesernya (kanan) Struktur dengan Banyak Derajat Kebebasan.....	42
Gambar 2.35. Distribusi Gaya Statik Ekuivalen	47
Gambar 3.1. Model Struktur Eksisting.....	50
Gambar 3.2. Pemodelan Dua Dimensi Struktur Eksisting dengan Analisis pada Salah Satu Portal (Dua Dimensi)	50
Gambar 3.3. Respons Spektrum Gempa Rencana.....	55
Gambar 3.4. Model Struktur Variasi Jumlah Lantai dan Mutu Beton (3 Lantai dan 4 Lantai)	57
Gambar 3.5. Model Struktur Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i>	58
Gambar 3.6. Model Struktur Variasi Diameter <i>Shear Connector</i>	59
Gambar 3.7. Model Struktur Variasi Jumlah Lantai yang Ditambahkan	60
Gambar 3.8. Model Struktur Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> Pada Balok.....	62
Gambar 3.9. Model Struktur Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom.....	64
Gambar 3.10. Diagram Alir Proses Analisis Struktur Eksisting	65

Gambar 3.11. Diagram Alir Proses Analisis Struktur Variasi.....	66
Gambar 3.12. Diagram alir proses analisis perilaku <i>shear connector</i>	67
Gambar 4.1. Model Struktur Eksisting.....	70
Gambar 4.2. Gambar Letak Potongan pada Balok dan Kolom untuk Detail <i>Concrete Jacketing</i>	71
Gambar 4.3. Detail Potongan A-A (kolom)	72
Gambar 4.4. Detail Potongan B-B (pertemuan antara balok dan kolom)	73
Gambar 4.5. Detail Potongan C-C (balok).....	73
Gambar 4.6. Pemodelan Bagian Kedua (tampak depan), <i>Concrete Jacketing</i> dengan Elemen <i>Shell</i> (kanan) dan Kolom Eksisting dan <i>Shear</i> <i>Connector</i> Dengan Elemen Batang (kiri).....	76
Gambar 4.7. Pemodelan Bagian Kedua (tampak atas).....	77
Gambar 4.8. Pembebanan pada Pemodelan Kedua.....	77
Gambar 4.9. Penampang Kolom Monolit	152
Gambar 4.10. Pembebanan pada Kolom Tunggal Monolit dengan Beban yang Sama Seperti Model Bagian Kedua	153
Gambar 4.11. Gaya Geser yang Terjadi Akibat Pembebanan Lateral pada Kolom Monolit.....	153
Gambar 4.12. Gaya Geser yang Terjadi Akibat Pembebanan Lateral Pada Kolom Eksisting Pemodelan Bagian Kedua	154
Gambar 4.13. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 1	155
Gambar 4.14. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 1	157
Gambar 4.15. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 2	158
Gambar 4.16. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 2	160
Gambar 4.17. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 3	161
Gambar 4.18. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 3	162
Gambar 4.19. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 4	163
Gambar 4.20. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 4	165

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Spesifikasi material model eksisting	51
Tabel 3.2. Pembebanan struktur eksisting (2 Lantai)	53
Tabel 3.3. Pembebanan untuk struktur 3 lantai	53
Tabel 3.4. Pembebanan untuk struktur 4 lantai	54
Tabel 3.5. Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	56
Tabel 3.6. Variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	58
Tabel 3.7. Variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	59
Tabel 3.8. Variasi jumlah lantai yang ditambahkan	60
Tabel 3.9. Variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	61
Tabel 3.10. Variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok	61
Tabel 3.11. Variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom	63
Tabel 4.1. Pembebanan pada variasi struktur 3 lantai dengan <i>concrete jacketing</i>	74
Tabel 4.2. Pembebanan pada variasi struktur 4 lantai dengan <i>concrete jacketing</i>	74
Tabel 4.3. Berat total struktur	75
Tabel 4.4. Gaya geser dasar struktur	75
Tabel 4.5. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 2 lantai	75
Tabel 4.6. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 3 lantai	75
Tabel 4.7. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 4 lantai	76
Tabel 4.8. Reaksi perletakan struktur eksisting akibat beban gravitasi	78
Tabel 4.9. Simpangan yang terjadi pada struktur eksisting akibat beban gravitasi	79
Tabel 4.10. Gaya dalam momen pada struktur eksisting akibat beban gravitasi ..	79
Tabel 4.11. Gaya dalam lintang pada struktur eksisting akibat beban gravitasi ...	79
Tabel 4.12. Gaya dalam normal pada struktur eksisting akibat beban gravitasi ...	79
Tabel 4.13. Periode getar struktur eksisting akibat beban lateral	80
Tabel 4.14. Reaksi perletakan struktur eksisting akibat beban lateral	80
Tabel 4.15. Simpangan yang terjadi pada struktur eksisting akibat beban lateral ..	80
Tabel 4.16. Gaya dalam pada struktur eksisting akibat beban lateral	81

Tabel 4.17. Reaksi perletakan pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	81
Tabel 4.18. Reaksi perletakan pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	81
Tabel 4.19. Simpangan pada struktur variasi mutu beton tiga lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	82
Tabel 4.20. Simpangan pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	82
Tabel 4.21. Gaya dalam momen pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	83
Tabel 4.22. Gaya dalam momen pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	83
Tabel 4.23. Gaya dalam lintang pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	84
Tabel 4.24. Gaya dalam lintang pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	84
Tabel 4.25. Gaya dalam normal pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	85
Tabel 4.26. Gaya dalam normal pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	85
Tabel 4.27. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	86
Tabel 4.28. Simpangan pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	87
Tabel 4.29. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	87
Tabel 4.30. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	88
Tabel 4.31. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	88
Tabel 4.32. Reaksi perletakan pada struktur variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	89

Tabel 4.33. Simpangan pada struktur variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	90
Tabel 4.34. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	90
Tabel 4.35. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	91
Tabel 4.36. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	91
Tabel 4.37. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan	92
Tabel 4.38. Simpangan pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan....	92
Tabel 4.39. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan	93
Tabel 4.40. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan	93
Tabel 4.41. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan	94
Tabel 4.42. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	95
Tabel 4.43. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	95
Tabel 4.44. Simpangan pada struktur 3 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	96
Tabel 4.45. Simpangan pada struktur struktur 4 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	96
Tabel 4.46. Gaya dalam momen pada struktur 3 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	96
Tabel 4.47. Gaya dalam momen pada struktur 4 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	97
Tabel 4.48. Gaya dalam lintang pada struktur 3 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	97

Tabel 4.49. Gaya dalam lintang pada struktur 4 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	98
Tabel 4.50. Gaya dalam normal pada struktur 3 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	98
Tabel 4.51. Gaya dalam normal pada struktur 4 lantai variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	99
Tabel 4.52. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok	100
Tabel 4.53. Simpangan pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok	101
Tabel 4.54. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok	101
Tabel 4.55. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok.....	102
Tabel 4.56. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada balok.....	103
Tabel 4.57. Reaksi perletakan pada variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom	104
Tabel 4.58. Simpangan pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom	105
Tabel 4.59. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom.....	105
Tabel 4.60. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom.....	106
Tabel 4.61. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah <i>shear connector</i> pada kolom.....	106
Tabel 4.62. Periode natural pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	107
Tabel 4.63. Partisipasi rasio massa pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	107
Tabel 4.64. Periode natural pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	107

Tabel 4.65. Partisipasi rasio massa pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	108
Tabel 4.66. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	108
Tabel 4.67. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	109
Tabel 4.68. Simpangan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	109
Tabel 4.69. Simpangan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	110
Tabel 4.70. Gaya geser dasar pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	110
Tabel 4.71. Gaya geser dasar pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	110
Tabel 4.72. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	111
Tabel 4.73. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	111
Tabel 4.74. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	111
Tabel 4.75. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	112
Tabel 4.76. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	112
Tabel 4.77. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	112
Tabel 4.78. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	113
Tabel 4.79. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	113
Tabel 4.80. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	113

Tabel 4.81. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	114
Tabel 4.82. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	114
Tabel 4.83. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan <i>concrete jacketing</i>	114
Tabel 4.84. Periode natural pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	115
Tabel 4.85. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	115
Tabel 4.86. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	116
Tabel 4.87. Simpangan pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	116
Tabel 4.88. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	117
Tabel 4.89. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	117
Tabel 4.90. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	118
Tabel 4.91. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	118
Tabel 4.92. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	119
Tabel 4.93. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	119
Tabel 4.94. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	120
Tabel 4.95. Periode natural pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	120
Tabel 4.96. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	121

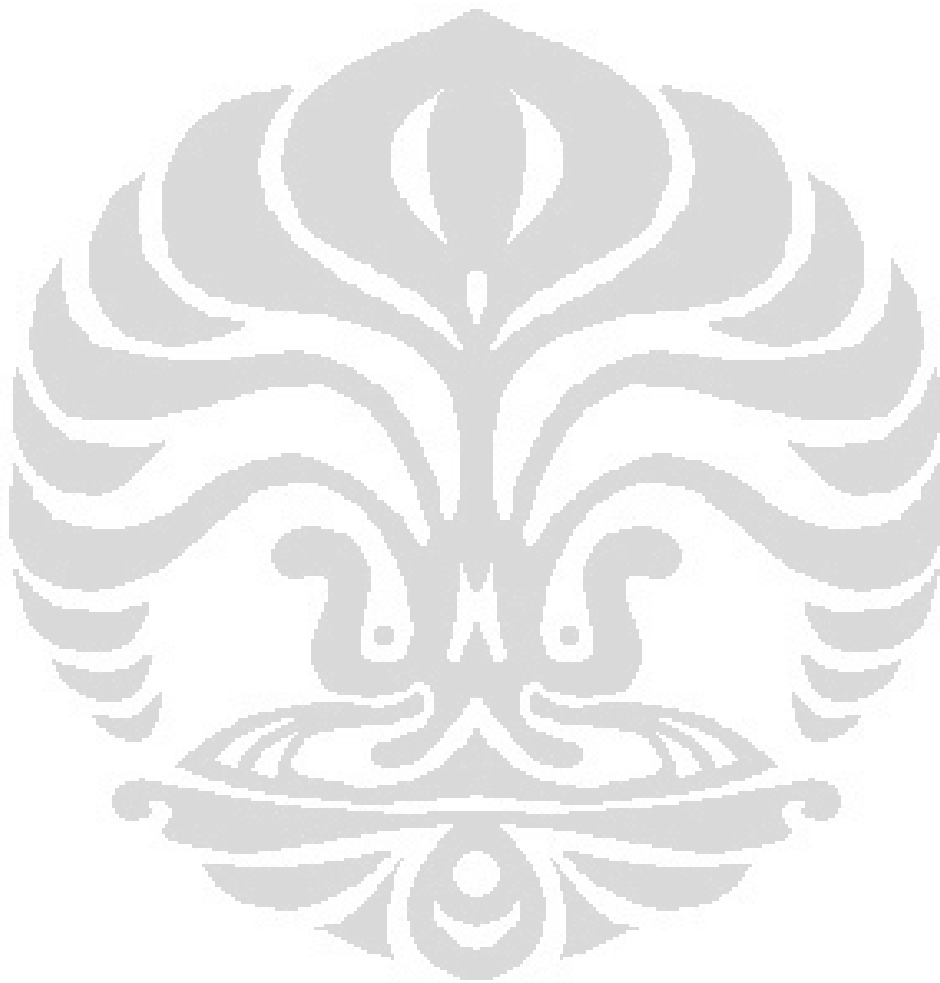
Tabel 4.97. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	122
Tabel 4.98. Simpangan pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	122
Tabel 4.99. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	123
Tabel 4.100. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	123
Tabel 4.101. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	124
Tabel 4.102. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	124
Tabel 4.103. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	125
Tabel 4.104. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	125
Tabel 4.105. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi diameter <i>shear connector</i> pada <i>concrete jacketing</i>	126
Tabel 4.106. Periode natural pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	126
Tabel 4.107. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	127
Tabel 4.108. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan.....	127
Tabel 4.109. Simpangan pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	128
Tabel 4.110. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	128
Tabel 4.111. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	129
Tabel 4.112. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	129

Tabel 4.113. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	129
Tabel 4.114. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	130
Tabel 4.115. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	130
Tabel 4.116. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan	130
Tabel 4.117. Periode natural pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	131
Tabel 4.118. Partisipasi rasio massa pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	131
Tabel 4.119. Periode natural pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	131
Tabel 4.120. Partisipasi rasio massa pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	131
Tabel 4.121. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	132
Tabel 4.122. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	132
Tabel 4.123. Simpangan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	133
Tabel 4.124. Simpangan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	133
Tabel 4.125. Gaya geser dasar pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	133
Tabel 4.126. Gaya geser dasar pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	134
Tabel 4.127. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	134
Tabel 4.128. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	135

Tabel 4.129. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	135
Tabel 4.130. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	136
Tabel 4.131. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	136
Tabel 4.132. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	137
Tabel 4.133. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	137
Tabel 4.134. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	138
Tabel 4.135. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	138
Tabel 4.136. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	139
Tabel 4.137. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan.....	139
Tabel 4.138. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton <i>concrete jacketing</i> yang digunakan	140
Tabel 4.139. Periode Getar pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	140
Tabel 4.140. Partisipasi Rasio Massa pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	141
Tabel 4.141. Reaksi Perletakan pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	142
Tabel 4.142. Simpangan pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	142
Tabel 4.143. Gaya Geser Dasar pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	143
Tabel 4.144. Gaya Dalam Momen untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok.....	144

Tabel 4.145. Gaya Dalam Momen untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok	144
Tabel 4.146. Gaya Dalam Lintang untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok	145
Tabel 4.147. Gaya Dalam Lintang untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok	145
Tabel 4.148. Gaya Dalam Normal untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok	146
Tabel 4.149. Gaya Dalam Normal untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Balok	146
Tabel 4.150. Periode Getar pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	147
Tabel 4.151. Partisipasi Rasio Massa pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	147
Tabel 4.152. Reaksi Perletakan pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	148
Tabel 4.153. Simpangan pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	148
Tabel 4.154. Gaya Geser Dasar pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	149
Tabel 4.155. Gaya Dalam Momen untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	149
Tabel 4.156. Gaya Dalam Momen untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	150
Tabel 4.157. Gaya Dalam Lintang untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	150
Tabel 4.158. Gaya Dalam Lintang untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	151
Tabel 4.159. Gaya Dalam Normal untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	151
Tabel 4.160. Gaya Dalam Normal untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah <i>Shear Connector</i> pada Kolom	152

Tabel 4.161. Gaya geser pada <i>shear connector</i> di potongan 1.....	156
Tabel 4.162. Gaya geser pada <i>shear connector</i> di potongan 2.....	159
Tabel 4.163. Gaya geser pada <i>shear connector</i> di potongan 3.....	161
Tabel 4.164. Gaya geser pada <i>shear connector</i> di potongan 4.....	164



DAFTAR NOTASI

- $P(t)$: Gaya luar yang akan didistribusikan ke seluruh struktur
- f_i : Gaya luar komponen massa terhadap percepatan gerakan tanah
- f_d : Gaya luar komponen redaman terhadap kecepatan gerakan tanah
- f_s : Gaya luar komponen kekakuan terhadap perpindahan gerakan tanah
- m : Massa
- c : Redaman
- k : Kekakuan
- \ddot{u} : Percepatan pergerakan
- \dot{u} : Kecepatan pergerakan
- u : Perpindahan pergerakan
- ω : Frekuensi sudut alami getaran
- ϕ : Ragam getar struktur
- \ddot{u}_g : Percepatan tanah
- ξ : Koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung kepada wilayah gempa
- f : Frekuensi alami getaran
- W_i : Berat lantai tingkat ke- i struktur atas suatu gedung, termasuk beban hidup yang sesuai
- z_i : Ketinggian lantai tingkat ke- i suatu struktur gedung terhadap taraf penjepitan lateral
- V : Baban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh gempa rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut
- C_I : Nilai faktor respon gempa yang didapat dari spektrum respon gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung
- V_s : Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan penduduk di dunia setiap saat terus berlanjut. Hal yang serupa terjadi di Indonesia. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa jumlah penduduk Indonesia selama dua puluh lima tahun mendatang terus meningkat yaitu dari 205,1 juta pada tahun 2000 menjadi 273,2 juta pada tahun 2025. Walaupun demikian, pertumbuhan rata-rata per tahun penduduk Indonesia selama periode 2000-2025 menunjukkan kecenderungan terus menurun. Demikian pula halnya dengan jumlah penduduk di kota-kota besar di Indonesia, khususnya kota Jakarta yang terus meningkat, tetapi memiliki laju pertumbuhan penduduk yang cenderung menurun. ([datastatistik-indonesia.com/proyeksi pertumbuhan penduduk](http://datastatistik-indonesia.com/proyeksi_pertumbuhan_penduduk), n.d, paragraf 2-4).

Meningkatnya jumlah penduduk di Jakarta dari tahun ke tahun inilah yang menyebabkan Jakarta sebagai salah satu kota terpadat di Indonesia dan juga di dunia. Hal ini tentu memiliki permasalahan yang tidak sedikit. Keterbatasan lahan adalah satu diantaranya. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk di daerah perkotaan yang sangat pesat inilah maka kebutuhan akan lahan untuk perumahan dan perkantoran menjadi salah satu masalah utama dalam pembangunan perkotaan.

Pada masa lalu dimana jumlah penduduk belum sebanyak sekarang dan pembangunan belum segegar sekarang, pemerintah membangun gedung biasanya hanya terdiri dari dua lantai. Hal ini sesuai dengan kebutuhan saat itu. Namun kini kebutuhan telah meningkat dan persediaan lahan sangat sedikit serta memiliki harga yang cukup mahal. Karena sedikit dan tingginya harga lahan di daerah pusat perkotaan, maka pembangunan ke arah vertikal merupakan salah satu pilihan yang ditempuh dalam menyiasati masalah ini.

Bangunan pemerintahan pun melakukan renovasi ke arah vertikal. Yang menjadi tantangan disini adalah bahwa bangunan pemerintah yang akan

direnovasi ke arah vertikal tersebut tidak dapat diruntuhkan atau dibongkar terlebih dahulu mengingat izin tentang penghapusan aset yang rumit, sehingga renovasi tersebut harus tetap mempertahankan bangunan yang telah ada dengan metode penambahan lantai.

1.2 Permasalahan

Semakin berkembangnya zaman dan kebutuhan, maka kebutuhan akan gedung yang lebih besar pun meningkat. Permasalahan yang terjadi disini adalah bahwa renovasi vertikal untuk bangunan pemerintah dengan menambahkan lantai harus tetap mempertahankan bangunan yang telah ada, tidak boleh dilakukan kegiatan meruntuhkan bangunan atau pembongkaran pada bangunan yang telah ada.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan akademis dalam kurikulum Program Studi Teknik Sipil S1-Reguler Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Sedangkan secara khusus tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perilaku dan kinerja *concrete jacketing* sebagai metode yang digunakan untuk melakukan perkuatan dan perbaikan struktur akibat beban gravitasi (beban akibat melakukan penambahan lantai) dan beban lateral (beban gempa).

1.4 Pembatasan Masalah

Penulis akan membatasi permasalahan dengan tujuan untuk menyederhanakan perhitungan-perhitungan serta pembahasan materi yang lebih detail. Pembatasan masalah tersebut antara lain :

- a. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemodelan asumsi pada gedung pemerintah di Jakarta yang memiliki dua lantai dengan luas bangunan $40 \times 10 \text{ m}^2$. Secara keseluruhan spesifikasi bangunan eksisting ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Luas tiap Lantai} = 400 \text{ m}^2$$

Universitas Indonesia

Tinggi antar Lantai	= 4 m
Jumlah Lapis Bangunan	= 2 lapis
Dimensi kolom	= 300 x 300 mm ²
Dimensi Balok	= 300 x 500 mm ²
Dimensi Pelat	= 120 mm
Mutu beton (fc')	= K250 atau 20,75 Mpa

- b. Metode yang digunakan untuk melakukan renovasi bangunan dengan menambahkan lantai menggunakan metode *concrete jacketing*
- c. Struktur atas bangunan menggunakan sistem portal terbuka (*open frame*) dengan material beton bertulang yang merupakan suatu kesatuan sistem struktur (monolit) yang terdiri dari kolom, balok, dan pelat.
- d. Analisis hanya dilakukan pada struktur atas bangunan dengan analisis dua dimensi
- e. pada penelitian ini penulangan pada *concrete jacketing* tidak dianalisis karena penulis hanya melakukan analisis pada perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing*

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah :

- Studi kepustakaan
Dalam hal ini penulis mencari literatur yang sesuai dengan topik yang dipilih.
- Diskusi
Dalam penelitian ini penulis juga melakukan diskusi dengan pembimbing mengenai hal-hal yang berhubungan dengan topik penelitian
- Pemodelan struktur dengan program SAP2000 v.10 dan analisis hasil
Penelitian dilakukan dengan menggunakan beberapa variabel analisis untuk dibandingkan pada pemodelan pertama. Seperti variasi mutu beton, jumlah penggunaan *shear connector*, diameter *shear connector* yang digunakan,

jumlah penambahan lantai, serta variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok maupun kolom.

Langkah awal penelitian yaitu dengan melakukan pemodelan dan analisis struktur bangunan eksisting dengan menggunakan program SAP200 v.10. Selanjutnya setelah pemodelan struktur bangunan eksisting selesai, dilakukan pemodelan renovasi balok dan kolom dengan berbagai variasi yang telah disebutkan.

Berikut adalah variasi pemodelan yang akan digunakan untuk menganalisis perilaku *concrete jacketing* sebagai metode yang digunakan untuk melakukan renovasi pada bangunan dengan melakukan penambahan lantai :

- Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*
- Variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*
- Variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*
- Variasi jumlah lantai yang ditambahkan
- Variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan
- Variasi jumlah *shear connector* pada balok
- Variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Setelah semua model dijalankan dengan menggunakan bantuan program SAP2000 v.10 maka hasilnya selanjutnya dianalisis, seperti periode getar natural bangunan, reaksi perletakan, simpangan (*displacement*), gaya geser dasar, Gaya-Gaya Dalam, serta tegangan geser dari *shear connector*.

Sedangkan pada pemodelan kedua penulis ingin melihat bagaimana efek penggunaan *shear connector* dengan melakukan pemodelan kolom tunggal dengan *concrete jacketing* menggunakan elemen *shell*. Hasil pemodelan akan dianalisis apakah kolom yang mengalami *concrete jacketing* tersebut telah bersifat monolit atau tidak dengan melihat gaya geser yang terjadi.

1.6 Hipotesis Awal

Adanya perkuatan dan perbaikan elemen struktur kolom dan balok dengan menggunakan *concrete jacketing* ini akan menambah kekakuan komponen struktur tersebut sehingga akan menambah kekuatannya juga. Penggunaan mutu

Universitas Indonesia

beton yang semakin tinggi dan *shear connector* semakin banyak akan membuat kekakuan struktur meningkat mendekati dengan kondisi monolitnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dilakukan dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

- Bab 1 : Pendahuluan
Uraian mengenai hal umum tentang penulisan penelitian, latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan masalah, hipotesis awal dan sistematika penulisan.
- Bab 2 : Dasar Teori
Berisi tentang uraian dasar-dasar teori yang digunakan dalam penulisan tugas akhir, serta dasar-dasar analisis yang digunakan guna mencapai tujuan penelitian ini. Diantaranya tentang jenis-jenis usaha perbaikan kekuatan struktur, *concrete jacketing*, teori dinamika struktur, teori struktur komposit, serta teori statik ekuivalen.
- Bab 3 : Metode Penelitian
Uraian mengenai informasi umum pemodelan struktur, variasi pemodelan, dan hasil akhir yang akan dilakukan analisis.
- Bab 4 : Pembahasan
Pada bagian ini penulis melakukan penjelasan pemodelan dan analisis dari hasil akhir sebelum menarik kesimpulan dari penelitian yang dilakukan
- Bab 5 : Penutup
Berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan juga saran-saran yang akan diberikan penulis terkait penelitian ini.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Penambahan tingkat pada suatu bangunan berarti akan terjadi penambahan beban pada bangunan tersebut. Penambahan beban ini tentu diluar rencana desain struktur bangunan lamanya sehingga struktur bangunan juga harus dilakukan perbaikan dan perkuatan kembali karena adanya penambahan lantai ini.

Perbaikan dan perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk meningkatkan kekuatan elemen struktur agar mampu menahan beban sesuai dengan rencana. Umumnya struktur perlu perkuatan ketika terjadi perubahan fungsi bangunan atau ketika elemen-elemen strukturnya dirancang sesuai tata cara yang lama dimana beban gempa nominalnya lebih rendah dari yang ditetapkan oleh tata cara saat ini (Purnomo, Tavio, Imran dan Raka, 2002, dan Badan Standardisasi Indonesia, 2002). Kemungkinan lainnya, struktur tersebut sebelumnya hanya didesain terhadap beban gravitasi saja. Padahal struktur tersebut harus menerima beban yang lebih besar akibat beban gempa sehingga struktur tersebut bisa tidak kuat. Hal ini akan mengakibatkan kerusakan atau bahkan kegagalan/keruntuhan.

2.2 Jenis-Jenis Usaha Perbaikan Kerusakan Struktur

Saat ini ada banyak cara yang dilakukan untuk melakukan perbaikan atau perkuatan elemen-elemen struktur beton, jenis-jenis perbaikan di bawah ini akan menyelesaikan satu atau lebih kategori defisiensi yang dialami oleh struktur bangunan.

a. Penambahan Elemen Baru

Hal ini merupakan hal yang paling jelas dan umum dalam usaha perkuatan struktur. Dalam banyak kasus, dinding geser baru, portal berpengaku (braced frame), atau portal penahan momen (moment frames) ditambahkan pada

bangunan eksisting untuk memitigasi defisiensi pada kategori kekuatan global, kekakuan global, konfigurasi, atau mengurangi bentang diafragma.

Penambahan elemen baru maupun peningkatan kekuatan elemen eksisting dapat menimbulkan masalah *load path*. Perancang harus meyakinkan bahwa beban baru yang ditambahkan oleh elemen baru dapat disalurkan ke komponen eksisting lainnya. Maka dari itu, pengurangan defisiensi pada kekuatan global atau kekakuan global dapat menciptakan defisiensi pada *load path* yang tidak ada pada awalnya.

b. Peningkatan Kinerja Elemen Eksisting

Daripada melakukan usaha retrofit yang memberikan dampak pada keseluruhan struktur, defisiensi dapat dihapus pada tingkat lokal elemen. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan kekuatan lentur maupun geser elemen.

Diketahui bahwa komponen tertentu dari suatu struktur akan meleleh ketika diberi gerakan tanah yang kuat, penting untuk diketahui bahwa beberapa *sequence* kegagalan selalu diinginkan, misalnya balok gagal terlebih dahulu sebelum kolom, batang *brace* gagal terlebih dahulu sebelum sambungan, lentur gagal terlebih dahulu sebelum geser pada kolom dan dinding. Hubungan ini dapat ditentukan dengan analisis yang dikendalikan dengan perkuatan secara lokal seperti kolom dan sambungan pada *brace* diperkuat dan kapasitas geser kolom dan dinding dapat ditingkatkan menjadi lebih kuat daripada geser yang dapat disalurkan oleh kekuatan lentur.

Kolom beton dapat dibungkus dengan baja, beton, atau material lainnya untuk menyediakan ikatan dan kekuatan geser.

Walaupun peningkatan kinerja elemen eksisting dapat menyediakan kekuatan dan kekakuan terhadap defisiensi yang sama dengan menambahkan elemen, usaha ini umumnya digunakan untuk memitigasi detail komponen yang tidak cukup.

c. Perbaikan Sambungan antar Komponen

Teknik perbaikan ini hampir seluruhnya ditargetkan untuk memitigasi defisiensi pada kategori *load path*. Dengan pengecualian kolektor, defisiensi pada *load path* biasanya disebabkan oleh sambungan yang lemah.

Namun demikian, beberapa sambungan yang lemah, khususnya antara kolom dan balok, tidak secara langsung berada pada *load path* beban gempa utama tetapi masih membutuhkan perkuatan untuk meyakinkan penahanan beban gravitasi selama guncangan yang kuat.

d. Mengurangi *Demand*

Untuk bangunan yang memiliki sistem penahan beban lateral yang lengkap tetapi lemah dan juga memiliki ruang yang berlebih atau tempat di mana ruangan tambahan baru dapat dibangun, penghilangan beberapa lantai teratas terbukti secara ekonomi dan merupakan metode yang praktis dalam menyediakan kinerja yang dapat diterima. Dalam banyak kasus tidak diperlukan perkuatan pada lantai-lantai di bawahnya, walaupun akibat periode getar yang menjadi lebih pendek membuat respon gaya geser dasar bertambah.

Teknik mengurangi *demand* dengan memodifikasi respon dinamik struktur juga termasuk dalam kategori ini. Contohnya adalah isolasi seismik, walaupun prosedur ini secara relatif lebih mahal dibandingkan dengan teknik lain. Teknik untuk memodifikasi respon yang secara ekonomi dapat bersaing dengan perbaikan tradisional adalah penambahan redaman bangunan. Redaman yang ditambahkan dapat mengurangi deformasi yang secara cukup untuk menghindari kerusakan yang tidak dapat diterima pada sistem eksisting

e. Penghilangan Beberapa Komponen

Kapasitas deformasi dapat ditingkatkan dengan melepaskan elemen-elemen getas dari struktur yang berdeformasi atau dengan menghilangkannya secara menyeluruh. Contohnya adalah meletakkan *vertical sawcuts* pada dinding bata yang tidak diperkuat untuk mengubah perilaku dari kegagalan geser menjadi mode yang lebih dapat diterima dan untuk menciptakan slots antara balok dan kolom untuk menghindari kolom menjadi kolom pendek yang berpotensi bahaya terhadap kegagalan geser.

2.3 Teknik-Teknik Perbaikan Bangunan dengan Metode Peningkatan Kinerja Elemen Eksisting

Terdapat berbagai teknik perbaikan gedung menggunakan metode peningkatan kinerja elemen eksisting yang berkembang saat ini. Metode ini seperti yang dipaparkan sebelumnya adalah metode yang dapat memperkuat struktur secara keseluruhan dengan meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan atau daktilitas komponen struktural, terutama yang mengalami defisiensi sehingga metode ini merupakan bentuk eliminasi defisiensi pada tingkat lokal elemen.

Variasi metode ini bermacam-macam, mulai dari yang tradisional seperti pelapisan elemen menggunakan beton bertulang (*concrete jacketing*) maupun baja (*steel jacketing*) atau yang lebih modern dan populer saat ini, yaitu pelapisan menggunakan serat komposit (*fiber reinforced polymer*) berbahan dasar karbon, aramid, maupun *glass*.



Gambar 2.1. Metode Perkuatan dengan Pemasangan *Wire Mesh Reinforcement*

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006



Gambar 2.2. Metode Perkuatan Struktur dengan *FRP Jacketing*

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006

Pemilihan metode perbaikan dan perkuatan ini bergantung kepada perilaku dari struktur tersebut. Strategi perkuatan struktur dapat dikelompokkan sebagai peningkatan daya tahan akibat beban lateral, peningkatan daktilitas dan gabungan diantara peningkatan daya tahan dan peningkatan daktilitas (Sugano, 1981). Pada dasarnya teknik perbaikan dan perkuatan pada beton bertulang dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu penambahan elemen struktural yang baru dan perkuatan elemen struktural yang telah ada.

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode *concrete jacketing* sebagai perkuatan dan perbaikan elemen struktur utama eksisting. Sesuai dengan tujuan penelitian, nanti akan dianalisis perilaku *concrete jacketing* ini akibat dari penambahan lantai sebagai beban gravitasi dan gempa sebagai beban lateral. Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang teknik *concrete jacketing*.

2.4 *Concrete jacketing*

Metode perkuatan dengan *concrete jacketing* ini sudah cukup umum digunakan. Penambahan *concrete jacketing* berguna untuk meningkatkan kekuatan lentur, daktilitas, kekakuan dan kekuatan geser dari elemen-elemen struktur yang diberi *concrete jacketing*. Teknik penambahan kekuatan elemen

struktur dengan metode ini juga bukan hanya digunakan untuk bangunan saja, melainkan juga bisa digunakan untuk memperkuat elemen struktur jembatan. (Eric Andrew Miller, B.S. 2006)

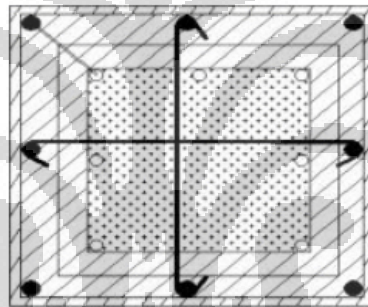
2.4.1 Tinjauan Literatur

Aguilar et al, (1989) menampilkan sebuah studi statistik pada metode perbaikan dan kekuatan struktur dari 114 bangunan beton bertulang yang hancur setelah mengalami gempa pada tahun 1985 di Mexico City. Studi statistik ini menunjukkan bahwa teknik perbaikan dan kekuatan struktur yang paling umum dipakai adalah penambahan dinding geser (*shear wall*) dan *concrete jacket* pada kolom.

Julio et al, (2001) melakukan tes pada kolom beton bertulang yang diperkuat dengan teknik *concrete jacketing*. Tulangan baja longitudinal tambahan diangkur pada bagian bawah dari kolom asli dengan menggunakan dua komponen material epoksi. Model-model percobaan tersebut kemudian dilakukan pengetesan dengan beban yang sama, yang terdiri dari gaya aksial yang konstan dikombinasikan dengan peningkatan momen lentur dan gaya geser. Pada awalnya kegagalan yang terjadi pada tulangan longitudinal pada kolom asli dan tergelincirnya semua tulangan baja tambahan pada *concrete jacketing* telah diteliti. Tes tarik dilakukan untuk mengetahui permasalahan ini yang pada akhirnya dapat disimpulkan, bahwa tulangan baja tambahan tersebut tergelincir karena lubang yang dibuat untuk memasangnya pada bagian bawah tidak cukup baik. Oleh karena itu penggunaan *vacuum cleaner* cukup penting guna memastikan bahwa tidak akan terjadi kegagalan akibat tergelincir, tetapi diubah menjadi kegagalan tarik dari baja tersebut.

Julio (2001) melakukan pengujian kemiringan geser dan tes tekan pada sejumlah bahan percobaan, dengan mempertimbangkan kondisi permukaan beton dan juga pemakaian dua komponen *epoxy resin*. Nilai dari kuat geser dan kuat tekan pada permukaan berkurang akibat dari pemakaian *epoxy resin* pada permukaan beton yang telah dikasarkan, hal ini sangat berbeda dengan bahan percobaan yang tidak dilakukan pengkasaran pada permukaannya.

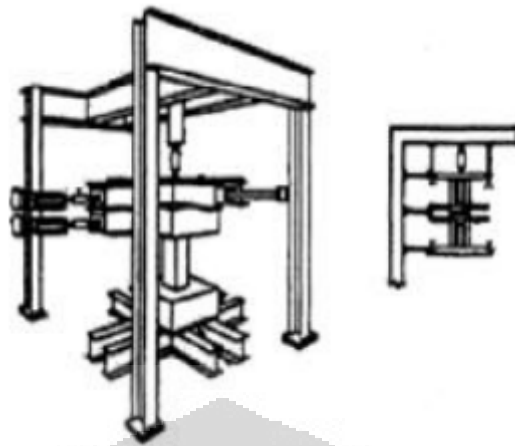
Bett et al (1988) dan Arturo (2001) telah mempelajari tiga model kolom (model 1-1, 1-2, 1-3). Setelah dilakukan tes awal seperti biasanya, kolom percobaan 1-1 diperbaiki kembali dengan sistem *concrete jacketing* lalu kemudian dilakukan pengetesan kembali sebagai kolom percobaan 1-1 R. Dua kolom percobaan sisanya juga dilakukan perkuatan dengan sistem dan pengetesan seperti kolom sebelumnya. Sistem *concrete jacketing* ini terdiri dari tulangan menyatu yang mengelilingi kolom (*cage reinforcement*) yang berfungsi seperti bekisting dan ditutupi oleh *shotcrete*. Tulangan melintang tambahan pada kolom percobaan 1-1 R dan 1-3 dipasang pada lubang yang dibuat pada kolom aslinya, yang kemudian ditambahkan epoksi dan diikatkan ke tulangan longitudinal yang berada ditengah-tengah antara tulangan melintang dan tulangan menyatu yang mengelilingi kolom (*cage reinforcement*). Model kolom percobaan ini di tes di Univesity of Texas, gambarnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Model Kolom Percobaan yang Dilakukan Pengetesan Di *University Of Texas* (Arturo, 2001)

Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Dengan pemberian beban aksial dan lateral yang konstan, kolom-kolom percobaan tersebut menunjukkan adanya simpangan (*displacement*). Simpangan ini perlahan meningkat hingga akhirnya kolom-kolom percobaan ini mengalami kegagalan. Gambar 2.4 menunjukkan set alat untuk melakukan pengetesan dengan beban aksial dan lateral.



Gambar 2.4. Set Alat Pembebanan Aksial dan Lateral di *University of Texas*

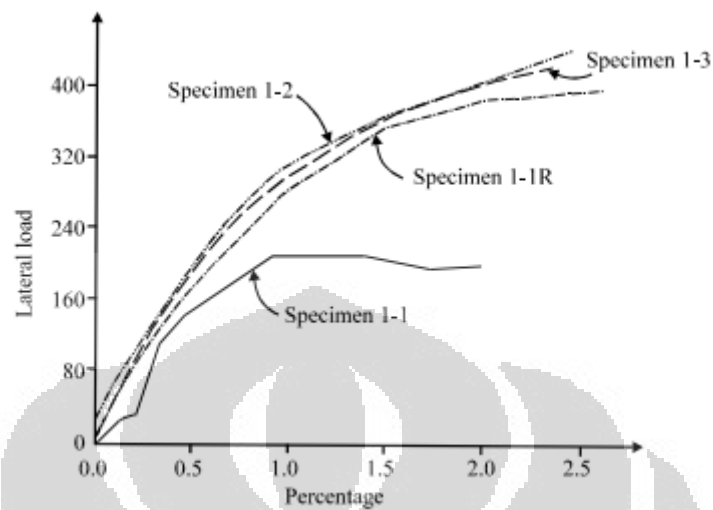
Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan beberapa hal, diantaranya adalah :

- Model 1-1 tidak mampu menahan beban gempa sedang yang diaplikasikan, model ini mengalami kegagalan geser secara dominan
- Ketahanan geser pada semua kolom percobaan meningkat setelah dilakukan perbaikan dan perkuatan dengan *shotcrete jacketing* dan diberi beban lateral seperti kolom percobaan 1-1 dan mengalami peningkatan daktilitas yang tinggi jika dibandingkan dengan kolom percobaan 1-1
- Penggunaan tulangan melintang sebagai bagian dari perbaikan dan perkuatan kolom secara signifikan tidak berdampak pada kekakuan atau kekuatan saat dilakukan pembebanan monoton, tetapi saat dilakukan pembebanan lateral, tulangan melintang ini mampu menambah kekakuan dan kekuatan kolom *jacketing* hingga melebihi batas simpangannya
- Kolom 1-1 R yang telah diperbaiki dengan menggunakan teknik *concrete jacketing* yang sama membuktikan bahwa ternyata juga mampu menahan beban lateral yang hampir sama. Kekakuan dan kekuatan kolom 1-1 R ini hampir sama dengan kolom percobaan 1-2 dan 1-3
- Peningkatan perilaku kolom-kolom percobaan ini akan dapat diterima, dalam hal daktilitas misalnya, apabila tulangan longitudinal dari *reinforcement cage* dipasang tepat pada kolom dan tidak mengalami leleh

Universitas Indonesia

(Bett et al. 1989). Hubungan antara pembebanan lateral dengan simpangan dapat dilihat pada Gambar 2.5.

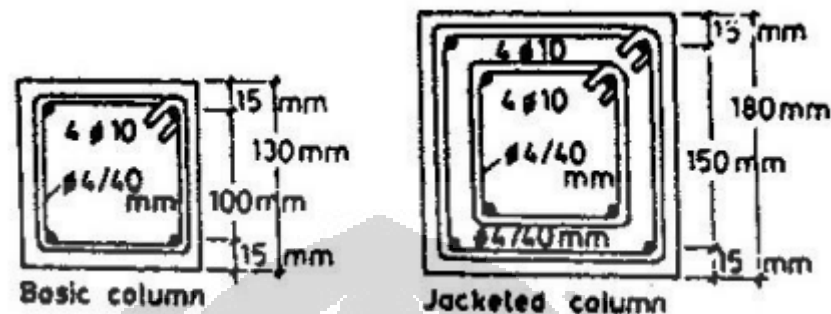


Gambar 2.5. Pembebanan Lateral-Displacement Drift Kolom Percobaan

Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Ersoy et al. (1993) melakukan dua rangkaian percobaan untuk mempelajari perilaku dari perkuatan dan perbaikan kolom dengan metode *concrete jacketing*. Percobaan pertama membandingkan perilaku dari kolom yang telah diberikan perkuatan *concrete jacketing* dengan kolom monolit yang diberi pembebanan aksial secara monoton. Semua kolom monolit dibuat sebagai model dasar sebelum dilakukan perkuatan *concrete jacket* ditempat agar terjadi interaksi dan ikatan yang baik antara kolom dasar dan material *jacketing*. Tulangan sengkang juga dipasang pada kolom dasar dan kolom *jacketing*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. *Jacketing* pada percobaan ini diaplikasikan pada dua kondisi, yaitu setelah dilakukan uji pembebanan dan saat dilakukan uji pembebanan. Hasilnya menunjukkan bahwa kolom *jacketing* yang dipasang setelah uji pembebanan memiliki perilaku yang lebih baik, mencapai 80% hingga 90% dari kekuatan bahan percobaan yang monolit. Sementara kolom *jacketing* yang dipasang ketika dilakukan uji pembebanan tidak menunjukkan perilaku yang lebih baik dibandingkan yang dipasang setelah dilakukan uji pembebanan dengan hanya mencapai 50% dari kekuatan bahan percobaan yang monolit. Percobaan kedua yaitu mempelajari tentang keefektifan dari *concrete jacketing*

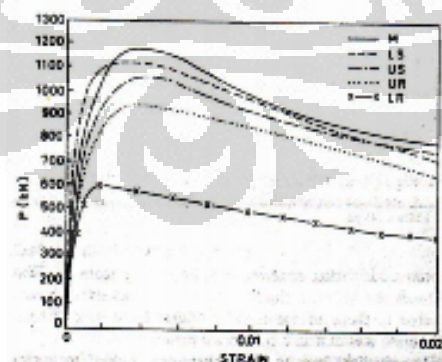
dengan pembebanan kombinasi aksial dan momen pada kolom. Kedua kolom yang diperbaiki dan diperkuat dengan *jacketing* memiliki perilaku yang cukup dengan pembebanan yang monoton dan beban siklik.



Gambar 2.6. Dimensi Senggang dari Bahan Percobaan yang Diperkuat (Ersoy Et Al. 1993)

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006

Gambar 2.7 menunjukkan bahan percobaan yang mengalami beban aksial secara monoton dari rangkaian percobaan Ersoy et al. yang pertama. M merupakan bahan percobaan monolit. L dan U mewakili bahan percobaan yang diperbaiki ketika dilakukan saat pembebanan dan saat pembebanan selesai. S dan R mewakili perkuatan dan perbaikan. Dari hasil percobaan ini menunjukkan bahwa bahan percobaan yang diperkuat cukup mampu menahan beban aksial seperti halnya bahan percobaan yang monolit.

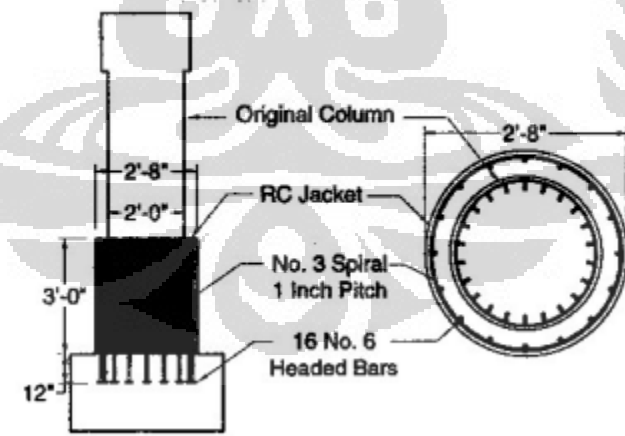


Gambar 2.7. Kurva Pembebanan-Tegangan untuk Bahan Percobaan 1 (Ersoy et al. 1993)

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006

Rodriguez dan Park (1994) melakukan percobaan juga pada kolom persegi yang diperbaiki dan diperkuat dengan *concrete jacketing* dengan pembebanan aksial dan lateral tekan. Tulangan melintang dipasang pada *concrete jacketing*. *Concrete jacketing* mampu meningkatkan kekuatan dan kekakuan kolom dasar hingga tiga kali lipat. Hal ini juga menunjukkan bahwa kerusakan kolom sebelum dilakukan retrofit tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada perilaku dari *concrete jacket*. Secara keseluruhan, *concrete jacketing* dengan penulangan secara signifikan menambah kekakuan, kekuatan, dan daktilitas dari kolom beton bertulang yang tipikal.

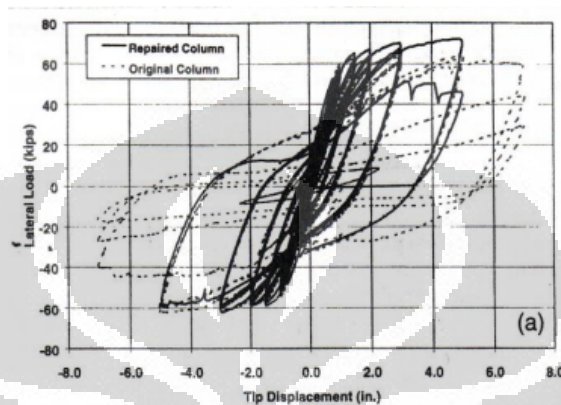
Lehman et al. (2001) menggunakan *concrete jacketing* untuk melakukan perbaikan dan perkuatan kolom yang rusak. Tiga metode perbaikan dipertimbangkan dan diimplementasikan untuk kolom yang mengalami kerusakan, yang dibangun berdasarkan spesifikasi peraturan gempa yang baru. Kerusakan dasar pada kolom termasuk kehancuran pada beton, tekuk dan patah pada tulangan longitudinal, dan patah pada tulangan spiral, yang merupakan akibat dari pembebanan aksial dan lateral. Penulangan kolom dengan *concrete jacketing* dipasang tulangan dengan penulangan spiral, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Geometri dan Penulangan pada Kolom 430SR, Diperkuat dengan Penulangan Spiral (Lehman Et Al. 2001)

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006

Beton yang terlepas kemudian dibersihkan dari permukaan demikian pula pada kolom dasar. Gambar 2.9 menunjukkan hasil dari pembebanan lateral dengan simpangan untuk salah satu bahan percobaan yang telah diperbaiki. Kolom yang diperbaiki dan diperkuat dengan *concrete jacketing* menunjukkan adanya peningkatan kekakuan dan kekuatan, jika dibandingkan dengan kolom asli sebelum mengalami kerusakan.

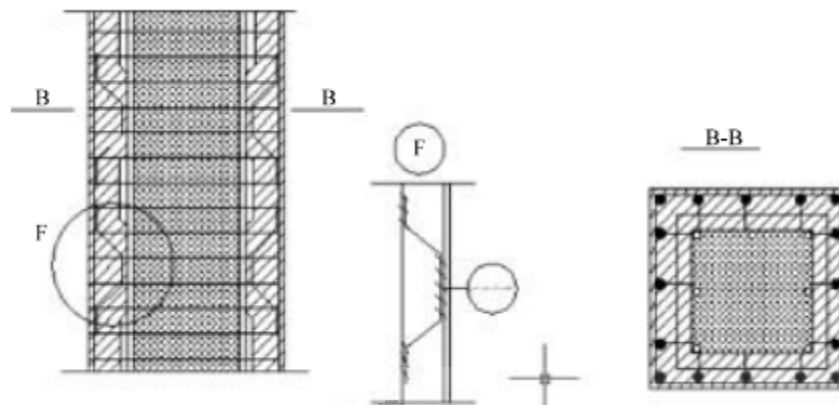


Gambar 2.9. Grafik Pembebanan Lateral-*Displacement* untuk Bahan Percobaan Asli dan Setelah Diperbaiki (Lehman et al. 2001)

Sumber : *Experimental Research of Reinforced Concrete Column Retrofit Methods*, Eric Andrew Miller, B.S. 2006

2.4.2 Metode Perbaikan dan Perkuatan Kolom dengan *Concrete jacketing*

Penambahan *concrete jacketing* ini digunakan untuk meningkatkan kekuatan lentur, daktilitas, kekakuan dan kekuatan geser dari komponen struktur. Ketika *jacketing* ini dipasang, maka akan mengalami kombinasi fungsi atau perpaduan antara beton lama dan beton baru yang terjadi melalui ikatan antar materialnya. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.10 bahwa ikatan antara beton lama dan beton baru dapat diperkuat dengan membuat permukaan beton lama menjadi kasar dan dipasangkan tulangan penghubung antara tulangan baru dan tulangan lama (Rahae dan Nemati, 2004).



Gambar 2.10. Sambungan Antara Tulangan Baru (*Jacket*) dan Tulangan Lama

Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Metode perkuatan dan perbaikan kolom dengan *concrete jacketing* ini lebih mudah dibandingkan dengan metode perkuatan lainnya, seperti penggunaan metode *steel jacketing* misalnya. Kemudahan pelaksanaan dari metode *concrete jacketing* untuk perkuatan dan perbaikan kolom inilah yang membuat banyak perusahaan konstruksi mampu melakukan perkuatan dan perbaikan kolom bangunan dengan menggunakan beton bertulang dengan kualitas baru.

Perbaikan dan atau perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing* ini perlu dilakukan apabila :

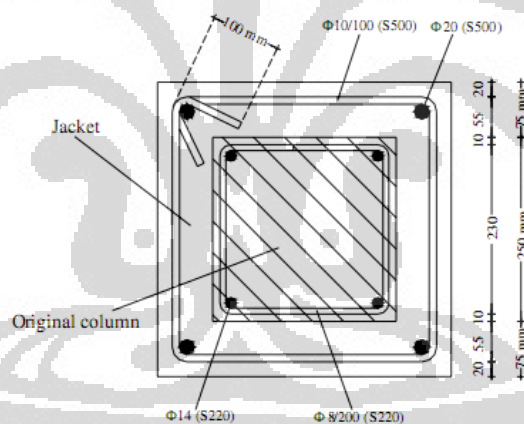
1. Beban yang diterima kolom meningkat, hal ini dimungkinkan akibat penambahan jumlah tingkat/lantai bangunan atau adanya kesalahan desain kolom sehingga kolom tak mampu menahan beban.
2. Kuat tekan beton atau persentase jumlah tulangan dan tipe tulangan tidak sesuai dengan standar peraturan yang berlaku
3. Kecondongan/kemiringan dari kolom melebihi batas (tidak lolos *verticality test*)
4. Penurunan pada pondasi melebihi batas

Ukuran dari *jacketing* dan jumlah serta diameter tulangan baja yang akan digunakan pada proses *jacketing* bergantung kepada analisis struktur kolom tersebut.

Dalam beberapa kasus, sebelum metode *concrete jacketing* ini dilaksanakan, untuk sementara kita harus mengurangi atau bahkan menghilangkan beban yang terjadi pada kolom yang akan mengalami *jacketing*. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

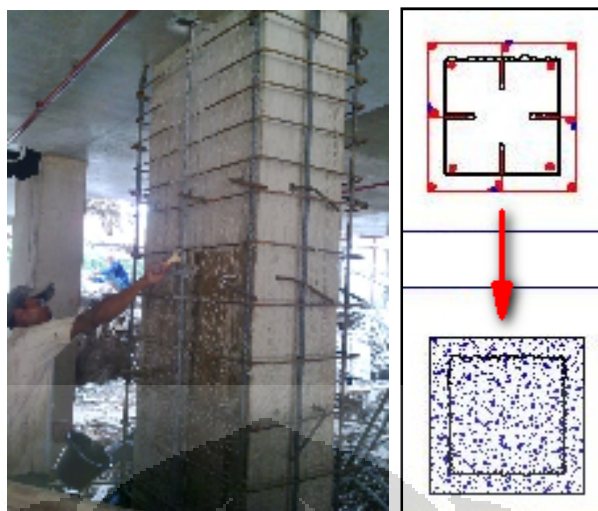
- Memasang *mechanical jacks* diantara kedua lantai
- Memasang tiang penyangga tambahan (*support*) diantara kedua lantai

Metode *concrete jacketing* sendiri memiliki variasi penulangan yang beragam. Baik tulangan transversal maupun tulangan longitudinal. Hal ini tentu tergantung kepada desain penulangan yang akan dipilih. Diantara teknik penulangan kolom dengan *concrete jacketing* ini yaitu: pemasangan sengkang di sekitar tulangan *jacketing*, pemasangan sengkang dan *dowel* atau *shear connector* yang akan menghubungkan beton lama dan beton baru, serta pemasangan sengkang dan tulangan bengkok yang di las ke tulangan lama dan tulangan baru.



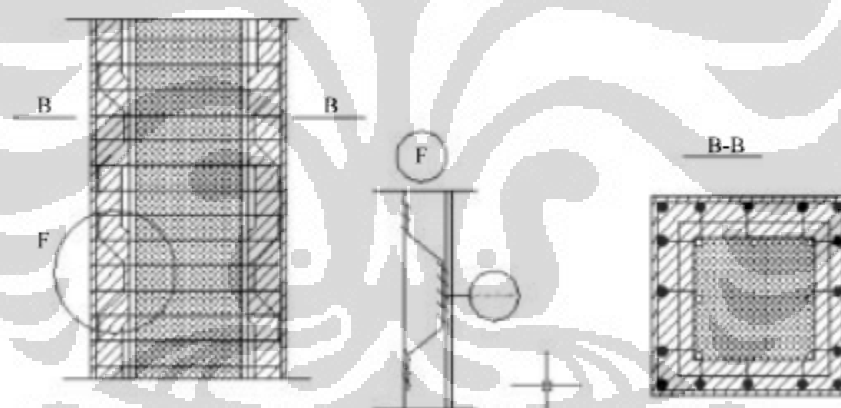
Gambar 2.11. Teknik Penulangan *Jacketing* dengan Pemasangan Tulangan Sengkang di Sekitar Tulangan *Jacketing*

Sumber : K. G. Vadoros, S.E. Dritsos, *Construction and Building Materials* 22 (2008)



Gambar 2.12. Teknik Penulangan *Jacketing* dengan Pemasangan Senggang dan *Dowel/Shear Connector* Antara Beton Lama dan Beton Baru

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-columns/1935/> - dokumentasi kerja praktek di apartemen Margonda Residence



Gambar 2.13. Teknik Penulangan *Jacket* dengan Pemasangan Senggang dan Tulangan Bengkok yang di Las ke Tulangan Lama dan Tulangan Baru

Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Pada paragraf berikut ini akan dijelaskan prosedur dari *jacketing* pada kolom dengan menggunakan tipe tulangan seperti pada Gambar 2.13.

Penambahan Tulangan Longitudinal

Pengankuran ke bagian bawah struktur : Salah satu keuntungan dari perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing* ini adalah bahwa peningkatan kekakuan dari struktur yang tersebar merata, hal yang sebaliknya tidak dimiliki

Universitas Indonesia

oleh teknik perkuatan struktur dengan menambah dinding geser (*shearwalls*) atau pengaku baja (*steel bracing*). Pada dasarnya, prosedur pertama ini memang diperlukan guna membuat pondasi yang baru, atau setidaknya memperkuat pondasi eksisting. Umumnya, pada metode perkuatan dengan *concrete jacketing* ini tulangan longitudinal baja dari *jacketing* dapat diangkur atau ditanam pada struktur bagian bawahnya.

Pemasangan tulangan yang menembus pelat : Ketika sifat kontinuitas antara pelat lantai dan kolom *concrete jacketing* dibutuhkan, maka pada pelat harus disediakan lubang agar tulangan longitudinal *jacketing* dapat terpasang. Proses pemasangan tulangan longitudinal yang juga menembus pelat lantai ini tidak akan mengalami kesulitan jika dilaksanakan pada struktur pelat-kolom. Sebaliknya, proses ini akan mengalami kesulitan apabila dilaksanakan pada struktur balok-kolom, hal ini karena pada struktur balok-kolom pemasangan tulangan longitudinal harus menghindari pertemuan antara tulangan balok dan kolom. Untuk menghindari persoalan ini, maka tulangan longitudinal harus dipasang pada sudut-sudut, sehingga akan menyebabkan pemakaian tulangan yang lebih banyak (Jara *et al.*, 1989).

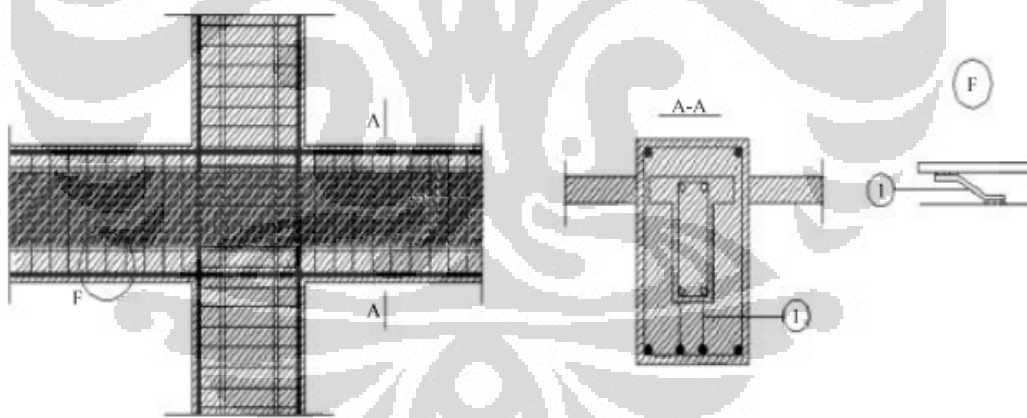
Perawatan permukaan beton : Telah kita ketahui bahwa keberhasilan dari *jacketing* untuk memperkuat kolom beton bertulang tergantung kepada ikatan yang baik antara kolom asli dengan kolom *jacketing*. Untuk mencapai tujuan ini, perawatan permukaan beton harus dilakukan secara tepat. Tindakan yang umumnya dilakukan untuk mengatasi hal ini adalah dengan meningkatkan kekasaran permukaan beton lama dan memberikan *bonding agent*, biasanya *epoxy resin*. Atau penghubung baja juga kadang-kadang digunakan (Julio *et al.*, 2005).

Spasi dari sengkang tambahan : Kemampuan akan struktur monolit dari kolom beton bertulang yang telah mengalami *jacketing* dapat dicapai apabila persentase yang lebih tinggi dari penulangan transversal dipertimbangkan pada solusi perbaikan ini. Oleh karena itu, telah direkomendasikan bahwa setengah spasi dari penulangan transversal kolom eksisting juga dipakai untuk penulangan transversal pada *jacketing*.

Penambahan beton baru : Biasanya penambahan beton baru pada *jacketing* memiliki ukuran agregat maksimum yaitu sekitar 2 milimeter karena kurangnya spasi pada *jacketing*. Hal ini terjadi karena berkurangnya ketebalan *jacketing* akibat penggunaan tulangan baja (Julio et al., 2003). Untuk mengatasi hal ini, pilihan yang biasa dilakukan adalah penggunaan beton dengan karakteristik *Self Compacting Concrete* (SCC) atau *High Strength Concrete* (HCS) (Julio et al., 2005).

2.4.3 Metode Perbaikan dan Perkuatan Balok dengan *Concrete jacketing*

Penulangan pada balok dengan metode *concrete jacketing* dapat dilakukan dengan melakukan penambahan beton baru pada ketiga atau bahkan keempat sisi balok lamanya. Kita juga dapat memasang tulangan pada daerah tarik dan daerah tekan pada beton *jacketing* tersebut. Tulangan *jacketing* yang berada di permukaan bawah balok ini berfungsi untuk menambah kapasitas kekuatan lenturnya. Perbaikan dan perkuatan balok dengan *concrete jacketing* ini lebih efektif apabila dilakukan pada keempat sisi balok. Pemasangan *jacketing* pada keempat sisi balok dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. *Jacketing* Balok pada Keempat Sisinya dengan Satu Sambungan Tulangan yang di Las

Sumber : *Asian Journal of Applied Sciences* 4 (3): 211-228, 2011

Balok beton bertulang memerlukan perkuatan ketika tulangan eksisting pada balok tersebut dinilai sudah tidak aman lagi atau ketika beban yang ditanggung oleh balok tersebut bertambah. Dalam hal bertambahnya beban yang

diterima oleh balok beton bertulang, ada beberapa solusi yang dapat dilakukan seperti berikut ini :

- Menambah tulangan baja pada tulangan utamanya tanpa menambah luas penampang balok

Solusi ini dapat dilaksanakan ketika tulangan baja eksistingnya tidak mampu menahan beban yang ditanggungnya. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan selimut beton baik yang ada di tulangan atas maupun tulangan bawah
2. Tulangan baja tersebut lalu dibersihkan dan dilapisi material yang mampu menahan korosi
3. Buat lubang sepanjang balok yang ada di bawah pelat, spasi antar lubang 15-25 cm, diameter 1,3 cm dan lebarnya disesuaikan dengan lebar balok. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.15.

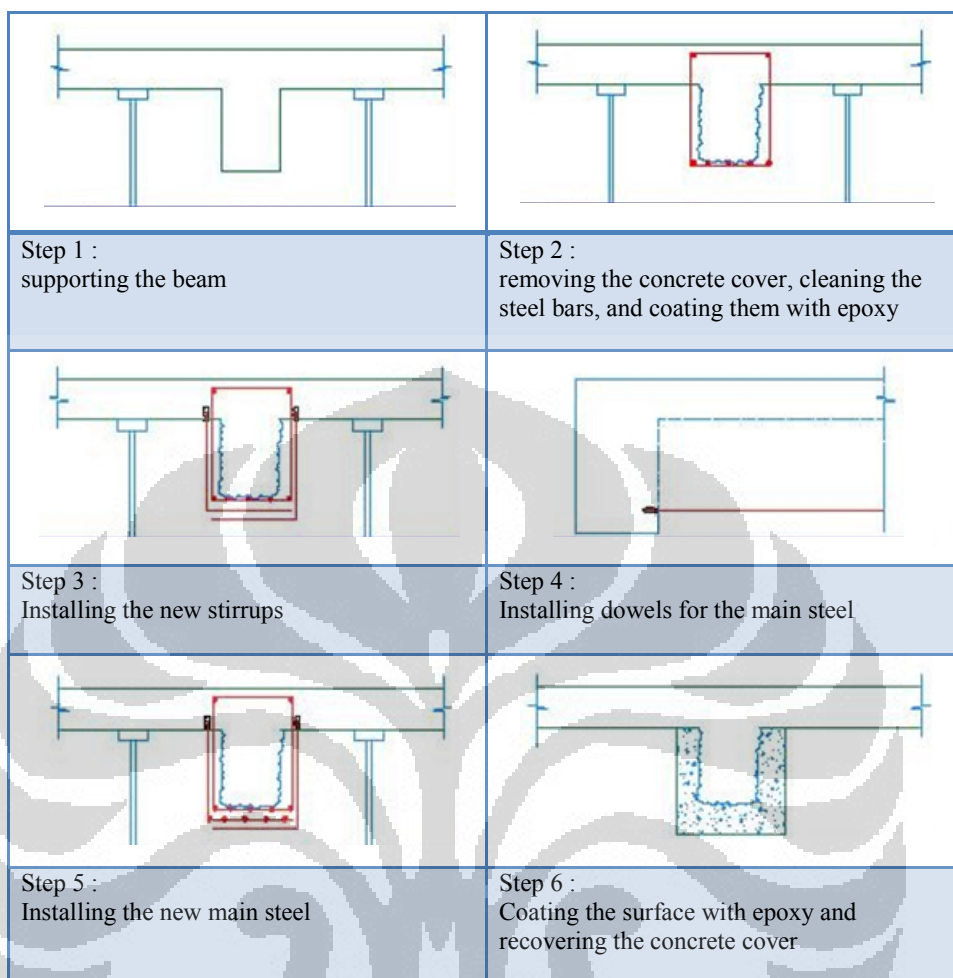


Gambar 2.15. Lubang yang Dibuat di Sepanjang Bentang Balok

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>

4. Lubang yang telah dibuat tadi lalu diisi dengan material epoksi dengan viskositas rendah lalu pasang sambungan baja untuk mengaitkan sengkang yang baru
5. Sambungan baja dipasang ke dalam kolom untuk mengaitkan tulangan baja yang ditambahkan pada balok
6. Sengkang yang ditambahkan lalu ditutup menggunakan *steel wires* dan tulangan yang baru lalu dipasang pada sengkang ini
7. Permukaannya lalu dilapisi dengan material epoksi
8. *Concrete jacketing* lalu dituangkan pada tulangan yang telah terpsang tadi.

Langkah-langkah tadi dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Perkuatan Balok Tanpa Harus Menambah Luas Penampang Baloknya

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>

- **Menambah tulangan dan luas penampang beton pada balok**

Solusi ini dipilih ketika antara tulangan baja dan beton tidak mampu menahan beban tambahan yang ditanggung oleh balok. Langkah-langkah dari permasalahan seperti ini adalah sebagai berikut :

1. Bersihkan selimut beton, kasarkan permukaan balok, bersihkan tulangan baja lalu lapiasi tulangan tersebut dengan material yang mampu menahan korosi.
2. Buat lubang disepanjang bentang balok dengan spasi setiap 15-25 cm dan lebar sesuai dengan lebar balok

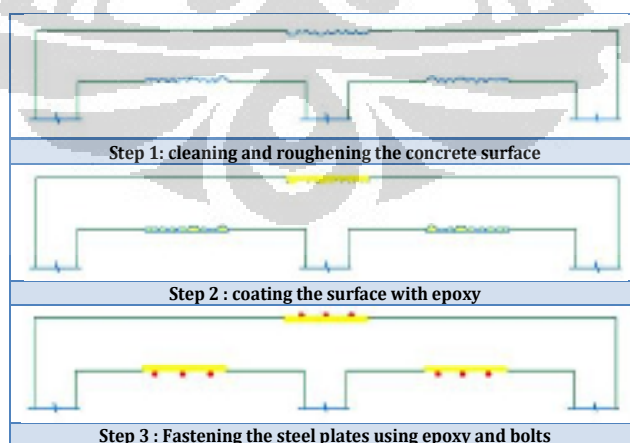
Universitas Indonesia

3. Isi lubang tersebut dengan semen mortar dengan viskositas rendah dan pasang sambungan baja untuk mengaitkan sengkang yang baru
4. Pasang sambungan baja tersebut pada kolom dengan tujuan untuk mengaitkan tulangan baru yang ditambahkan pada balok
5. Tutup tambahan sengkang yang baru tersebut dengan menggunakan *steel wires* lalu tulangan yang baru ditambahkan pada sengkang ini
6. Lapsi permukaan beton dengan material epoksi yang akan menyatukan beton lama dan beton baru
7. Tuangkan *conctere jacket*

- **Penambahan pelat baja pada balok**

Ketika dibutuhkan suatu perkuatan pada balok untuk menahan gaya momen atau tegangan geser yang ditanggungnya, pelat baja didesain dengan ukuran dan ketebalan yang tepat. Kemudian pelat baja tersebut dipasang pada balok seperti berikut :

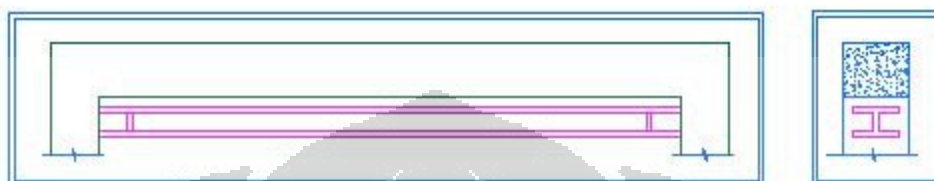
1. Kasarkan dan bersihkan permukaan beton pada daerah yang akan dipasang pelat baja
2. Lapsi permukaan balok beton tersebut dengan material epoksi
3. Buat lubang antara permukaan beton dan pelat
4. Gunakan mortar epoksi di atas pelat dengan ketebalan 5 mm
5. Pasang pelat baja pada beton dengan menggunakan baut



Gambar 2.17. Perkuatan Balok dengan Cara Menambahkan Pelat Baja

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>

Dalam beberapa kasus, diperlukan untuk mengurangi beban pada balok yang membutuhkan perkuatan sebelum melakukan langkah-langkah perkuatan tadi, entah mengurangi beban secara parsial atau keseluruhan. Caranya adalah dengan memasang balok baja di atas atau di bawah balok beton. Hal ini dapat dilihat seperti gambar berikut ini.



Gambar 2.18. Pengurangan Beban Pada Balok dengan Cara Memasang Balok Baja

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>

Berikut ini adalah gambar-gambar yang diambil ketika melakukan perbaikan dan perkuatan struktur bangunan eksisting :



Gambar 2.19. Perkuatan pada Balok, Kolom dan Pelat



Gambar 2.20. Perkuatan pada Balok dan Pelat



Gambar 2.21. *Jacketing* pada Balok dengan Menambah Tulangan dan Luas Penampang



Gambar 2.22. Perbaikan dan Perkuatan dengan Pelat Baja

Sumber : <http://theconstructor.org/structural-engg/strengthening-of-r-c-beams/1930/>

2.4.4 Waktu Konstruksi *Concrete jacketing*

Waktu pengerjaan untuk perkuatan dan perbaikan struktur dengan metode *concrete jacketing* tergantung kepada jenis penulangan yang akan digunakan. Ada jenis penulangan yang proses pabrikasinya dilakukan *off-site* sehingga mampu mengurangi waktu pengerjaan jika dibandingkan membuat tulangan *on-site*, contohnya seperti *Prefabricated Cage System* (PCS) dan *Welded Wire Fabric* (WWF). Selain itu, proses lain yang perlu diperhatikan agar tidak menghabiskan waktu terlalu banyak adalah proses pembentukan bekisting, pemasangan tulangan, penuangan beton, dan perawatan beton yang memiliki pengaruh sangat nyata terhadap waktu pengerjaan metode ini.

2.4.5 Kesulitan Konstruksi

Tahapan konstruksi dari metode *concrete jacketing* dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bekisting, penulangan, dan pengecoran. Bekisting memiliki bentuk yang sama untuk semua jenis *concrete jacketing* tanpa memperhatikan

Universitas Indonesia

jenis penulangan yang digunakan. Kesulitan dalam melakukan pengecoran tergantung kepada jenis kolom yang akan diperbaiki dan spasi penulangan yang digunakan. Semakin tidak biasa jenis kolom yang akan diperbaiki, maka semakin sulit tingkat pengerjaan metode ini. Begitu pula dengan spasi tulangan tambahan yang digunakan, semakin rapat jarak spasi yang digunakan, maka pengerjaan semakin sulit karena aliran beton akan terhambat dan harus dipastikan bahwa beton telah tersebar secara merata dan memadati kolom yang diperbaiki.

2.4.6 Perawatan Beton

Metode *concrete jacketing* juga harus memperhatikan perawatan beton, dalam hal ini *curing* beton. Harus dipastikan bahwa *curing* beton berlangsung pada suhu yang sesuai. Suhu yang terlalu dingin dan terlalu panas akan berpengaruh secara signifikan terhadap kekuatan beton. Tindakan perawatan (*curing*) yang dapat dilakukan adalah dengan menutupi permukaan beton guna mengontrol temperatur beton, khususnya untuk 24 jam pertama selama *curing*, untuk memastikan perkembangan kekuatan beton secara tepat.

2.4.7 Biaya

Biaya produksi dan konstruksi harus benar-benar diperhatikan saat ingin memilih untuk melakukan perbaikan atau perkuatan struktur dengan metode apa. Material yang digunakan untuk metode *concrete jacketing* terdiri dari bekisting, tulangan, dan beton. Material ini terbilang cukup murah apabila dibandingkan dengan metode perkuatan dan perbaikan yang lain, seperti dengan menggunakan baja atau *fiber*.

2.4.8 Kegagalan

Kegagalan pada perbaikan dan perkuatan struktur dengan metode *concrete jacketing* adalah biasanya tipikal, yaitu kegagalan daktilitas karena penggunaan tulangan baja. Tanda kegagalan pada metode *concrete jacketing* ini dapat dilihat seperti adanya retak dan terkelupasnya permukaan permukaan beton.

2.4.9 Ikatan antar material

Concrete jacketing memiliki ikatan yang kuat sebagai material retrofit ketika beton dan baja berperilaku komposit. Pengasaran permukaan pada elemen

Universitas Indonesia

struktur yang akan mengalami retrofit dapat meningkatkan ikatan antara *concrete jacket* dengan beton lama.

2.4.10 Ketahanan korosi dan pembakaran

Beton sebagai material utama pada metode retrofit dengan *concrete jacketing* dapat memberikan perlindungan secara signifikan kepada tulangan baja yang digunakan di dalamnya dari serangan korosi dan api.

2.5 Struktur Komposit

Struktur komposit merupakan suatu struktur yang terdiri dari dua elemen struktur dengan bahan material yang berbeda dan bekerja bersama-sama membentuk suatu kesatuan, dimana masing-masing bahan/material tersebut mempunyai kekuatan sendiri-sendiri. Perpaduan antara material beton dan baja tulangan akan membentuk material komposit yang ekonomis serta efisien lewat hasil kerjasama yang tercipta melalui kekuatan lekat pada *interface* kedua material tersebut. Pemanasan dengan temperatur yang bervariasi akan menyebabkan terjadinya perubahan perilaku material komposit tersebut, khususnya menyangkut kinerja kekuatan lekatnya akibat perubahan mikrostruktur pada material beton dan material baja tulangan. Dari hasil uji tekan uniaksial diperoleh nilai kuat tekan beton umur tujuh hari yang bila dipanaskan dengan temperatur 200°C, 500°C dan 800°C akan mengalami penurunan yang bervariasi antara enam hingga 100%, sedangkan penurunan kuat tekan beton pada umur 28 hari berkisar antara sepuluh hingga 90%. Pada tingkat pemanasan dengan temperatur 200°C, penurunan kekuatan lekat antara baja tulangan dan beton umur 28 hari adalah sekitar 30%, serta untuk pemanasan dengan temperatur yang lebih besar atau sama dengan 500°C akan terjadi penurunan sebesar 40% hingga 77%. Penurunan kuat tekan beton dan penurunan kekuatan lekat beton dengan baja tulangan akibat pemanasan dipresentasikan oleh kurva tidak linier serta menunjukkan adanya korelasi positif antara kedua karakteristik tersebut.

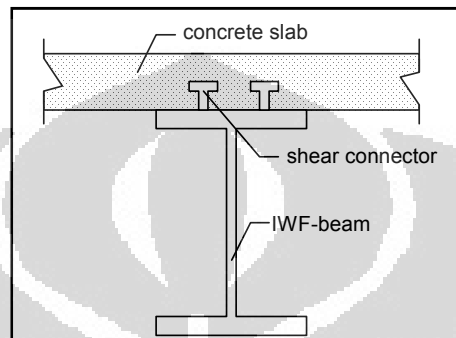
Contoh struktur komposit :

- baja dengan beton
- kayu dengan beton

- beton biasa dengan beton prategang

Struktur komposit dibentuk oleh elemen baja dan beton, dengan memanfaatkan perilaku interaktif yang terjadi antara baja dengan beton, serta memobilisasikan kemampuan optimal dari masing-masing bahan dalam memikul beban.

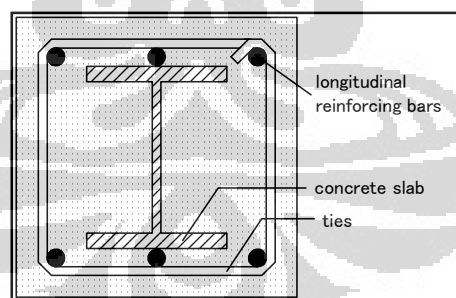
2.5.1 Balok Komposit



Gambar 2.23. Balok Baja yang Menumpu Pelat Beton Bertulang

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

Pada gambar 2.23 di atas merupakan balok komposit dengan pegasus geser. Pada keadaan ini, penyaluran gaya geser melalui mekanisme interlocking antara pelat beton dan pegasus geser.



Gambar 2.24. Balok Baja yang Diselubungi Beton

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

Pada gambar 2.24 merupakan balok baja yang diselubungi beton, dengan penyaluran gaya geser melalui :

- friksi dan lekatan disepanjang sisi atas profil baja dan pelat beton
- tahanan geser pada bidang antara pelat beton dan bagian beton yang menyelubungi profil baja

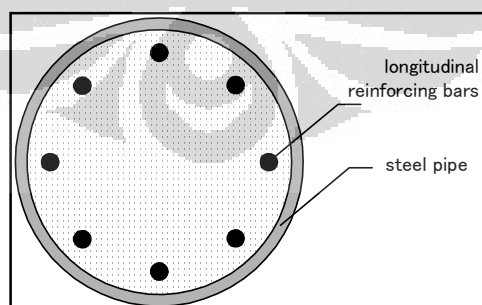
Universitas Indonesia

Pada umumnya, struktur komposit yang digunakan pada konstruksi gedung dan jembatan adalah berupa balok komposit yang merupakan gabungan antara balok baja dengan lantai yang dicor ditempat (*cast in site*) atau pra cetak (*precast*). Antara baja dan beton pada balok komposit diikat dengan suatu penghubung (*shear connector*), sehingga beton dan baja dapat bekerja bersama-sama membentuk suatu kesatuan seperti balok T.

Dari hasil penelitian bisa diambil kesimpulan, perilaku balok terhadap beban jangka pendek.

- Kapasitas lentur batas
Dari hasil percobaan dan teori memberi hasil yang sangat memadai sehingga teori lentur yang sudah ada nampaknya cukup akurat dipakai memprediksi kekuatan yang ada.
- Kapasitas lentur saat retak
Untuk memprediksi kemampuan retak seharusnya memasukkan faktor susut balok-balok. Keadaan kondisi awal tegangan tarik beton diperhitungkan secara teliti apabila faktor retak menjadi pertimbangan.
- Lebar balok
Penggunaan beton mutu tinggi pada bagian tarik jelas sekali mengurangi lebar retak yang terjadi, sehingga untuk struktur di daerah maritim sangat dibantu dari segi umur sebagaimana yang diharapkan.

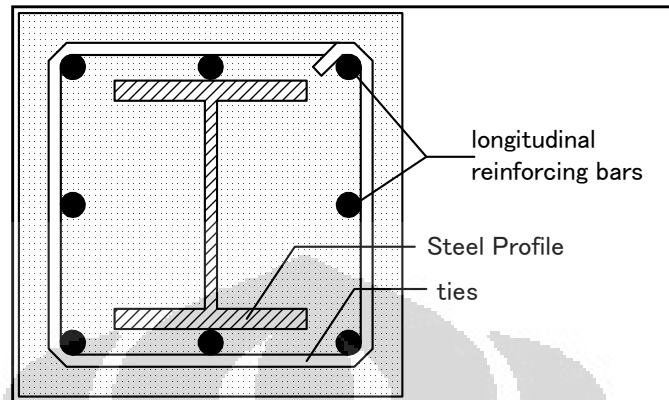
2.5.2 Kolom Komposit



Gambar 2.25. Kolom Baja yang Diisi Beton Bertulang

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

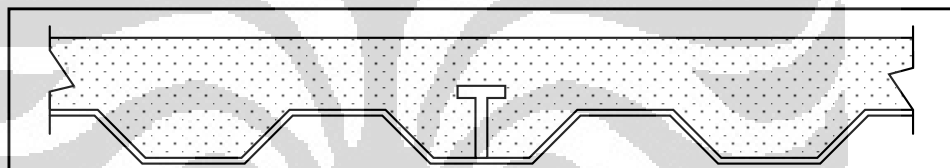
Pada kolom komposit, baja berfungsi sebagai *casing*, lalu dilakukan penulangan, dan setelah itu baru dilakukan pengecoran beton.



Gambar 2.26. Kolom Baja yang Diselubungi Beton

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

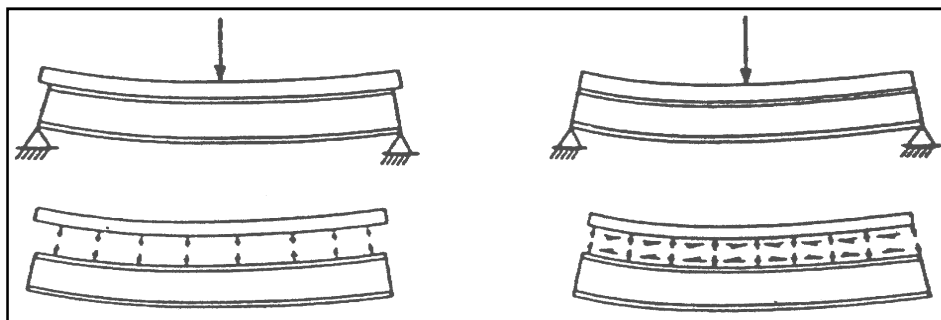
2.5.3 Pelat Komposit



Gambar 2.27. Pelat Dek Baja yang Menahan Pelat Beton Bertulang

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

Pada struktur pelat komposit, akan terdapat pemindahan gaya geser (*shear transfer*) yang disebabkan oleh *bond* dan *friction* pada permukaan baja dan pelat lantai beton (*concrete slab*). Gaya geser tersebut tidak dapat dipikul tersendiri (oleh gelagar baja saja atau oleh pelat beton saja), karena akan mengakibatkan lepasnya pelat lantai dari balok. Oleh karena itu, dipasang suatu penghubung yang disebut dengan penghubung geser (*shear connector*).



Gambar 2.28. Gambar Struktur Komposit Balok (kanan) dan Nonkomposit (kiri)

Sumber : ekhalmussaad.files.wordpress.com

2.6 Teori Dinamika Struktur

Pada persamaan diferensial struktur melibatkan tiga properti utama suatu struktur yaitu massa, kekakuan dan redaman. Ketiga properti struktur ini umumnya disebut dinamik karakteristik struktur. Properti-properti tersebut sangat spesifik yang tidak semuanya digunakan pada problem statik. Kekakuan elemen/struktur adalah satu-satunya karakteristik yang dipakai oleh problem statik, sedangkan yang lainnya yaitu massa dan redaman tidak dipakai.

2.6.1 Massa

Suatu struktur yang kontinu kemungkinan mempunyai banyak derajat kebebasan karena banyaknya massa yang mungkin dapat ditentukan. Banyaknya derajat kebebasan umumnya berasosiasi dengan jumlah massa tersebut yang akan menimbulkan kesulitan. Hal ini terjadi karena banyaknya persamaan diferensial yang ada.

Terdapat dua permodelan pokok yang umumnya dilakukan untuk mendeskripsikan massa struktur.

2.6.1.1 Model *Lumped Mass*

Model pertama adalah model diskretisasi massa yaitu massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu (*lumped mass*). Dalam hal ini gerakan/*degree of freedom* suatu *joint* sudah ditentukan. Untuk titik nodal yang hanya mempunyai satu derajat kebebasan/satu translasi maka nantinya elemen atau struktur yang bersangkutan akan mempunyai matriks yang isinya hanya bagian diagonal saja. Clough dan Penzien (1993) mengatakan bahwa

Universitas Indonesia

bagian *off-diagonal* akan sama dengan nol karena gaya inersia hanya bekerja pada tiap-tiap massa. Selanjutnya juga dikatakan bahwa apabila terdapat gerakan rotasi massa (*rotation degree of freedom*), maka pada model *lumped mass* ini juga tidak akan ada *rotation moment of inersia*. Hal ini terjadi karena pada model ini massa dianggap menggumpal pada suatu titik yang tidak berdimensi (*mass moment of inersia* dapat dihitung apabila titik tersebut mempunyai dimensi fisik). Dalam kondisi tersebut terdapat matriks massa dengan *diagonal mass of moment inersia* sama dengan nol.

Pada bangunan gedung bertingkat banyak, konsentrasi beban akan terpusat pada tiap-tiap lantai tingkat bangunan. Dengan demikian untuk setiap tingkat hanya ada satu tingkat massa yang mewakili tingkat yang bersangkutan. Karena hanya terdapat satu derajat kebebasan yang terjadi pada setiap massa/tingkat, maka jumlah derajat kebebasan pada suatu bangunan bertingkat banyak akan ditunjukkan oleh banyaknya tingkat bangunan yang bersangkutan. Pada kondisi tersebut matriks massa hanya akan berisi pada bagian diagonal saja.

2.6.1.2 Model *Consistent Mass Matrix*

Model ini adalah model yang kedua dari kemungkinan permodelan massa struktur. Pada prinsip *consistent mass matrix* ini, elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Permodelan massa seperti ini akan sangat bermanfaat pada struktur yang distribusi massanya kontinu.

Apabila tiga derajat kebebasan (horizontal, vertikal dan rotasi) diperhitungkan pada setiap node maka standar *consistent mass matrix* akan menghasilkan *full-populated consistent matrix* artinya suatu matriks yang *off-diagonal* matriksnya tidak sama dengan nol. Pada *lumped mass model* tidak akan terjadi ketergantungan antar massa (*mass coupling*) karena matriks massa adalah diagonal. Apabila tidak demikian maka *mass moment of inersia* akibat translasi dan rotasi harus diperhitungkan.

Pada bangunan bertingkat banyak yang massanya terkonsentrasi pada tiap-tiap tingkat bangunan, maka penggunaan model *lumped mass* masih

cukup akurat. Untuk pembahasan struktur MDOF seterusnya maka model inilah (*lumped mass*) yang akan dipakai.

2.6.2 Kekakuan

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau *Eigen problem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut (ω), dan periode getar struktur (T). Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamik struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horizontal baik sebelum maupun sesudah terjadi pergoyangan. Adanya pelat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibandingkan dengan balok, namun demikian rasio tersebut tidak selalu linear dengan kekakuannya. Dengan prinsip *shear building* maka dimungkinkan pemakaian *lumped mass* model. Pada prinsip ini, kekakuan setiap kolom dapat dihitung berdasarkan rumus yang telah ada.

Pada prinsipnya, semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekuatan kolom. Perhitungan kekakuan kolom akan lebih teliti apabila pengaruh pelat lantai diperhatikan sehingga diperhitungkan sebagai balok T.

2.6.3 Redaman

Redaman merupakan peristiwa pelepasan energi (*energi dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Beberapa penyebab itu antara lain adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antar molekul didalam material, pelepasan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi oleh adanya gesekan dengan udara dan pada *respon inelastic* pelepasan energi juga terjadi akibat adanya sendi

plastis. Karena redaman berfungsi melepaskan energi maka hal ini akan mengurangi respon struktur.

2.6.4 Simpangan (*Drift*) Akibat Gaya Gempa

Simpangan (*drift*) adalah sebagai perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan (*horizontal story to story deflection*).

Simpangan lateral dari suatu sistem struktur akibat beban gempa adalah sangat penting dilihat dari tiga pandangan yang berbeda, menurut Farzad Naeim (1989):

1. Kestabilan struktur (*structural stability*)
2. Kesempurnaan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan bermacam-macam komponen bukan struktur
3. Kenyamanan manusia (*human comfort*), sewaktu terjadi gempa bumi dan sesudah bangunan mengalami gerakan gempa.

Dalam hal ini, Richard N. White (1987) berpendapat bahwa dalam perencanaan bangunan tinggi selalu dipengaruhi oleh pertimbangan lenturan (*deflection*), bukannya oleh kekuatan (*strength*).

Simpangan antar tingkat dari suatu titik pada suatu lantai harus ditentukan sebagai simpangan horizontal titik itu, relatif terhadap titik yang sesuai pada lantai yang berada di bawahnya. Perbandingan antar simpangan antar tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melebihi 0.005 dengan ketentuan dalam segala hal simpangan tersebut tidak boleh lebih dari 2 cm. Terhadap simpangan antar tingkat telah diadakan pembatasan-pembatasan untuk menjamin agar kenyamanan bagi para penghuni gedung tidak terganggu dan juga untuk mengurangi momen-momen sekunder yang terjadi akibat penyimpangan garis kerja gaya aksial didalam kolom-kolom (yang lebih dikenal dengan P-delta).

Berdasarkan UBC 1997 bahwa batasan *story drift* atau simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut:

- Untuk periode bangunan yang pendek $T < 0.7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\Delta m \leq 0.0025I_h$ atau 2.5% dari tinggi bangunan.

- Untuk periode bangunan yang pendek $T > 0.7$ detik, maka simpangan antar tingkat $\Delta m \leq 0.002Ih$ atau 2.0% dari tinggi bangunan.

2.6.5 Derajat Kebebasan (Degree of Freedom)

Derajat kebebasan (*degree of freedom*) adalah derajat independensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu system pada setiap saat. Pada masalah dinamika, setiap titik atau massa pada umumnya hanya diperhitungkan berpindah tempat dalam satu arah saja yaitu arah horizontal. Karena simpangan yang terjadi hanya terjadi dalam satu bidang atau dua dimensi, maka simpangan suatu massa pada setiap saat hanya mempunyai posisi atau ordinat tertentu baik bertanda negatif ataupun bertanda positif. Pada kondisi dua dimensi tersebut, simpangan suatu massa pada saat t dapat dinyatakan dalam koordinat tunggal yaitu $Y(t)$. Struktur seperti itu dinamakan struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*SDOF system*).

Dalam model system SDOF atau berderajat kebebasan tunggal, setiap massa m , kekakuan k , mekanisme kehilangan atau redaman c , dan gaya luar yang dianggap tertumpu pada elemen fisik tunggal.

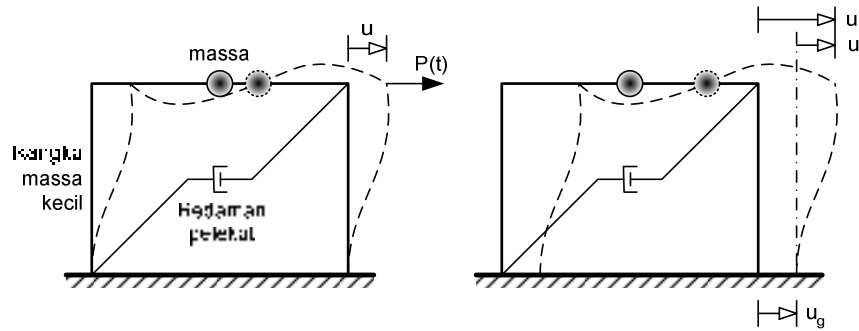
Struktur yang mempunyai n -derajat kebebasan atau struktur dengan derajat kebebasan banyak disebut *multi degree of freedom (MDOF)*. Akhirnya dapat disimpulkan bahwa jumlah derajat kebebasan adalah jumlah koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu massa pada saat tertentu.

2.6.5.1 Sistem Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

Sifat-sifat fisik yang penting dari setiap sistem struktur yang elastik secara linear yang dikenakan pada beban dinamik meliputi massa, sifat elastik (kelenturan atau kekakuan), mekanisme kehilangan energi, atau peredaman, dan sumber-luar eksitasi atau pembebanannya. Dalam model yang paling sederhana dari suatu sistem SDOF, masing-masing sifat tersebut dianggap terpusat pada elemen fisik tunggal.

Sistem tersebut dipertimbangkan pada gambar di bawah yang terdiri dari massa (m) yang terkonsentrasi pada tingkat atap, dengan rangka massa kecil memiliki kekakuan pada sistem, dan redaman pelek (*dashpot*).

Universitas Indonesia



Gambar 2.29. Contoh Pemodelan SDOF

Sumber : Dynamics of structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

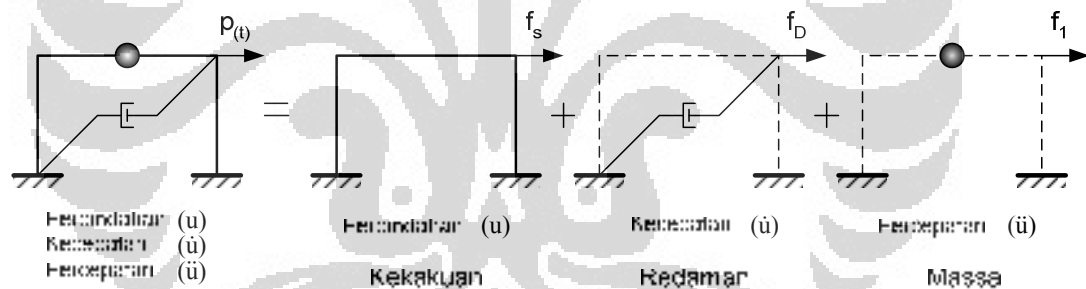
Dari pemodelan di atas dapat disuperposisikan dengan menggunakan hukum kesetimbangan Newton kedua, dimana gaya-gaya yang dialami struktur :

$P(t)$: Gaya luar yang akan didistribusikan keseluruh struktur

$f_1 = m \cdot \ddot{u}$: Gaya luar komponen massa terhadap percepatan gerakan tanah

$f_D = c \cdot \dot{u}$: Gaya luar komponen redaman terhadap kecepatan gerakan tanah

$f_s = k \cdot u$: Gaya luar komponen kekakuan terhadap perpindahan gerakan tanah



Gambar 2.30. Modelisasi Kesetimbangan SDOF Dinamik

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

$$P(t) = f_s = k \cdot u + f_D = c \cdot \dot{u} + f_1 = m \cdot \ddot{u} \quad (2.1)$$

Dari persamaan konstanta differensial kesetimbangan rumusan dinamik untuk sistem derajat kebebasan tunggal terhadap gaya luar didapatkan perumusan:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.2)$$

Massa keseluruhan (**m**) dari sistem ini dicakup dalam balok tegar terhadap percepatan pergerakan (\ddot{u}). Rol-rol yang membatasi balok ini terkendala sehingga

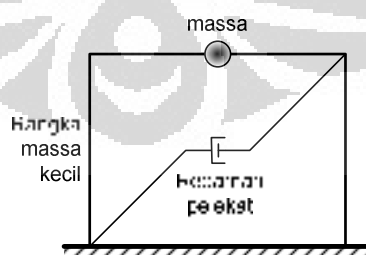
ia hanya dapat bergerak dalam translasi sederhana. Tahanan elastik terhadap perpindahan diberikan oleh pegas tanpa bobot dengan kekakuan (**k**) terhadap perpindahan pergerakan (**u**), sedang mekanisme kehilangan-energi (*energy-loss*) digambarkan oleh peredam (**c**) terhadap kecepatan pergerakan (\dot{u}). Mekanisme pembebanan luar yang menimbulkan respons dinamik pada sistem dengan berbentuk beban (**p(t)**) yang berubah menurut waktu.

Ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan antara lain terhadap deformasi struktur terhadap gerakan tanah, dimana deformasi massa bangunan dapat mengakibatkan ketidaknyamanan penghuni bangunan maupun kondisi didalamnya. Hal tersebut disyaratkan pada bangunan-bangunan khusus yang diberikan deformasi izin yang diperbolehkan pada struktur, seperti bangunan rumah sakit, turbin nuklir, tempat radioaktif, peralatan sensitif dan bangunan khusus lainnya. Getaran yang umumnya terjadi ada dua macam yaitu :

2.6.5.2 Getaran Bebas

Struktur dapat dibilang mengalami getaran bebas dimana struktur tersebut distribusikan dari posisi persamaan statik dan diperbolehkan bergetar tanpa memberikan pengaruh dinamik dalamnya.

Ketentuan struktur mengalami getaran bebas memiliki karakteristik gaya luar $P(t)$ bernilai nol. Penyelesaian umum berdasarkan penyelesaian partikular dan komplementer (penyelesaian homogen, bagian kanan tanda sama dengan adalah nol). Secara rumusan keadaan ini dapat diartikan sebagai gerakan yang terjadinya tanpa adanya gaya luar. Dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.31. Modelisasi SDOF Getaran Bebas

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

Persamaan umum dinamik getaran bebas menjadi :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.3)$$

Universitas Indonesia

Persamaan di atas dapat diselesaikan dengan mengasumsikan getaran bebasnya adalah getaran harmonik sederhana:

$$u = u_0 \sin(\omega t - \phi) \quad (2.4)$$

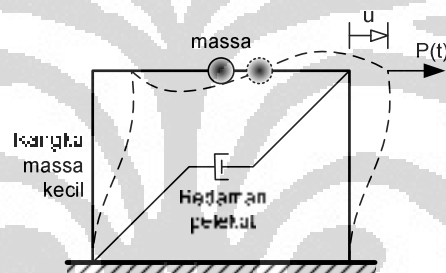
Jika persamaan ini dimasukkan kedalam persamaan (2.3) dinamikanya maka akan dihasilkan persoalan eigen :

$$(k - \omega_n^2 m)\phi_n = 0 \quad (2.5)$$

Dari penyelesaian rumus di atas menghasilkan variabel dinamik yang diperlukan dalam perhitungan, antara lain: frekuensi alami dan pola getar.

2.6.5.3 Getaran Paksa

Struktur dapat dibayangkan mengalami getaran paksa dimana terdapat gaya paksa yang mengganggu struktur berbentuk beban luar $P(t)$ struktur tersebut distribusikan secara dinamik dalamnya yang digambarkan di bawah ini.



Gambar 2.32. Modelisasi SDOF Getaran Paksa

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

Persamaan umum dinamik getaran paksa menjadi :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (2.6)$$

Apabila keadaan awal dari getaran paksa ini tidak sama dengan nol, maka penyelesaian persamaan di atas adalah penyelesaian umum yang terdiri dari penyelesaian partikular dan komplementer. Bila keadaan awal dari getaran paksa ini nol maka penyelesaian persamaan hanya terdiri dari penyelesaian partikular, dimana penyelesaian ini untuk bentuk-bentuk dari $P(t)$, misalnya polinomial atau fungsi harmonis. Beban yang membebani struktur berupa beban impuls yang merupakan gaya yang cukup besar yang akan terjadi secara tiba-tiba dan berlangsung dalam waktu yang relatif singkat. Dan beban lainnya ialah beban sembarang yang merupakan rangkaian beban impuls yang berbeda besaran.

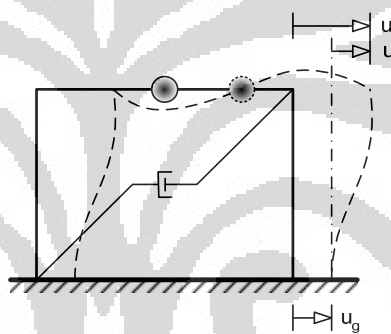
Universitas Indonesia

Dalam menyelesaikan persamaan di atas dapat menggunakan dengan persamaan differensial, dimana biasanya menggunakan integrasi Duhamel yang merupakan fungsi sederhana yang merupakan integrasi terhadap waktu.

$$u(t) = \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi(t-\tau)} \sin[\omega_D(t-\tau)] d\tau \quad (2.7)$$

Persamaan kesetimbangan dinamik dapat diselesaikan dengan dua metode pendekatan, yaitu pendekatan statik dan dinamik dengan hubungan variabel karakteristik dinamik dan reaksi respon dinamik.

Dari topik penulisan ini gaya dinamik yang dibahas berasal dari percepatan tanah (\ddot{u}_g) akibat gempa bumi. Dimana gerakan tanah tersebut menyebabkan pergerakan tumpuan (*support expansion*) yang digambarkan di bawah ini.



Gambar 2.33. Modelisasi SDOF Perpindahan Perletakan

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

Persamaan umum dinamikanya berubah menjadi :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.8)$$

Dalam menyelesaikan persamaan di atas juga dapat menggunakan dengan persamaan differensial atau yang sejenis lainnya.

2.6.6 Sistem Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

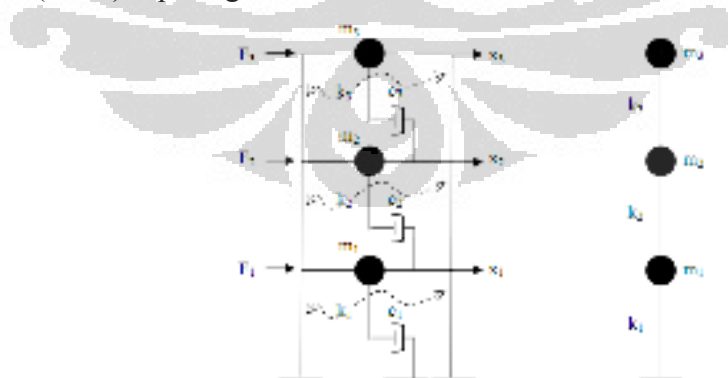
Untuk menyatakan persamaan diferensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak maka dipakai anggapan dan pendekatan seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal SDOF. Anggapan seperti prinsip *shear building* masih berlaku pada struktur dengan derajat kebebasan

banyak (MDOF). Untuk memperoleh persamaan diferensial tersebut, maka tetap dipakai prinsip keseimbangan dinamik (*dynamic equilibrium*) pada suatu massa yang ditinjau. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF.

2.6.6.1 Model Massa Bergumpal (*Lumped Mass*) Sistem Banyak Derajat Kebebasan Pada Bangunan Geser

Dalam analisis gedung bertingkat terhadap beban lateral gempa massa struktur gedung pada umumnya dapat dimodelkan sebagai massa yang menggumpal pada titik-titik tertentu yang tidak berdimensi (*lumped mass*) yaitu pada tiap-tiap lantai tingkat. Titik pemusatan massa pada suatu lantai tingkat disebut pusat massa dari lantai tingkat tersebut, yang diketahui letaknya pada lantai tingkat tersebut sebagai titik tangkap dari resultante seluruh beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) yang bekerja pada lantai tersebut (Wangsadinata, 1993). Dengan demikian untuk setiap tingkat hanya ada satu massa yang mewakili tingkat tersebut. Pada pusat massa inilah beban lateral gempa akan bekerja.

Secara garis besar prinsip kesetimbangan gaya-gaya juga dipakai dalam menyelesaikan problem dinamik. Tetapi pada problem dinamik persamaan gerakan yang disusun berdasarkan prinsip kesetimbangan dinamik. Untuk dapat menyusun persamaan tersebut maka dapat diambil model sistem Banyak Derajat Kebebasan (BDK) seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2.34. Model Fisik (kiri) dan Model Model Bangunan Gesernya (kanan)
Struktur dengan Banyak Derajat Kebebasan

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

Persamaan gerak sistem BDK pada bangunan geser apabila disusun dalam bentuk matriks: (Paz, 1985)

$$[m].\{x\} + [c].\{\dot{x}\} + [k].\{x\} = \{F(t)\} \quad (2.9)$$

dimana

$[m]$ = matriks massa

$$= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$[c]$ = matriks redaman viskos

$$= \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$[k]$ = matriks kekakuan

$$= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

$\{F(t)\}$ = vektor beban

$$= \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}$$

$\{\dot{x}\}$ = vektor percepatan

$$= \begin{Bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \\ \ddot{X}_3 \end{Bmatrix}$$

$\{\dot{x}\}$ = vektor kecepatan

$$= \begin{Bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \end{Bmatrix}$$

$\{x\}$ = vektor perpindahan

$$= \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix}$$

Pada getaran bebas maka persamaan (2.9) menjadi:

Universitas Indonesia

$$[m].\{x\} + [c].\{x\} + [k].\{x\} = 0 \quad (2.10)$$

Penyelesaian dari persamaan (2.10) tersebut akan diperoleh beberapa karakteristik struktur yang penting, yaitu ω , T , f , ragam getar. Ragam getar ini menjadi parameter yang sangat penting karena respons struktur merupakan fungsi dari ragam getar tersebut.

Karena redaman pada struktur dinyatakan dalam rasio redaman yang relatif kecil harganya ($\xi < 20\%$) maka dalam mencari frekuensi alami dan periode dapat diabaikan (Chopra, 1995). Sehingga persamaan (2.10) akan menjadi :

$$\begin{aligned} [m].\{x\} + [k].\{x\} &= 0 \\ [[k] - \omega^2[m]]\{\phi\}_n &= 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Dimana ϕ adalah ragam getar struktur dan n adalah jumlah derajat kebebasan. Persamaan (2.11) mempunyai solusi non-trivial apabila dipenuhi :

$$\text{determinan } [k] - \omega^2[m] = 0 \quad (2.12)$$

Sejumlah akar N dari persamaan (2.12) tersebut menentukan n frekuensi sudut alami getaran ω_n ($n=1, 2, \dots, N$). Dengan memasukkan kembali harga-harga ω_n ke dalam persamaan (2.11) di atas akan diperoleh harga-harga $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$. Selanjutnya dapat dihitung besarnya frekuensi alami f dan periode getar alami T , yaitu :

$$\begin{aligned} f &= \omega / 2.\pi \text{ (hertz)} \\ T &= 1 / f \text{ (detik)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Chopra, 1995, mengemukakan bahwa pada struktur dengan massa yang tersebar pada setiap *joint* nya maka matriks massa yang terbentuk tetap merupakan matriks diagonal. Hal ini dikarenakan inersia rotasi diabaikan pengaruhnya pada praktek dinamika struktur.

2.7 Analisis Statik Ekuivalen

Analisis perhitungan statik ekuivalen merupakan pendekatan statik dimana efek dinamik gempa terhadap percepatan tanah yang terjadi diubah dengan gaya-gaya statik lateral gempa secara statik yang terjadi pada struktur.

Pada perhitungan gempa sistem statik ekuivalen, analisa ini merupakan metode perhitungan sederhana yang digunakan untuk bangunan tertentu sesuai persyaratan peraturan gempa.

Mengingat pada struktur gedung beraturan pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dapat ditampilkan sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai-lantai tingkat, maka pengaruh beban-beban gempa nominal statik ekuivalen tersebut dapat dianalisis dengan metode analisis statik 3 dimensi. Secara garis besar perhitungan analisa statik ekuivalen pada SNI 03-1726-2002, adalah sebagai berikut:

Persyaratan gedung beraturan :

- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih

dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.

- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Gaya lateral statik akibat gempa yang bekerja berhubungan dengan berat di tiap-tiap lantai yang dihitung dengan rumus :

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum W_i \cdot z_i} V \quad (2.14)$$

dimana,

$$V = \frac{C_I \cdot I}{R} W_t \quad (\text{Gaya geser}) \quad (2.15)$$

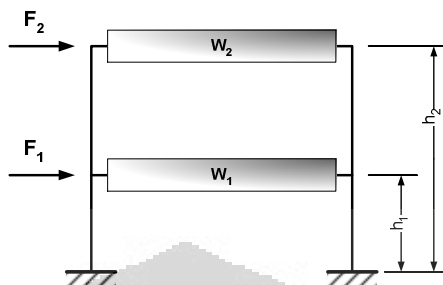
$$I = I_1 \cdot I_2 \quad (\text{Faktor keutamaan}) \quad (2.16)$$

$$R = \frac{\sum V_s}{\sum V_s / R_s} \quad (\text{Faktor reduksi}) \quad (2.17)$$

$$W_t = DL + \alpha LL \quad (\text{Berat tiap lantai}) \quad (2.18)$$

Pada rumusan gaya geser akibat beban lateral gempa, variabel C_I merupakan koefisien gempa dasar pada zona wilayah gempa, dalam penentuan diperlukannya tipe tanah dasar yang terdiri dari tiga pilihan: tanah lunak, sedang dan keras, serta menentukan terlebih dahulu periode alami T yang terjadi pada struktur. Periode alami T , rumus pendekatan diklasifikasikan terhadap zona

wilayah gempa untuk mendapatkan koefisien pembatasan ξ yang dikalikan dengan dengan jumlah lantai dari struktur gedung sebagai batasan struktur fleksibel.



Gambar 2.35. Distribusi Gaya Statik Ekuivalen

Sumber : Dynamics of Structures : Theory and Applications to Earthquake Engineering, Chopra

Waktu getar alami struktur gedung setelah direncanakan dengan pasti harus ditentukan dari rumus Rayleigh:

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot d_i^2}{g \sum F_i \cdot d_i}} \quad (2.19)$$

Dimana W_i adalah berat lantai tingkat ke- i , termasuk beban hidup yang sesuai. F_i adalah beban gempa nominal statik ekuivalen. d_i adalah simpangan horisontal pusat massa pada tingkat ke- i akibat beban gempa horisontal F_i . Sedangkan g adalah percepatan gravitasi.

Apabila waktu getar alami Rayleigh didapatkan nilai kurang dari 80% dari nilai waktu getar alami sebelumnya, maka perhitungan beban-beban gempa harus dihitung kembali.

Variabel I merupakan faktor keutamaan fungsi dari suatu struktur, nilai faktor ini dimiliki oleh macam jenis gedung yang diklasifikasikan berdasarkan resiko yang dialami oleh pengguna gedung yang merupakan perkalian antara probabilitas terjadinya gempa selama umur gedung I_1 dengan penyesuaian priode ulang gempa berkaitan dengan umur gedung I_2 .

Variabel R merupakan faktor jenis struktur yang merepresentasikan dari struktur gedung itu untuk arah pembebanan gempa tersebut, dapat dihitung sebagai nilai rata-rata berbobot dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh masing-masing jenis subsistem sebagai besaran pembobotannya, dimana R_s

merupakan faktor reduksi gempa pada masing-masing jenis subsistem struktur gedung dan V_s adalah gaya geser dasar yang dipikul oleh masing-masing subsistem struktur gedung tersebut.



BAB 3

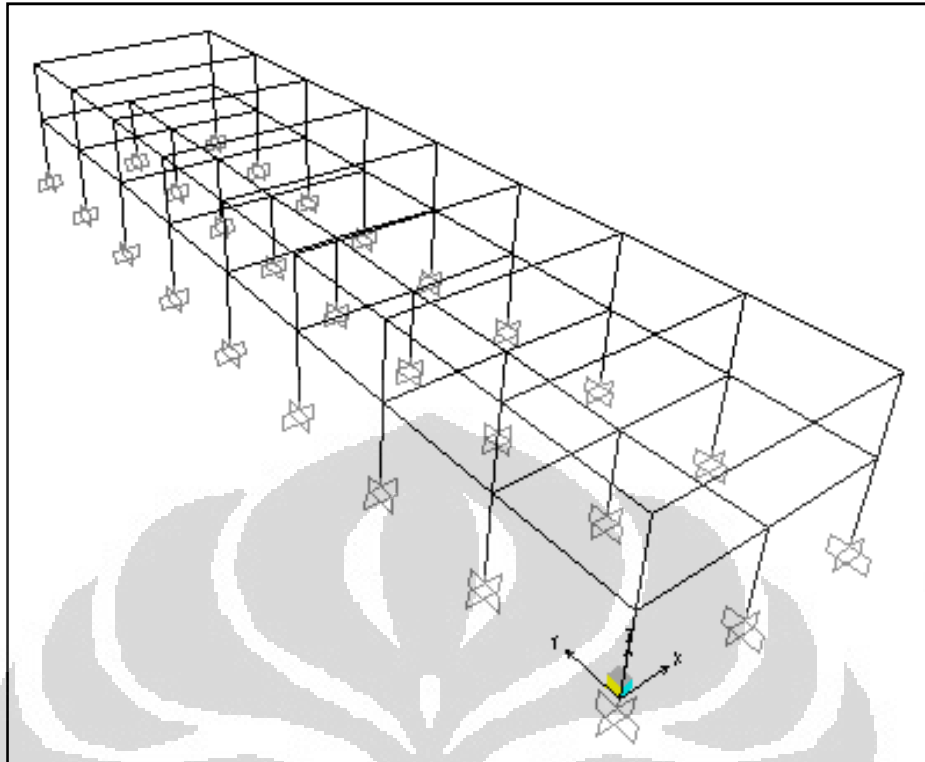
METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab metodologi penelitian ini akan dibahas mengenai prosedur yang digunakan dalam penelitian untuk menganalisis perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan lantai dan pembebanan gempa.

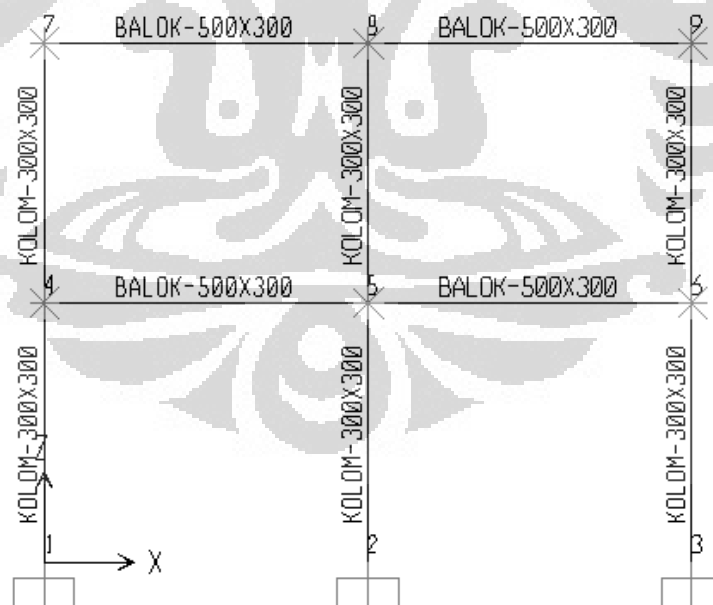
3.1 Informasi Umum Pemodelan Struktur

Pemodelan pada penelitian ini terdiri dari dua bagian, yang pertama yaitu pemodelan untuk menganalisis perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan lantai dan pembebanan gempa dan pemodelan yang kedua yaitu untuk menganalisis perilaku *shear connector* pada kolom yang mengalami *jacketing*.

Untuk pemodelan yang pertama, bangunan yang digunakan sebagai pemodelan struktur dalam penelitian ini adalah bangunan perkantoran dua lantai dengan struktur beton bertulang. Tinggi setiap lantai yaitu 4 meter. Denah yang digunakan adalah denah simetris tipikal di setiap lantai dengan dimensi 10 m x 40 m². Selanjutnya pemodelan bangunan dimodelkan dalam bentuk dua dimensi untuk dianalisis, seperti terlihat pada gambar Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Model Struktur Eksisting



Gambar 3.2. Pemodelan Dua Dimensi Struktur Eksisting dengan Analisis pada Salah Satu Portal (Dua Dimensi)

Pemodelan bangunan yang akan dianalisis dengan analisis dua dimensi ini terdiri dari elemen batang balok dan kolom dengan perletakan jepit. Dalam penelitian ini bangunan dimodelkan dengan menggunakan program SAP 2000 v.10.

Untuk pemodelan bagian yang kedua bertujuan untuk menganalisis perilaku *shear connector* pada kolom yang mengalami *jacketing*. Pada pemodelan ini *concrete jacketing* dimodelkan pada kolom tunggal dari kolom eksisting. Pemodelan *concrete jacketing* untuk bagian kedua ini menggunakan elemen *shell*, sedangkan untuk kolom eksisting dan *shear connectornya* menggunakan elemen batang dan digunakan perletakan jepit. Pemodelan bagian kedua ini juga dimodelkan dengan menggunakan program SAP 2000 v.10.

3.1.1 Spesifikasi material

Dalam penelitian ini penulis menggunakan material pada pemodelan struktur eksisting seperti pada Tabel 3.1 berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi material model eksisting

Notasi	Properti Material	Nilai	Satuan
fc'	Kuat beton	20,75	Mpa
E	Modulus Elastisitas	21410	MPa
m	Massa beton per satuan volume	2,446	KN/m ³
W	Berat beton per satuan volume	24	KN/m ³
fy	Kuat leleh baja tulangan	400	MPa

Sedangkan spesifikasi material untuk berbagai variasi model mengikuti variabel yang divariasikan, kecuali massa beton persatuan volume, berat beton persatuan volume dan kuat leleh baja tulangan memiliki nilai yang sama seperti spesifikasi material bangunan eksisting. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab variasi pemodelan.

3.1.2 Dimensi

Pada pemodelan bagian pertama, dimensi yang digunakan pada struktur bangunan eksisting yaitu 300 mm x 300 mm untuk setiap kolomnya dan 300 mm x 500 mm untuk setiap baloknya. Sementara dimensi pelat yaitu memiliki ketebalan 120 mm dan untuk dimensi balok anak adalah 200 mm x 400 mm.

Universitas Indonesia

Sedangkan dimensi untuk model variasi akan menggunakan *concrete jacketing* pada balok dan kolom di lantai pertama dan kedua sebagai perkuatan dan perbaikannya. Hal ini juga akan dijelaskan pada subbab variasi pemodelan.

Untuk pemodelan kedua, dimensi kolom yang digunakan yaitu 300 mm x 300 mm untuk kolom eksistingnya dan dilapisi dengan *concrete jacketing*, sehingga dimensinya menjadi 500 mm x 500 mm.

3.1.3 Pembebanan

Pada pemodelan bagian pertama pembebanan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan pada Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.5.1987. Karena analisis penelitian ini menggunakan analisis dua dimensi, maka area pembebanannya hanya luas satu area (dua kali setengah luas area pembebanan). Pembebanan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.1.3.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat struktur bangunan sendiri ditambah dengan beban mati tambahan (SIDL atau *Super Imposed Dead Load*). Beban sendiri struktur portal akan diproses oleh program SAP 2000 V.10, sedangkan beban mati sendiri untuk balok arah Y, pelat dan balok anak dianggap beban luar yang akan dibebankan pada struktur portal, begitu juga halnya dengan beban mati tambahan. Yang termasuk kedalam beban mati pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.2 - Tabel 3.4.

3.1.3.2 Beban Hidup

Berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, SKBI-1.3.5.1987, maka beban hidup memiliki nilai yang berbeda untuk atap dan lantai. Untuk beban hidup yang terdapat di atap bernilai 100 kg/m², karena atap dianggap dapat dicapai dan dibebani oleh orang. Sementara untuk beban hidup pada lantai bernilai 250 kg/m², karena bangunan ini merupakan kantor.

Tabel 3.2. Pembebanan struktur eksisting (2 Lantai)

Pelat	Beban	Besar	Satuan	Beban pada Portal	Satuan
Lantai 1	Dead :				
	Screeed	150	Kg/m ²	750	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Balok	360	Kg/m	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m	480	Kg
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	100	Kg/m ²	500	Kg/m
Lantai 2	Dead :				
	Screeed	120	Kg/m ²	600	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Partisi	100	Kg/m ²	500	Kg
	Balok	360	Kg/m ²	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg/m
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	250	Kg/m ²	1250	Kg/m

Tabel 3.3. Pembebanan untuk struktur 3 lantai

Pelat	Beban	Besar	Satuan	Beban pada Portal	Satuan
Lantai 3	Dead :				
	Screeed	150	Kg/m ²	750	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Balok	360	Kg/m ²	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	100	Kg/m ²	500	Kg/m
Lantai 1-2	Dead :				
	Screeed	120	Kg/m ²	600	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Partisi	100	Kg/m ²	500	Kg
	Balok	576	Kg/m ²	2880	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg/m
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	250	Kg/m ²	1250	Kg/m

Tabel 3.4. Pembebanan untuk struktur 4 lantai

Pelat	Beban	Besar	Satuan	Beban pada Portal	Satuan
Lantai 4	Dead :				
	Screeed	150	Kg/m ²	750	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Balok	360	Kg/m ²	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	100	Kg/m ²	500	Kg/m
Lantai 1-3	Dead :				
	Screeed	120	Kg/m ²	600	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Partisi	100	Kg/m ²	500	Kg
	Balok	576	Kg/m ²	2880	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg/m
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	250	Kg/m ²	1250	Kg/m

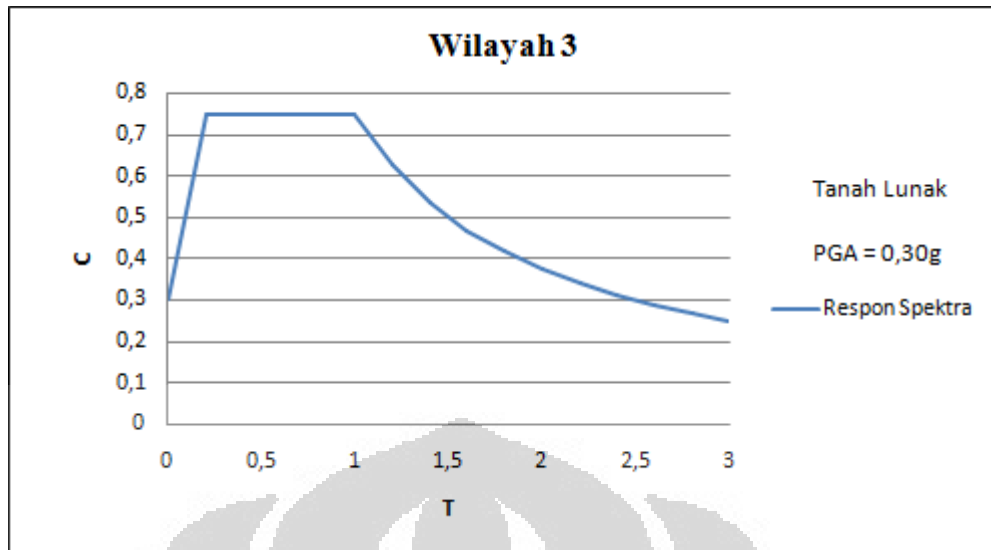
3.1.3.3 Beban Gempa

Selain beban mati dan beban hidup, analisis perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan lantai juga memperhatikan beban lateral, yaitu beban gempa.

Beban Gempa dihitung berdasarkan peraturan gempa Indonesia SNI 03-1726-2002 dengan asumsi bangunan berlokasi di Jakarta dengan jenis tanah diasumsikan yaitu tanah lunak. Berdasarkan peta gempa, respon spektra yang digunakan adalah respon spektra gempa rencana wilayah 3 dengan percepatan tanah puncak $PGA = 0,30g$ untuk tanah lunak.

Beberapa hal terkait beban gempa dengan *input* program SAP 2000 v.10 antara lain sebagai berikut :

- Kombinasi massa untuk perhitungan gempa adalah $1 \text{ Dead Load} + 0,3 \text{ Live Load}$
- *Input* gempa yang digunakan adalah respon spektrum gempa wilayah 3 dengan kondisi tanah lunak



Gambar 3.3. Respon Spektrum Gempa Rencana

Sumber : Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)

- Karena struktur dimodelkan sebagai dua dimensi, maka percepatan gempa hanya diberikan pada sumbu global X dengan faktor skala dihitung sebagai berikut :

$$\text{Faktor Skala} = I/R = 0,182$$

Dimana :

I : Faktor keutamaan gedung. Untuk gedung perkantoran nilainya diambil 1

R : Faktor reduksi gempa, nilai yang digunakan 5,5

- Perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan lantai ini dianalisis terhadap beban gravitasi dan lateral dengan kombinasi beban masing-masing memiliki skala faktor 1.
- Jumlah mode yang digunakan untuk analisis pembebanan lateral hanya tiga.

Sedangkan untuk pemodelan yang kedua, pembebanan yang digunakan hanya pembebanan lateral dengan besar 1000 KN dan terbagi pada setiap 1 meter ketinggian kolom.

3.2 Variasi Pemodelan

Seperti yang sudah disinggung pada bab 1, bahwa untuk menganalisis perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan lantai ini dilakukan beberapa variasi pemodelan. Variasi pemodelan ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 - Tabel 3.11.

Berikut adalah variasi untuk pemodelan bagian pertama :

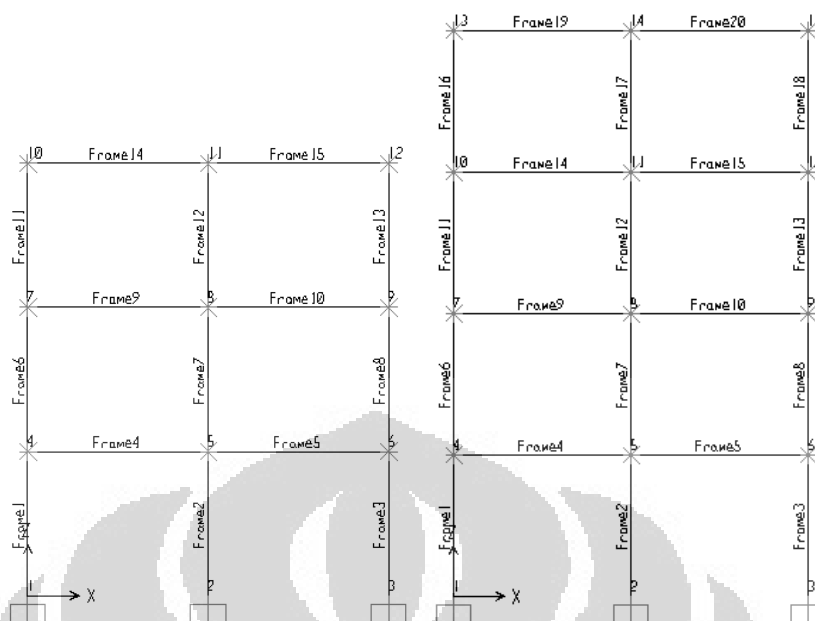
1. Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Tabel 3.5. Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
2	0	0	K250
3	0	0	K250
4	0	0	K250

Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
3	0	0	K350
4	0	0	K350

Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
3	0	0	K450
4	0	0	K450



Gambar 3.4. Model Struktur Variasi Jumlah Lantai dan Mutu Beton (3 Lantai dan 4 Lantai)

Variasi ini belum menggunakan *concrete jacketing*, tetapi menggunakan portal monolit yang memiliki dimensi kolom dan balok yang seukuran dengan dimensi kolom dan balok yang telah mengalami *jacketing*, yaitu kolom 500 mm x 500 mm dan balok 500 mm x 300 mm. Variasi ini digunakan sebagai variabel pembanding untuk mengetahui apakah perilaku dan kinerja *concrete jacketing* pada variasi lain sama atau mirip dengan variasi ini. Karena pada dasarnya, tujuan dari *concrete jacketing* adalah untuk membuat balok dan kolomnya menjadi beton lama dan beton baru yang bersatu membentuk struktur yang monolit.

2. Variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

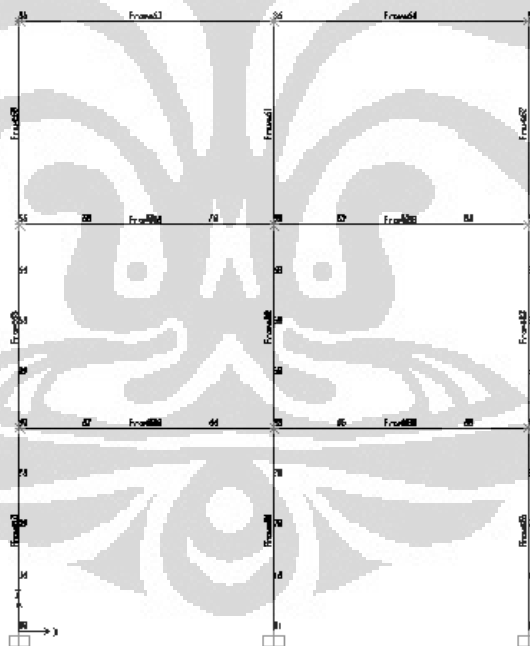
Variasi jumlah *shear connector* yang berbeda-beda ini bertujuan untuk mengetahui apakah *shear connector* mempengaruhi perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* pada bangunan yang mengalami penambahan jumlah lantai. Disini jumlah *shear connector* dijadikan sebagai variabel bebas, sedangkan jumlah lantai, mutu beton, dan diameter *shear connector* dijadikan sebagai variabel kontrol. Mengenai variabel-variabel ini dapat dilihat pada Tabel 3.6.

3. Variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Pada variasi ketiga ini akan digunakan diameter *shear connector* sebagai variabel bebas sedangkan jumlah lantai, mutu beton, dan jumlah *shear connector* menjadi variabel kontrol. Pada variasi ini akan dilihat apakah diameter *shear connector* memiliki pengaruh terhadap perilaku *concrete jacketing*.

Tabel 3.7. Variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Lantai	Mutu Beton	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector
3	K350	5	D13
3	K350	5	D16
3	K350	5	D19
3	K350	5	D22



Gambar 3.6. Model Struktur Variasi Diameter *Shear Connector*

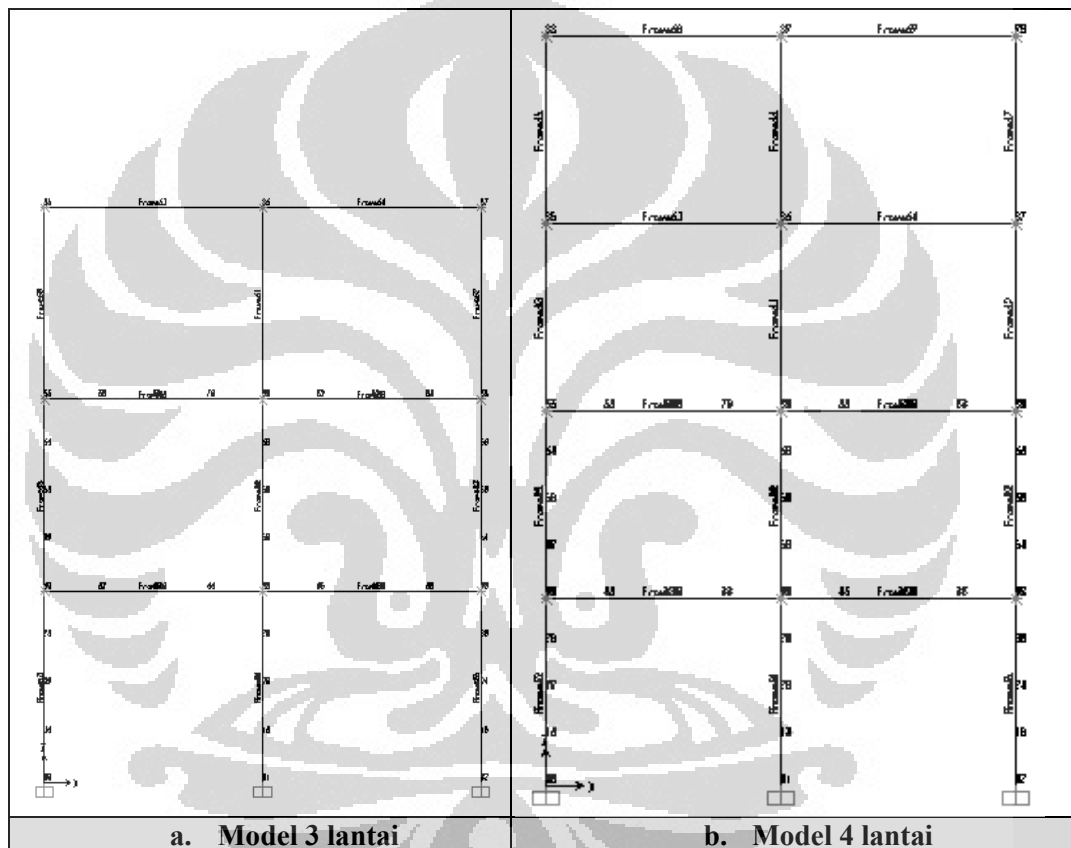
4. Variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Variasi kali ini akan dilihat bagaimana perilaku *concrete jacketing* apabila penambahan lantai menjadi 3 lantai dan 4 lantai. Dengan menjadikan mutu

beton, jumlah dan diameter *shear connector* sebagai variabel kontrol sedangkan jumlah lantai menjadi variabel bebas.

Tabel 3.8. Variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Mutu Beton	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Jumlah Lantai
K350	5	D16	3
K350	5	D16	4



Gambar 3.7. Model Struktur Variasi Jumlah Lantai yang Ditambahkan

5. Variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Variasi mutu beton *concrete jacket* dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh mutu beton terhadap perilaku *concrete jacket*. Seperti yang terlihat pada tabel di bawah, maka yang menjadi variabel bebas disini adalah mutu beton *concrete jacket* dan yang menjadi variabel kontrol yaitu jumlah lantai, jumlah *shear connector* serta diameter *shear connector*. Model yang

digunakan sama seperti Gambar 3.7 dengan melakukan variasi terhadap mutu beton nya.

Tabel 3.9. Variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
3	5	D16	K250
4	5	D16	K250

Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
3	5	D16	K350
4	5	D16	k350

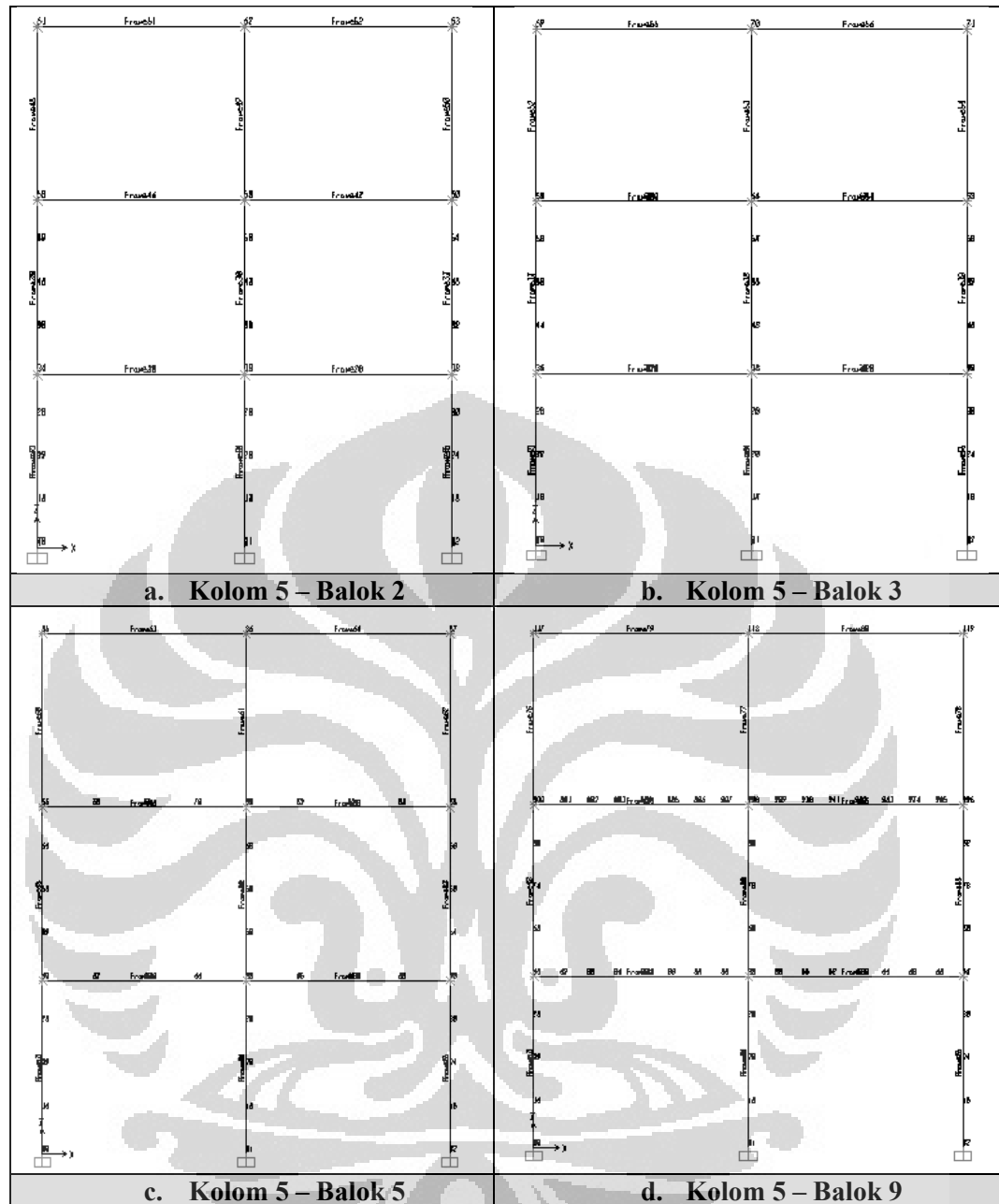
Jumlah Lantai	Jumlah Shear Connector	Diameter Shear Connector	Mutu Beton
3	5	D16	K450
4	5	D16	K450

6. Variasi jumlah *shear connector* pada balok

Tabel 3.10. Variasi jumlah *shear connector* pada balok

Jumlah Lantai	Mutu Beton	Diameter Shear Connector	Jumlah Shear Connector Kolom	Jumlah Shear Connector Balok
3	K350	D16	5	2
3	K350	D16	5	3
3	K350	D16	5	9

Pada variasi kedua telah dilakukan variasi terhadap jumlah *shear connector* satu model terhadap model lainnya sedangkan jumlah *shear connector* antara balok dan kolomnya sama. Kali ini variasi dilakukan terhadap jumlah *shear connector* pada balok, yang nantinya akan menjadi variabel bebas. Variabel terikat dari variasi keenam ini adalah jumlah lantai, mutu beton, diameter *shear connector* dan jumlah *shear connector* pada kolom. Variabel-variabel ini dapat dilihat pada Tabel 3.10.



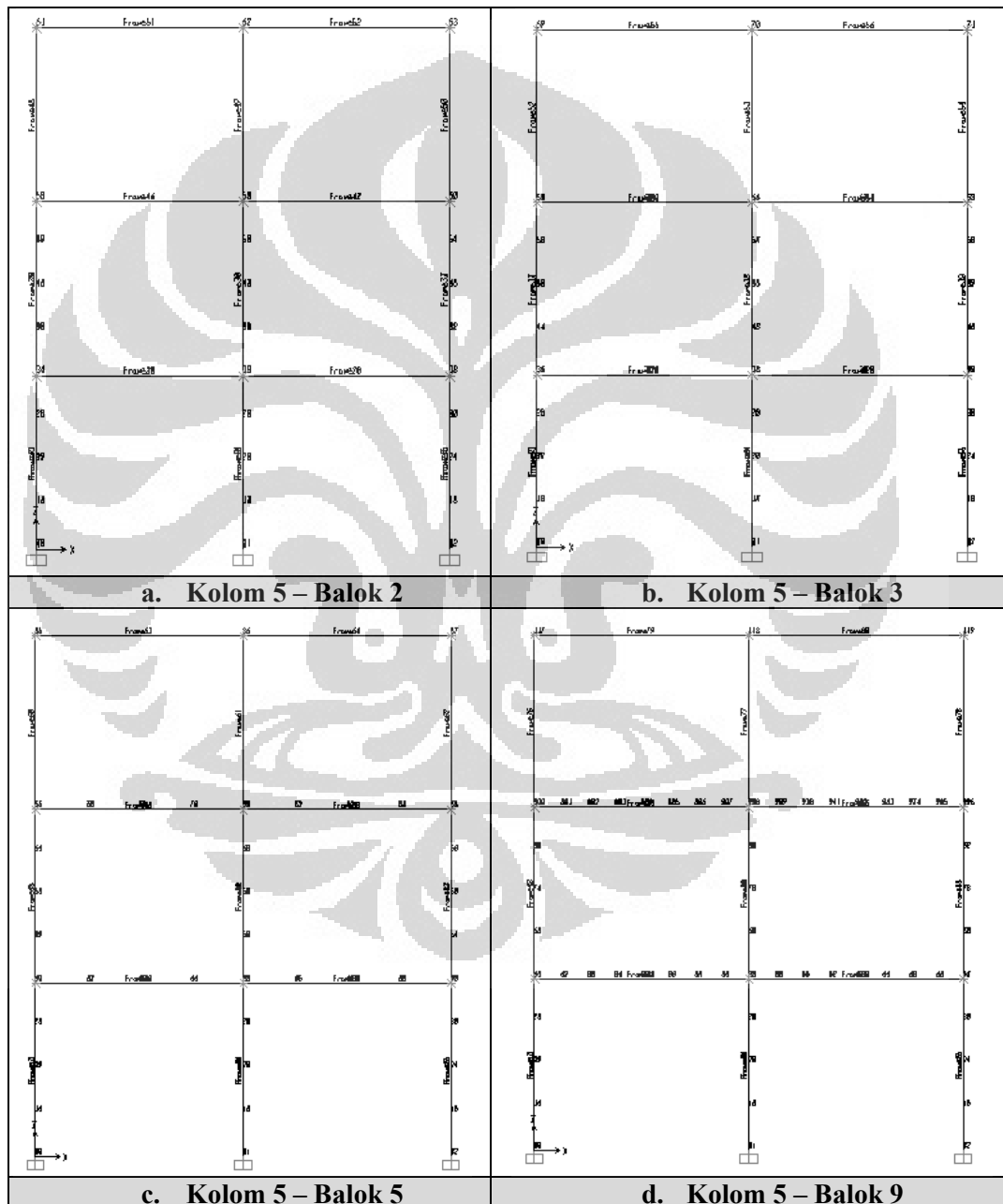
Gambar 3.8. Model Struktur Variasi Jumlah *Shear Connector* Pada Balok

7. Variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jika pada variasi keenam jumlah *shear connector* pada balok yang menjadi variabel bebas, maka pada variasi ketujuh ini jumlah *shear connector* pada kolom yang menjadi variabel bebas. Sedangkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.11, jumlah lantai, mutu beton, diameter *shear connector* dan jumlah *shear connector* pada balok dijadikan sebagai variabel kontrol.

Tabel 3.11. Variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jumlah Lantai	Mutu Beton	Diameter Shear Connector	Jumlah Shear Connector Balok	Jumlah Shear Connector Kolom
3	K350	D16	5	2
3	K350	D16	5	3
3	K350	D16	5	9



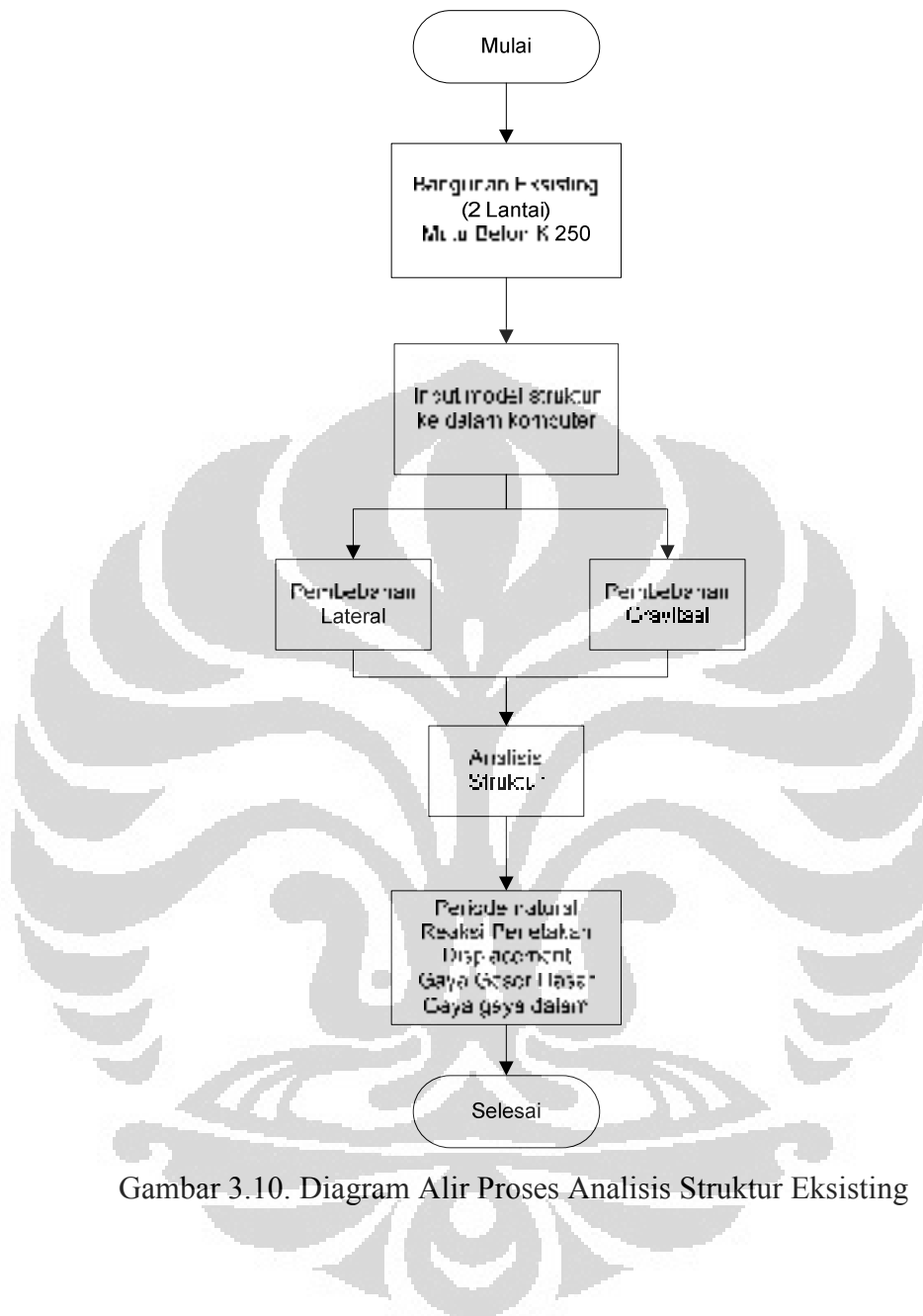
Gambar 3.9. Model Struktur Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Sedangkan untuk pemodelan bagian yang kedua tidak memiliki variasi pemodelan. Hanya ada satu pemodelan seperti spesifikasi material dan dimensi yang telah disebutkan pada subbab sebelumnya.

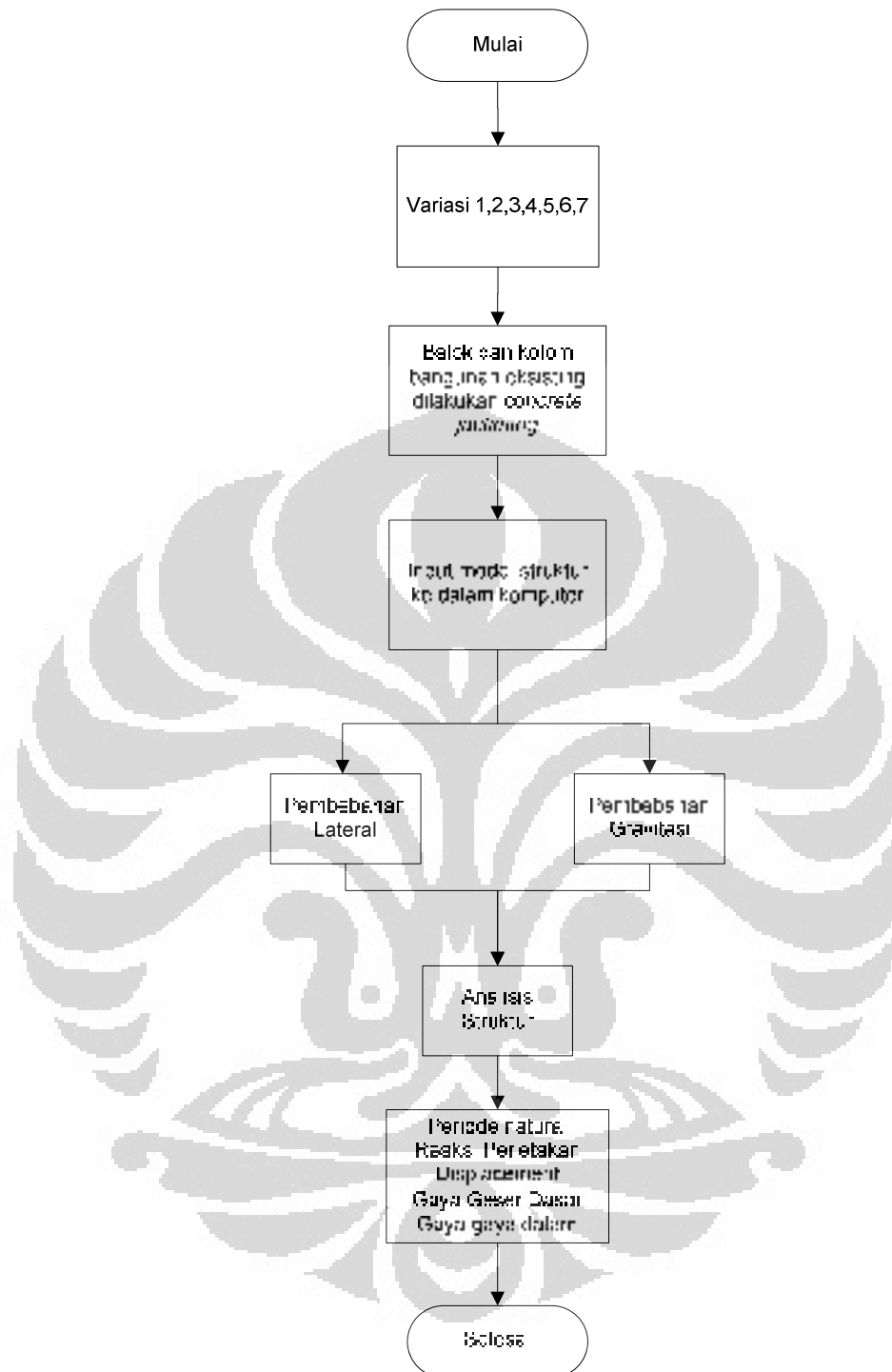
3.3 Prosedur Analisis

Pada pemodelan bagian pertama terdapat dua prosedur analisis, yaitu prosedur analisis untuk struktur bangunan eksisting dan prosedur analisis variasi model yang memiliki prosedur analisis yang sama antara satu dengan lainnya. Diagram alir yang menunjukkan prosedur analisis penelitian pada pemodelan pertama ini dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.

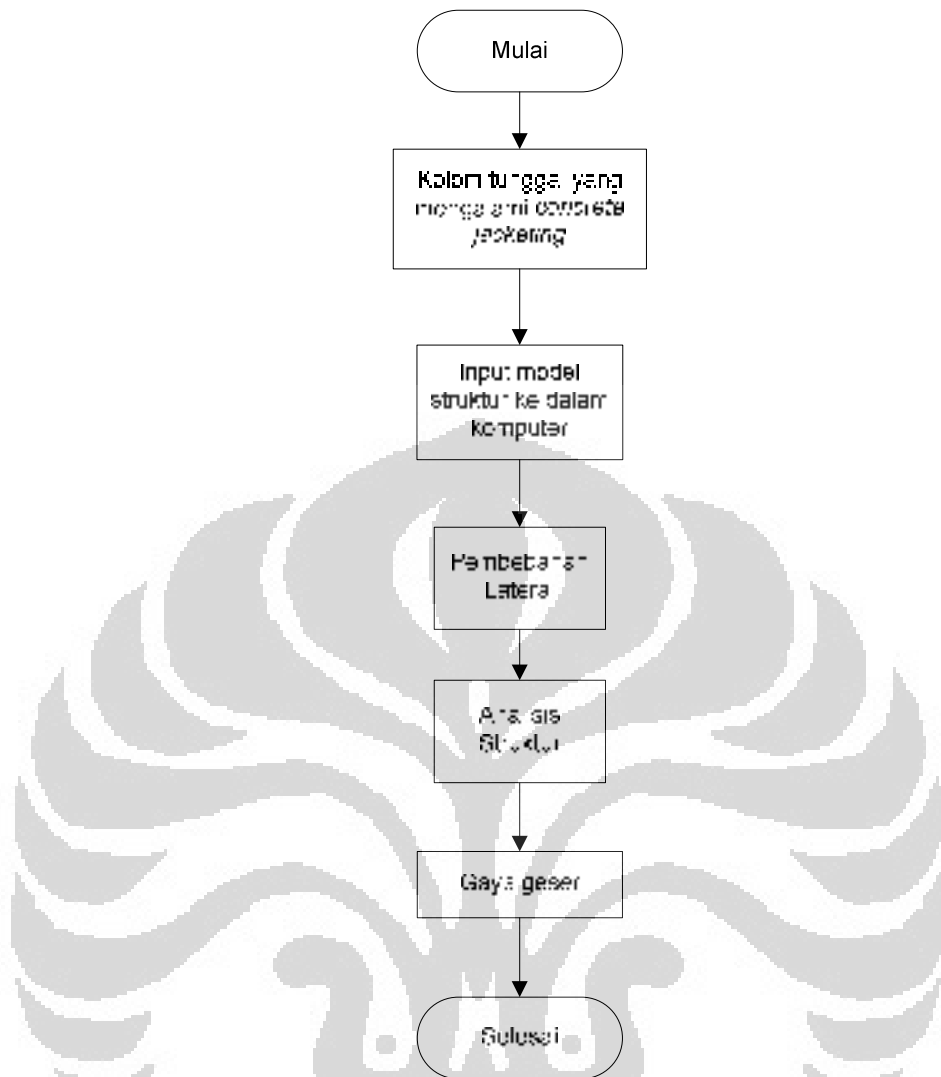
Sedangkan pada pemodelan kedua, prosedur analisis dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran dari pemodelan kedua untuk selanjutnya dianalisis dengan kondisi monolit dari kolom tunggal yang mengalami *concrete jacketing*. Diagram alir pemodelan kedua ini dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.10. Diagram Alir Proses Analisis Struktur Eksisting



Gambar 3.11. Diagram Alir Proses Analisis Struktur Variasi



Gambar 3.12. Diagram alir proses analisis perilaku *shear connector*

3.4 Hasil Pemodelan

Hasil atau keluaran dari pemodelan pertama yang akan dianalisis adalah sebagai berikut :

1. Periode natural struktur

Periode natural struktur akan dibandingkan pada saat analisis dengan pembebanan lateral. Semua variasi akan dibandingkan satu sama lain dengan struktur monolit. Selain itu juga dilihat partisipasi massa dari setiap model variasi akibat pembebanan lateral ini.

2. Reaksi perletakan

Reaksi perletakan akan dianalisis baik pada pembebanan gravitasi maupun pembebanan lateral.

3. Simpangan atau *displacement* dari struktur

Simpangan struktur akan dibandingkan pada setiap pertemuan balok dan kolom tengah (*joint* tengah) untuk pembebanan gravitasi, sedangkan untuk pembebanan lateral simpangan yang dilihat adalah pada pertemuan balok dan kolom paling kiri. Setiap variasi baik dengan pembebanan gravitasi maupun lateral akan ditinjau dan dibandingkan pula dengan struktur pembanding, yaitu struktur monolitnya masing-masing.

4. Gaya geser dasar struktur

Sama halnya dengan periode natural struktur, gaya geser dasar dari struktur juga dibandingkan pada saat analisis dengan pembebanan lateral, dan hasilnya dibandingkan pula dengan struktur monolitnya.

5. Gaya-Gaya Dalam struktur

Gaya-Gaya Dalam yang terjadi pada semua variasi model dianalisis dan dibandingkan hasilnya dengan struktur monolitnya. Gaya-Gaya Dalam yang ditinjau hanya gaya dalam elemen batang dari portal sebelah kiri. Karena portal pada pemodelan ini bersifat simetris maka gaya dalam yang dihasilkan dari portal sebelah kanan akan sama dengan portal sebelah kiri. Untuk pembebanan gravitasi maka gaya dalam momen dan lintang yang ditinjau adalah pada balok sedangkan gaya normal yang ditinjau adalah gaya normal pada kolom. Sedangkan untuk pembebanan lateral maka gaya dalam momen, lintang, dan normal yang ditinjau adalah pada kolom paling kiri dari portal.

Sementara untuk hasil pemodelan kedua yang akan dianalisis adalah gaya geser dari *shear connector*. Selanjutnya dari gaya geser ini akan didapatkan tegangan gesernya dan dibandingkan dengan tegangan geser ketika kolomnya berada dalam kondisi monolit. Dari sini akan terlihat seberapa besar pengaruh *shear connector* untuk membuat kolom yang mengalami *concrete jacketing* menjadi bersifat monolit.

BAB 4

PEMBAHASAN

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai informasi umum terkait pemodelan struktur yaitu data *input* yang akan dimodelisasikan, variasi pemodelan serta hasil yang akan dilihat untuk selanjutnya dianalisis tentang perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* akibat penambahan tingkat dan beban lateral (gempa bumi) pada pemodelan pertama serta perilaku dari *shear connector* pada pemodelan kedua.

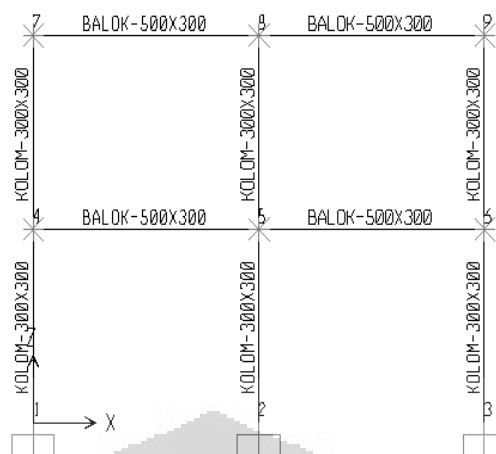
Pada bab ini akan dilakukan pemodelan struktur pada kedua bagian pemodelan, baik struktur eksisting maupun semua variasi pemodelan. Hasil dari semua model akan ditunjukkan dan selanjutnya dianalisis.

4.1 Pemodelan Struktur Bagian Pertama

4.1.1 Pemodelan Struktur Eksisting

Tahap pertama pemodelan adalah melakukan pemodelan untuk struktur eksisting, yaitu struktur yang belum mengalami penambahan lantai dan penggunaan *concrete jacket*. Tujuannya adalah untuk informasi awal mengenai perilaku dan kinerja dari struktur awal yang nantinya akan menjadi parameter untuk melakukan analisis terhadap variasi model.

Struktur eksisting akan dianalisis dua dimensi, sehingga bentuknya berupa portal terbuka yang komponen-komponennya merupakan elemen batang yang terdiri dari balok dan kolom. Perletakan struktur diasumsikan jepit. Dimensi kolom yaitu 300 milimeter x 300 milimeter, dan dimensi balok 500 milimeter x 300 milimeter. Mengenai pembebanan sudah dijelaskan pada pembahasan mengenai informasi umum pemodelan struktur di bab tiga.



Gambar 4.1. Model Struktur Eksisting

4.1.2 Pemodelan Struktur Variasi

Setelah dilakukan pemodelan pada struktur eksisting, dan mendapatkan hasil dari struktur eksisting tersebut, maka selanjutnya melakukan variasi pemodelan *concrete jacketing* sebagai perkuatan dan perbaikan elemen struktur eksisting akibat penambahan lantai sebagai beban gravitasi dan beban gempa sebagai beban lateral. Beban gravitasi dan beban lateral ini memiliki kombinasi pembebanan yang berbeda seperti yang telah dijelaskan pada bab tiga, karena nanti penulis ingin melihat perilaku dan kinerja dari *concrete jacketing* sebagai perkuatan dan perbaikan elemen struktur eksisting akibat penambahan lantai dan akibat beban gempa.

Untuk variasi pemodelan pertama belum digunakan *concrete jacketing*, struktur dimodelkan monolit guna mendapatkan parameter yang akan dibandingkan dengan *concrete jacket*. Sedangkan untuk variasi kedua sampai ketujuh digunakan *concrete jacketing* sebagai perkuatan dan perbaikan struktur eksisting dengan berbagai variasi.

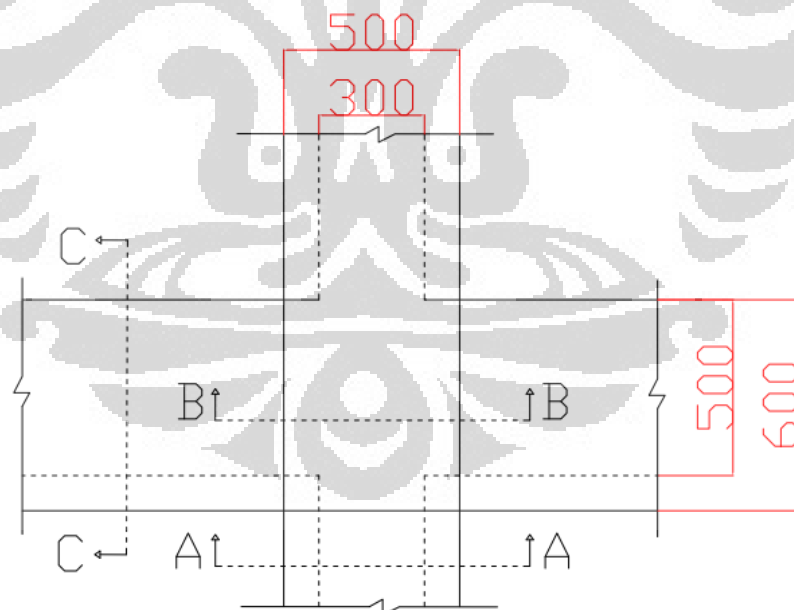
Untuk pemodelan *concrete jacketing*, beton dari elemen balok dan kolom eksistingnya diselubungi oleh beton baru dengan dihubungkan menggunakan *shear connector*. Dalam membuat komponen *concrete jacket* di program SAP ini dibuat dengan mendefinisikan sebagai balok dan kolom baru yang letak garis grid nya dibuat berada 1 cm di belakang (arah Y) elemen kolom dan balok lama. Pergeseran sumbu pusat elemen kolom dan beton baru sejauh 1 centimeter ini

dianggap tidak terlalu signifikan terhadap kondisi aslinya karena cukup kecil. Sehingga beton baru dianggap tepat menyelubungi beton lama dengan memiliki sumbu pusat elemen yang sama.

Sementara untuk *shear connector* dimodelkan sebagai batang baja dengan diameter dan jumlah yang nanti akan divariasikan. *Shear connector* ini menghubungkan titik-titik pada elemen struktur lama dan elemen struktur baru (*concrete jacket*) searah Y sejauh 1 centimeter tadi. Sehingga *shear connector* ini menghubungkan sumbu pusatnya. Agar struktur lama dan baru berperilaku sama maka dilakukan *constraint* pada titik-titik penghubungnya tersebut.

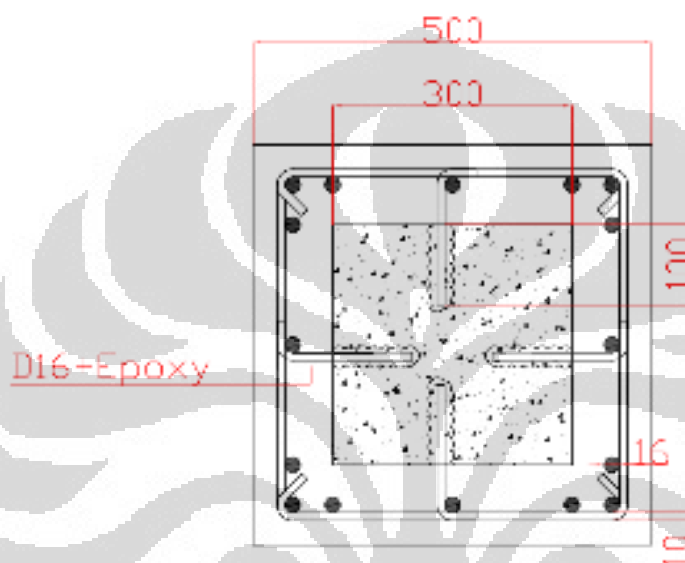
Jumlah DOF struktur dibatasi hanya ke arah translasi x, translasi z dan rotasi y dengan cara melakukan *restrain* pada setiap titik pertemuan balok dan kolom. Sehingga arah gerak struktur juga akan bergerak searah *restrain* tadi.

Semua langkah pemodelan struktur ini dapat dilihat pada lampiran penelitian ini. Berikut ini adalah gambar pemodelan *concrete jacketing* untuk kolom, balok, dan pertemuan antara kolom dan balok.



Gambar 4.2. Gambar Letak Potongan pada Balok dan Kolom untuk Detail
Concrete Jacketing

Gambar 4.2 merupakan gambar pertemuan balok dan kolom. Garis putus-putus menunjukkan letak balok dan kolom eksisting bangunan. Sedangkan garis tidak putus-putus merupakan garis dari balok dan kolom baru akibat *concrete jacketing*. Potongan A-A merupakan potongan pada kolom. Potongan B-B merupakan potongan pada pertemuan balok dan kolom. Sedangkan potongan C-C merupakan potongan pada balok. Semua potongan ini akan digunakan untuk melihat detail *concrete jacketing* pada masing-masing potongan tersebut.

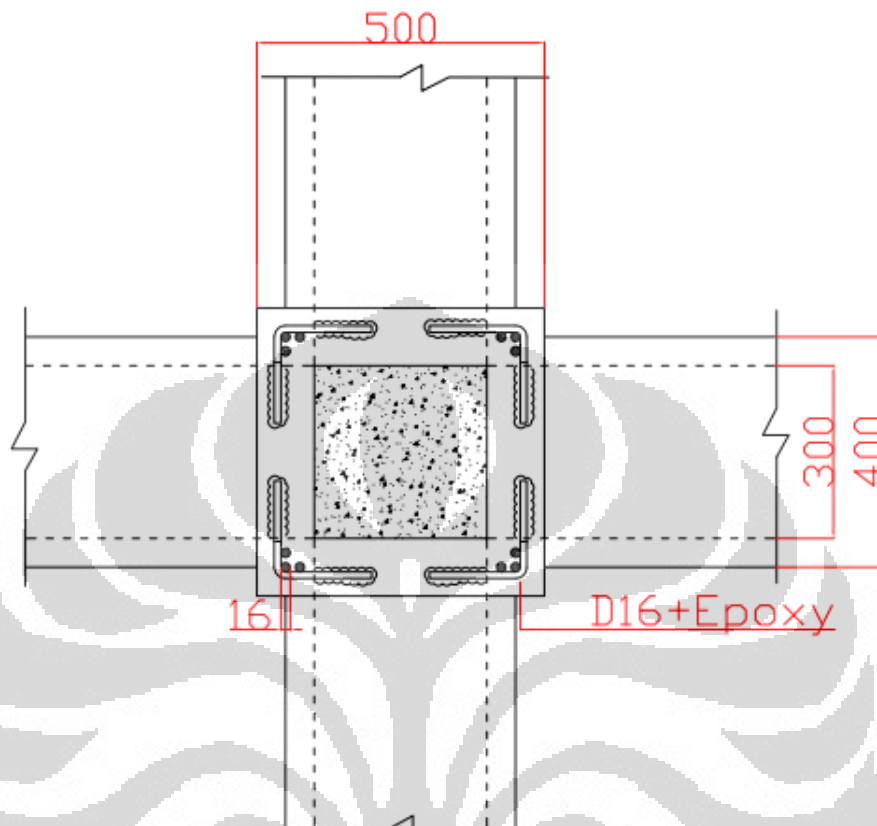


Gambar 4.3. Detail Potongan A-A (kolom)

Pada potongan A-A ini terlihat detail *concrete jacketing* pada kolom. Kolom eksisting berada ditengah (daerah yang diarsir) dengan bentuk persegi, sementara *concrete jacketing*nya menggunakan kolom berbentuk pipa/*tube*. Tulangan transversal yang digunakan berdiameter 16 milimeter, sedangkan tulangan sengkang berdiameter 10 milimeter. Diameter *shear connector* yang digunakan yaitu 16 milimeter dan panjang *shear connector* yang masuk ke dalam kolom eksisting sebesar 10 centimeter. Pertemuan antara kolom eksisting dengan kolom baru digunakan epoxy sebagai perekat setelah sebelumnya dilakukan pengkasaran permukaan kolom eksistingnya terlebih dahulu.

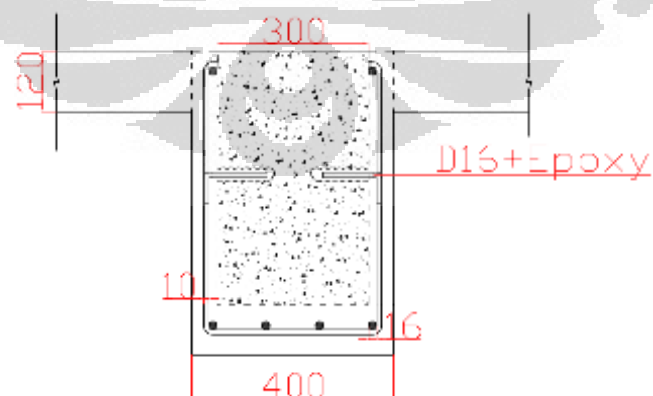
Sama seperti pada potongan A-A, pada potongan B-B seperti yang ditunjukkan Gambar 4.4 digunakan tulangan transversal dan *shear connector* dengan diameter yang sama. panjang *shear connector* yang masuk ke dalam

pertemuan balok dan kolom eksistingnya 10 centimeter. Pertemuan antara beton lama dengan beton baru juga digunakan *epoxy*.



Gambar 4.4. Detail Potongan B-B (pertemuan antara balok dan kolom)

Untuk potongan C-C, juga digunakan diameter yang sama untuk setiap tulangnya dengan tulangan pada kolom.



Gambar 4.5. Detail Potongan C-C (balok)

4.1.2.1 Pemodelan Struktur Variasi Akibat Beban Gravitasi

Untuk pemodelan struktur variasi akibat beban gravitasi tanpa dilakukan *concrete jacketing*, pembebanan yang dilakukan sama seperti pada tabel pembebanan struktur di bab tiga. Sementara untuk pembebanan pada variasi struktur yang mengalami *concrete jacketing* pembebanannya terbagi dua sama rata antara struktur lama dengan struktur baru (*concrete jacket*) kecuali pada bagian atap, karena merupakan struktur tambahan dan bersifat monolitik.

Tabel 4.1. Pembebanan pada variasi struktur 3 lantai dengan *concrete jacketing*

Pelat	Beban	Besar	Satuan	Beban pada Portal	Satuan
Lantai 3	Dead :				
	Screeed	150	Kg/m ²	750	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Balok	360	Kg/m ²	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	100	Kg/m ²	500	Kg/m
Lantai 1-2	Dead :				
	Screeed	120	Kg/m ²	300	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	75	Kg/m
	Partisi	100	Kg/m ²	250	Kg
	Balok	576	Kg/m ²	1440	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	240	Kg/m
	Pelat	288	Kg/m ²	720	Kg/m
	Live	250	Kg/m ²	625	Kg/m

Tabel 4.2. Pembebanan pada variasi struktur 4 lantai dengan *concrete jacketing*

Pelat	Beban	Besar	Satuan	Beban pada Portal	Satuan
Lantai 4	Dead :				
	Screeed	150	Kg/m ²	750	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	150	Kg/m
	Balok	360	Kg/m ²	1800	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	480	Kg
	Pelat	288	Kg/m ²	1440	Kg/m
	Live	100	Kg/m ²	500	Kg/m
Lantai 1-3	Dead :				
	Screeed	120	Kg/m ²	300	Kg/m
	CME	30	Kg/m ²	75	Kg/m
	Partisi	100	Kg/m ²	250	Kg
	Balok	576	Kg/m ²	1440	Kg
	Balok Anak	192	Kg/m ²	240	Kg/m
	Pelat	288	Kg/m ²	720	Kg/m
	Live	250	Kg/m ²	625	Kg/m

4.1.2.2 Pemodelan Struktur Variasi Akibat Beban Lateral

Sama seperti pada pemodelan variasi struktur akibat beban gravitasi, pembebanan akibat beban lateral pun terbagi dua sama rata pada struktur lama dan struktur baru (*concrete jacketing*). Pembebanan lateral ini menggunakan beban statik ekuivalen dengan meninjau terlebih dahulu periode getar natural struktur. Setelah mendapat periode getar natural dan berat struktur bangunan, maka beban statik ekuivalen didapatkan lalu diaplikasikan pada struktur.

Periode getar natural struktur dapat dilihat pada hasil pemodelan variasi struktur akibat beban lateral. Hasilnya menunjukkan bahwa periode getar natural struktur berada pada rentang 0,2-1. Sehingga memiliki nilai faktor respon gempa (C) yang sama besar yaitu 0,75.

Berikut adalah data untuk pembebanan lateral :

Tabel 4.3. Berat total struktur

Jumlah Lantai	Berat Total Struktur (KN)
2 Lantai	810,05094
3 Lantai	1459,41408
4 Lantai	1944,20466

Tabel 4.4. Gaya geser dasar struktur

Jumlah Lantai	Gaya Geser Dasar (KN)
2 Lantai	110,461
3 Lantai	1459,414
4 Lantai	265,1188173

Tabel 4.5. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 2 lantai

Story	h (m)	wi (KN)	zi (m)	wi x zi (KN m)	Fi (KN)
2	4	376,82172	8	3014,57376	70,141
1	4	433,22922	4	1732,91688	40,320
Total				4747,49064	110,461

Tabel 4.6. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 3 lantai

Story	h (m)	wi (KN)	zi (m)	wi x zi (KN m)	Fi (KN)	F/2
3	4	396,59868	12	4759,18416	85,051	42,5253
2	4	531,4077	8	4251,2616	75,974	37,9868
1	4	531,4077	4	2125,6308	37,987	18,9934
Total				11136,07656	199,011	99,5055

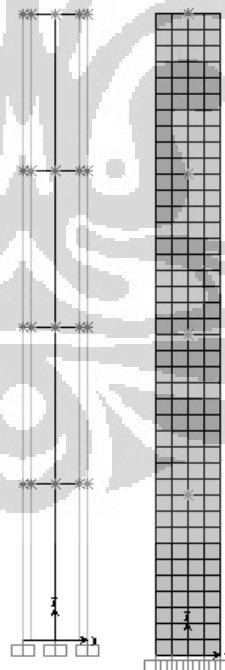
Universitas Indonesia

Tabel 4.7. Distribusi gaya statik ekuivalen pada struktur 4 lantai

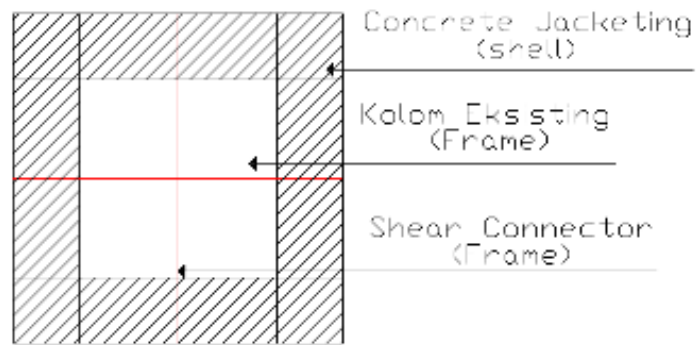
Story	h (m)	wi (KN)	zi (m)	wi x zi (KN m)	Fi (KN)	Fi/2
4	4	396,59868	16	6345,57888	90,741	45,370
3	4	484,79058	12	5817,48696	83,189	41,5946
2	4	531,4077	8	4251,2616	60,792	30,3962
1	4	531,4077	4	2125,6308	30,396	15,1981
Total				18539,95824	265,119	132,559

4.2 Pemodelan Struktur Bagian Kedua

Seperti yang telah disinggung sebelumnya bahwa pemodelan bagian kedua ini bertujuan untuk melihat perilaku dari *shear connector* pada kolom untuk dibandingkan dengan kondisi kolom monolitnya, maka pemodelan bagian kedua ini hanya terdiri dari satu model saja dengan pemodelan kolom tunggal. Elemen yang digunakan adalah elemen batang untuk kolom eksisting dan elemen *shell* untuk *concrete jacketing*nya. Tinggi kolom yaitu 4 meter. *Shear connector* diletakkan pada setiap ketinggian 1 meter dari dasar kolom. Pada pemodelan bagian kedua ini juga digunakan perletakan jepit.

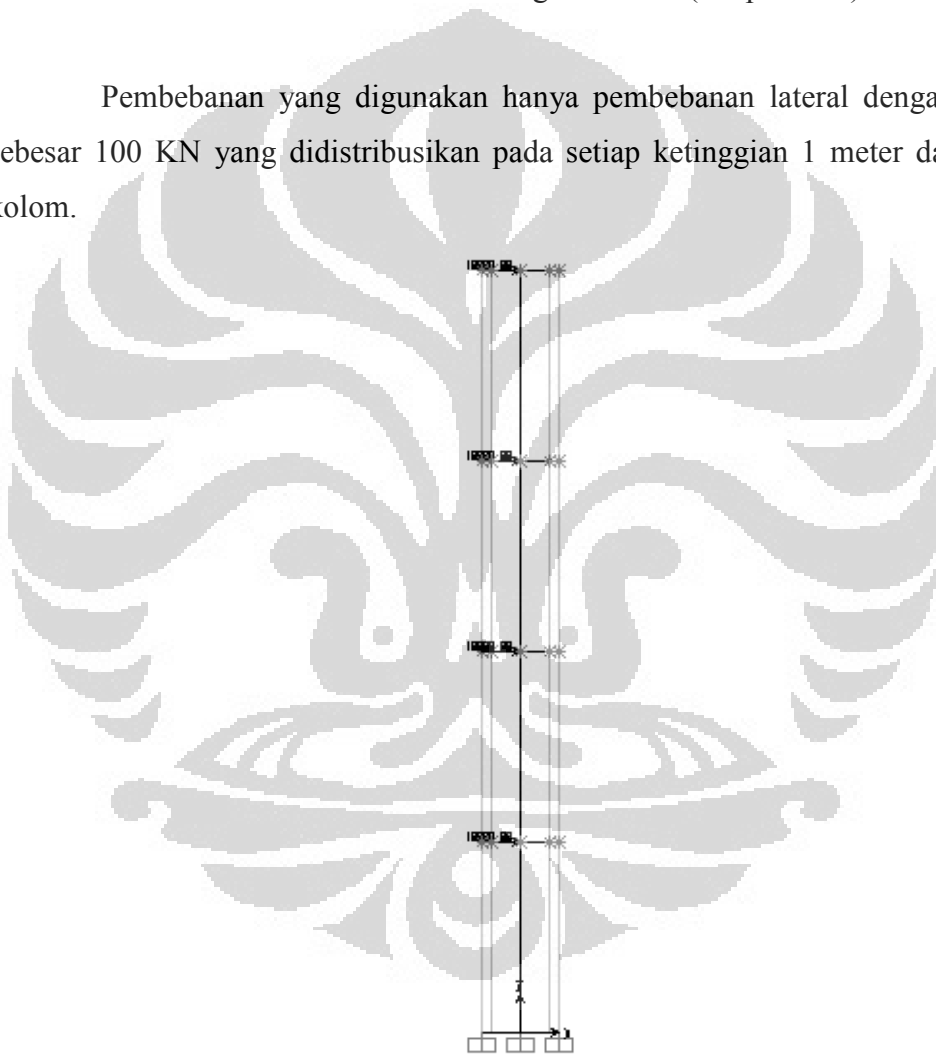


Gambar 4.6. Pemodelan Bagian Kedua (tampak depan), *Concrete Jacketing* dengan Elemen *Shell* (kanan) dan Kolom Eksisting dan *Shear Connector* Dengan Elemen Batang (kiri)



Gambar 4.7. Pemodelan Bagian Kedua (tampak atas)

Pembebanan yang digunakan hanya pembebanan lateral dengan beban sebesar 100 KN yang didistribusikan pada setiap ketinggian 1 meter dari dasar kolom.



Gambar 4.8. Pembebanan pada Pemodelan Kedua

4.3 Hasil dan Analisis Pemodelan Struktur Bagian Pertama

Telah disinggung pula pada bab sebelumnya bahwa hasil dari pemodelan ini berupa reaksi perletakan, simpangan dan Gaya-Gaya Dalam untuk pemodelan

Universitas Indonesia

dengan pembebanan gravitasi. Sementara untuk pemodelan dengan pembebanan lateral, hasil pemodelan berupa periode getar, reaksi perletakan, simpangan dan Gaya-Gaya Dalam.

4.3.1 Hasil Pemodelan Struktur Eksisting

4.3.1.1 Hasil Pemodelan Struktur Eksisting Akibat Beban Gravitasi

- Reaksi Perletakan

Reaksi perletakan merupakan reaksi struktur yang timbul akibat adanya aksi (gaya) dari luar. Sehingga besar reaksi totalnya akan sama dengan besar gaya luar yang terjadi.

Reaksi perletakan yang timbul akibat pembebanan gravitasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.8. Reaksi perletakan struktur eksisting akibat beban gravitasi

Jenis	Joint	F1	F3	M2
	Text	KN	KN	KN-m
Eksisting (K250)	1	5,91	221,015	7,83155
	2	1,22E-16	490,271	-4,1E-15
	3	-5,91	221,015	-7,83155

Tabel di atas menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi pada *joint* 1 dan 3 memiliki nilai yang sama, hanya berbeda tanda. Hal ini terjadi karena pemodelan penelitian ini merupakan portal yang simetris. Reaksi perletakan pada semua variasi akan menunjukkan hal yang sama seperti ini.

- Simpangan

Simpangan berhubungan dengan gaya luar yang membebani struktur dan kekakuan struktur. Semakin besar gaya luar yang membebani struktur maka semakin besar simpangan yang terjadi. Dan semakin besar kekakuan struktur maka semakin kecil simpangan yang terjadi.

Simpangan dari struktur eksisting akibat beban gravitasi yaitu -0,852591 mm pada *joint* 5 dan -1,223795 mm pada *joint* 8.

Tabel 4.9. Simpangan yang terjadi pada struktur eksisting akibat beban gravitasi

Joint	U3
Text	mm
5	-0,852591
8	-1,223795

- Gaya-Gaya Dalam

Gaya-Gaya Dalam yang terjadi pada struktur eksisting akibat beban gravitasi adalah sebagai berikut :

- Momen (M 3-3)

Tabel 4.10. Gaya dalam momen pada struktur eksisting akibat beban gravitasi

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Eksisting (K250)	4	60,35894	-38,877	-107,57365
	9	48,69467	-22,72365	-80,0595

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.11. Gaya dalam lintang pada struktur eksisting akibat beban gravitasi

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Eksisting (K250)	4	-91,856	119,335
	9	-67,16	90,094

- Normal

Tabel 4.12. Gaya dalam normal pada struktur eksisting akibat beban gravitasi

Mutu Beton	Frame	Station 0 m	Station 2 m	Station 4 m
	Text	KN	KN	KN
Eksisting (K250)	1	-221,015	-216,695	-212,375
	2	-490,271	-485,951	-481,631
	6	-98,159	-93,839	-89,519
	7	-215,895	-211,575	-207,255

4.3.1.2 Hasil Pemodelan Struktur Eksisting Akibat Beban Lateral

- Periode Getar

Periode getar struktur merupakan waktu yang dibutuhkan struktur atau bangunan untuk bergetar penuh. Periode getar struktur dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur. Semakin kaku suatu struktur, maka periode getarnya semakin kecil.

Tabel 4.13. Periode getar struktur eksisting akibat beban lateral

StepType	StepNum	Period
Text	Unitless	Sec
Mode	1	0,79566
Mode	2	0,295228
Mode	3	0,061899

- Reaksi Perletakan

Tabel 4.14. Reaksi perletakan struktur eksisting akibat beban lateral

Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	-34,791	0	-48,809	0	-75,7315	0
2	-41,008	0	0,148	0	-83,88	0
3	-34,662	0	48,661	0	-75,4471	0

Reaksi perletakan pada tabel di atas terlihat bahwa untuk reaksi arah F2, M1 dan M3 tidak memiliki nilai, hal ini karena adanya pembatasan DOF seperti yang telah dijelaskan pada awal bab 4 bagian pemodelan struktur eksisting.

- Simpangan

Tabel 4.15. Simpangan yang terjadi pada struktur eksisting akibat beban lateral

Joint	U1
Text	m
4	0,016451
7	0,029033

- Gaya Geser Dasar

Seperti yang telah ditunjukkan pada Tabel 4.4 bahwa gaya geser dasar struktur eksisting adalah 110,461 KN.

- Gaya Dalam

- Momen, Lintang dan Normal Pada Kolom

Tabel 4.16. Gaya dalam pada struktur eksisting akibat beban lateral

Frame	Station	P	V2	M3
Text	m	KN	KN	KN-m
Frame1	0	48,809	34,791	75,7315
Frame1	2	48,809	34,791	6,1488
Frame1	4	48,809	34,791	-63,4338
Frame6	0	14,825	20,386	37,3927
Frame6	2	14,825	20,386	-3,3801
Frame6	4	14,825	20,386	-44,153

4.3.2 Hasil Pemodelan Struktur Variasi

4.3.2.1 Hasil Pemodelan Struktur Variasi Akibat Beban Gravitasi

1. Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*
 - Reaksi perletakan

Tabel 4.17. Reaksi perletakan pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Joint	F1	F3	M2
	Text	KN	KN	KN-m
K250	1	10,597	435,355	13,964
	2	1,95E-15	800,745	-1,4E-14
	3	-10,597	435,355	-13,964
K350	1	10,597	435,355	13,964
	2	5,91E-15	800,745	-2,7E-14
	3	-10,597	435,355	-13,964
K450	1	10,597	435,355	13,964
	2	2,67E-15	800,745	-6,4E-14
	3	-10,597	435,355	-13,964

Tabel 4.18. Reaksi perletakan pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Joint	F1	F3	M2
	Text	KN	KN	KN-m
K250	1	10,781	590,542	14,21915
	2	2,37E-15	1062,39	-1,3E-14
	3	-10,781	590,542	-14,2192
K350	1	10,781	590,542	14,21915
	2	3,42E-15	1062,39	-3,1E-14
	3	-10,781	590,542	-14,2192
K450	1	10,781	590,542	14,21915
	2	2,74E-15	1062,39	-6,3E-14
	3	-10,781	590,542	-14,2192

Reaksi perletakan pada struktur tidak dipengaruhi oleh besarnya mutu beton. Karena reaksi perletakan yang terjadi diakibatkan oleh gaya luar yang

bekerja. Selama gaya yang bekerja sama, maka struktur dengan mutu beton yang berbeda akan memiliki reaksi perletakan yang sama.

- Simpangan

Tabel 4.19. Simpangan pada struktur variasi mutu beton tiga lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Joint	U3 (mm)		
Text	K250	K350	K450
5	-0,58944	-0,49818	-0,43935
8	-0,95894	-0,81047	-0,71476
11	-1,20044	-1,01459	-0,89478

Berdasarkan tabel di atas, untuk variasi mutu beton pada bangunan tiga lantai maka simpangan yang terjadi semakin kecil seiring dengan meningkatnya mutu beton. Dari portal dengan mutu beton K250 mengalami penurunan sekitar 15% apabila dibandingkan mutu beton K350. Jika dibandingkan mutu beton K350 dengan K450, simpangan yang terjadi pada portal dengan mutu beton K350 mengalami penurunan sekitar 11%. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya mutu beton yang digunakan, maka kekakuan struktur juga bertambah, dengan demikian simpangan yang terjadi akan semakin kecil.

Tabel 4.20. Simpangan pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Joint	U3 (mm)		
Text	K250	K350	K450
5	-0,784972	-0,663439	-0,585094
8	-1,351473	-1,142233	-1,007347
11	-1,903648	-1,608918	-1,418922
14	-2,139573	-1,808316	-1,594773

Sama seperti variasi mutu beton pada tiga lantai, maka pada bangunan empat lantai simpangannya juga mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya mutu beton yang digunakan. Penurunan simpangan untuk mutu beton K250 jika dibandingkan dengan mutu beton K350 yaitu sebesar 15%. Dan untuk perbandingan simpangan dengan mutu beton K350 dengan K450 adalah sebesar 11%.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.21. Gaya dalam momen pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K250	4	54,24314	-71,17132	-97,83115
	9	55,3611	-73,03687	-93,72969
	14	42,17295	-37,57848	-74,64366
K350	4	54,24314	-71,17132	-97,83115
	9	55,3611	-73,03687	-93,72969
	14	42,17295	-37,57848	-74,64366
K450	4	54,24314	-71,17132	-97,83115
	9	55,3611	-73,03687	-93,72969
	14	42,17295	-37,57848	-74,64366

Tabel 4.22. Gaya dalam momen pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K250	4	54,36845	-73,51122	-95,24065
	9	56,29245	-75,15356	-89,7503
	14	51,46596	-26,38182	-88,81419
	19	42,30859	-43,41942	-68,53143
K350	4	54,36845	-73,51122	-95,24065
	9	56,29245	-75,15356	-89,7503
	14	51,46596	-26,38182	-88,81419
	19	42,30859	-43,41942	-68,53143
K450	4	54,36845	-73,51122	-95,24065
	9	56,29245	-75,15356	-89,7503
	14	51,46596	-26,38182	-88,81419
	19	42,30859	-43,41942	-68,53143

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.23. Gaya dalam lintang pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm
K250	4	-105,664	116,327
	9	-106,857	115,134
	14	-71,214	86,04
K350	4	-105,664	116,327
	9	-106,857	115,134
	14	-71,214	86,04
K450	4	-105,664	116,327
	9	-106,857	115,134
	14	-71,214	86,04

Tabel 4.24. Gaya dalam lintang pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
K250	4	-106,65	115,341
	9	-108,076	113,915
	14	-102,281	108,91
	19	-73,605	83,65
K350	4	-106,65	115,341
	9	-108,076	113,915
	14	-102,281	108,91
	19	-73,605	83,65
K450	4	-106,65	115,341
	9	-108,076	113,915
	14	-102,281	108,91
	19	-73,605	83,65

- Normal

Tabel 4.25. Gaya dalam normal pada struktur variasi mutu beton 3 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Frame	Station	P (KN)		
Text	m	K250	K350	K450
Frame 1	0	-435,355	-435,355	-435,355
	2	-423,355	-423,355	-423,355
	4	-411,355	-411,355	-411,355
Frame 2	0	-800,745	-800,745	-800,745
	2	-788,745	-788,745	-788,745
	4	-776,745	-776,745	-776,745
Frame 6	0	-272,741	-272,741	-272,741
	2	-260,741	-260,741	-260,741
	4	-248,741	-248,741	-248,741
Frame 7	0	-506,433	-506,433	-506,433
	2	-494,433	-494,433	-494,433
	4	-482,433	-482,433	-482,433
Frame 11	0	-108,933	-108,933	-108,933
	2	-101,253	-101,253	-101,253
	4	-93,573	-93,573	-93,573
Frame 12	0	-214,507	-214,507	-214,507
	2	-206,827	-206,827	-206,827
	4	-199,147	-199,147	-199,147

Tabel 4.26. Gaya dalam normal pada struktur variasi mutu beton 4 lantai tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Frame	Station	P (KN)		
Text	m	K250	K350	K450
Frame 1	0	-590,542	-590,542	-590,542
	2	-578,542	-578,542	-578,542
	4	-566,542	-566,542	-566,542
Frame 2	0	-1062,39	-1062,39	-1062,39
	2	-1050,39	-1050,39	-1050,39
	4	-1038,39	-1038,39	-1038,39
Frame 6	0	-426,942	-426,942	-426,942
	2	-414,942	-414,942	-414,942
	4	-402,942	-402,942	-402,942
Frame 7	0	-770,05	-770,05	-770,05
	2	-758,05	-758,05	-758,05
	4	-746,05	-746,05	-746,05
Frame 11	0	-261,916	-261,916	-261,916
	2	-254,236	-254,236	-254,236
	4	-246,556	-246,556	-246,556
Frame 12	0	-480,563	-480,563	-480,563
	2	-472,883	-472,883	-472,883
	4	-465,203	-465,203	-465,203

Untuk semua gaya dalam, baik momen, lintang maupun normal memiliki nilai yang sama antar setiap variasi mutu beton. Karena gaya dalam tidak dipengaruhi oleh mutu beton yang digunakan.

2. Variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

- Reaksi perletakan

Tabel 4.27. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
2 Shear Connector	1	3,297	0	148,23	0	4,39262	0
	2	5,96E-15	0	279,073	0	1,05E-14	0
	3	-3,297	0	148,23	0	-4,39262	0
	4	5,373	7,48E-13	284,671	1,32E-15	7,04069	-1E-14
	5	-8,1E-15	1,38E-12	526,581	2,44E-15	7,88E-15	0
	6	-5,373	7,48E-13	284,671	1,32E-15	-7,04069	1,04E-14
3 Shear Connector	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,81E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	11,53504	-1,7E-14
	5	1,63E-14	1,42E-12	541,226	2,5E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	-11,535	1,7E-14
5 Shear Connector	1	0,143	0	142,639	0	0,86141	0
	2	-8,3E-16	0	264,172	0	-1,5E-15	0
	3	-0,143	0	142,639	0	-0,86141	0
	4	9,481	7,67E-13	291,781	1,35E-15	11,75355	-1,7E-14
	5	-5,1E-15	1,42E-12	538,445	2,49E-15	-1E-14	0
	6	-9,481	7,67E-13	291,781	1,35E-15	-11,7536	1,73E-14
9 Shear Connector	1	1,826	0	140,575	0	1,84564	0
	2	1,36E-14	0	258,327	0	1,88E-14	0
	3	-1,826	0	140,575	0	-1,84564	0
	4	8,475	7,75E-13	294,976	1,36E-15	11,64904	-1,7E-14
	5	6,32E-14	1,42E-12	542,037	2,51E-15	1,27E-13	0
	6	-8,475	7,75E-13	294,976	1,36E-15	-11,649	1,71E-14

Joint 1, 2, dan 3 merupakan *joint* pada bangunan eksisting, sedangkan *joint* 4,5,6 adalah *joint* pada *concrete jacketing*. Pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan, reaksi perletakannya sama saja nilainya. Hanya saja memiliki distribusi besar reaksi perletakan yang berbeda pada masing-masing *joint* bangunan eksisting dengan *joint* pada *concrete jacketing*. Hal ini dapat dilihat pada setiap penjumlahan *joint* 1 dengan 4, *joint* 2 dengan 5 dan *joint* 3 dengan 6 pada semua variasi jumlah *shear connector*.

- Simpangan

Tabel 4.28. Simpangan pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

2 SC		3 SC		5 SC		9 SC	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
14	-0,57072	21	-0,54959	35	-0,54113	63	-0,536626
17	-0,51193	26	-0,51897	44	-0,52133	80	-0,522913
20	-0,95754	37	-0,93791	71	-0,92035	139	-0,903447
23	-0,81458	42	-0,8209	80	-0,82758	156	-0,835118
24	-0,43291	44	-0,438	84	-0,44207	164	-0,445748
26	-1,16069	46	-1,14123	86	-1,12386	166	-1,107072

Berdasarkan hasil pemodelan yang ditampilkan pada tabel di atas, maka semakin banyak *shear connector* yang digunakan semakin kecil simpangan yang terjadi pada bangunan. Hal ini karena semakin banyak *shear connector* maka kekakuan struktur bangunan semakin tinggi.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.29. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Frame Text	Lapangan KNm	Tumpuan Kiri KNm	Tumpuan Kanan KNm
2 Shear Connector	10	33,20896	-19,71597	-59,2969
	23	27,84957	-39,22989	-48,31535
	33	42,20612	-38,7753	-73,38051
	15	24,3719	-41,31189	-44,18869
	28	26,62339	-35,22926	-45,76834
3 Shear Connector	13	22,8106	-20,08623	-2,69081
	31	23,38001	-35,21896	-43,91388
	43	42,20946	-38,54339	-73,60574
	20	32,39584	-46,04694	-52,73633
	38	30,94913	-39,63712	-50,06192
5 Shear Connector	19	25,59314	-21,77547	23,01594
	47	25,74946	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
9 Shear Connector	31	25,74946	-23,13942	-49,09936
	79	25,87165	-35,38613	-40,06813
	103	42,21286	-38,16075	-73,98157
	50	28,35827	-46,92964	-50,10642
	98	28,3018	-39,93734	-53,75205

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.30. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
2 Shear Connector	10	-49,382	65,214
	23	-55,481	59,115
	33	-71,706	85,548
	15	-53,122	54,273
	28	-51,59	55,806
3 Shear Connector	13	-45,787	57,077
	31	-52,088	55,566
	43	-71,615	85,64
	20	-58,226	60,9
	38	-55,083	59,253
5 Shear Connector	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
9 Shear Connector	31	-38,056	58,862
	79	-48,652	44,259
	103	-71,463	85,791
	50	-67,113	57,961
	98	-58,644	70,437

- Normal

Tabel 4.31. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Frame Text	P (KN)		Jumlah Shear Connector	Frame Text	P (KN)	
		Maksimum	Minimum			Maksimum	Minimum
2 Shear Connector	4	-139,669	-148,287	5 Shear Connector	7	-136,328	-140,945
	5	-270,608	-279,227		8	-256,77	-267,821
	17	-95,376	-104,016		35	-84,646	-120,729
	18	-182,025	-190,665		36	-151,74	-228,434
	30	-94,065	-109,425		60	-93,88	-109,24
	31	-198,163	-213,523		61	-198,534	-213,894
	7	-269,232	-284,671		13	-273,975	-294,322
	8	-511,045	-526,581		14	-511,265	-541,226
	20	-154,07	-169,43		41	-130,889	-186,652
	21	-298,996	-314,356		42	-254,726	-351,1
3 Shear Connector	4	-138,459	-142,639	9 Shear Connector	13	-135,418	-140,575
	5	-259,902	-269,604		14	-255,228	-268,369
	22	-87,937	-111,068		61	-84,145	-129,902
	23	-164,084	-210,036		62	-145,824	-241,873
	40	-93,974	-109,334		100	-93,822	-109,182
	41	-198,346	-213,706		101	-198,649	-214,009
	10	-271,961	-291,781		19	-275,33	-294,976
	11	-513,332	-538,445		20	-509,074	-542,037
	28	-142,708	-181,199		67	-120,608	-188,205
	29	-275,286	-336,598		68	-240,264	-358,154

Gaya dalam momen, lintang dan normal berdasarkan tabel di atas mengalami penurunan apabila jumlah *shear connector* yang digunakan semakin banyak, karena kekakuan struktur bangunan bertambah. Baris yang berwarna abu pada tabel di atas merupakan gaya dalam yang terjadi pada *concrete jacketing* sedangkan yang berwarna putih adalah gaya dalam yang terjadi pada bangunan eksisting. Penurunan gaya dalam ini terjadi karena gaya dalam juga ditanggung oleh *shear connector*.

3. Variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

- Reaksi perletakan

Tabel 4.32. Reaksi perletakan pada struktur variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Diameter 13 mm	1	1,463	0	141,751	0	1,72009	0
	2	-1,5E-15	0	261,656	0	-1E-15	0
	3	-1,463	0	141,751	0	-1,72009	0
	4	8,644	7,71E-13	293,553	1,36E-15	11,53179	-1,7E-14
	5	-9E-15	1,42E-12	539,194	2,49E-15	-5,9E-15	0
	6	-8,644	7,71E-13	293,553	1,36E-15	-11,5318	1,7E-14
Diameter 16 mm	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,81E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	11,53504	-1,7E-14
	5	1,63E-14	1,42E-12	541,226	2,5E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	-11,535	1,7E-14
Diameter 19 mm	1	1,523	0	140,654	0	1,735	0
	2	1,73E-16	0	258,943	0	2,33E-15	0
	3	-1,523	0	140,654	0	-1,735	0
	4	8,613	7,74E-13	294,588	1,36E-15	11,54133	-1,7E-14
	5	9,79E-16	1,42E-12	542,035	2,51E-15	1,83E-14	0
	6	-8,613	7,74E-13	294,588	1,36E-15	-11,5413	1,7E-14
Diameter 22 mm	1	1,553	0	140,526	0	1,7358	0
	2	7,77E-16	0	258,612	0	9,98E-16	0
	3	-1,553	0	140,526	0	-1,7358	0
	4	8,59	7,74E-13	294,699	1,36E-15	11,54705	-1,7E-14
	5	4,27E-15	1,43E-12	542,404	2,51E-15	6,8E-15	0
	6	-8,59	7,74E-13	294,699	1,36E-15	-11,5471	1,7E-14

Reaksi perletakan memiliki nilai yang sama, tetapi distribusi reaksi perletakannya berbeda untuk setiap *joint*.

- Simpangan

Tabel 4.33. Simpangan pada struktur variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

D 13 mm		D 16 mm		D 19 mm		D 22 mm	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
35	-0,54759	35	-0,54113	35	-0,53782	35	-0,535789
44	-0,51818	44	-0,52133	44	-0,52295	44	-0,523955
71	-0,94438	71	-0,92035	71	-0,90545	71	-0,895416
80	-0,81598	80	-0,82758	80	-0,83478	80	-0,839634
86	-1,14784	86	-1,12386	86	-1,10899	86	-1,098972

Berdasarkan hasil pemodelan yang ditampilkan oleh tabel di atas, dapat dilihat bahwa simpangan yang terjadi semakin kecil sebesar 0,01 milimeter untuk setiap perbedaan diameter. Perbedaan *shear connector* ini tidak terlalu berpengaruh banyak mengingat kecilnya perbedaan simpangan yang terjadi.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.34. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Diameter Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Diameter 13 mm	19	25,47722	-21,62075	-48,29495
	47	25,53294	-35,09572	-39,66611
	63	42,27108	-38,30024	-73,72565
	30	28,93221	-47,33717	-51,41789
	58	28,69175	-40,17684	-54,1013
Diameter 16 mm	19	25,59343	-21,77547	-48,84602
	47	25,74961	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
Diameter 19 mm	19	25,64888	-21,85758	-49,1533
	47	25,79257	-35,72136	-42,8136
	63	42,19393	-38,28953	-73,89065
	30	28,72703	-47,18485	-50,5431
	58	28,42238	-39,44	-51,08563
Diameter 22 mm	19	25,67896	-21,91102	-49,3507
	47	25,77844	-35,89434	-43,73158
	63	42,17342	-38,28679	-73,9344
	30	28,68955	-47,15025	-50,3423
	58	28,43455	-39,23486	-50,2046

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.35. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Diameter Shear Connector	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Diameter 13 mm	19	-41,587	57,467
	47	-50,55	49,371
	63	-71,542	85,712
	30	-63,258	59,68
	58	-56,747	65,323
Diameter 16 mm	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
Diameter 19 mm	19	-41,511	58,524
	47	-51,618	52,96
	63	-71,507	85,747
	30	-63,354	58,602
	58	-55,63	61,783
Diameter 22 mm	19	-41,494	58,773
	47	-51,936	54,056
	63	-71,498	85,757
	30	-63,376	58,35
	58	-55,299	60,702

- Normal

Tabel 4.36. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Diameter Shear Connector	Frame Text	P (KN)		Diameter Shear Connector	Frame Text	P (KN)	
		Maksimum	Minimum			Maksimum	Minimum
Diameter 13 mm	7	-137,864	-141,738	Diameter 19 mm	7	-135,615	-140,654
	8	-259,295	-272,211		8	-255,631	-265,243
	35	-86,903	-128,347		35	-83,862	-114,597
	36	-155,346	-240,934		36	-150,903	-217,866
	60	-93,901	-109,261		60	-93,866	-109,226
	61	-198,491	-213,851		61	-198,561	-213,921
	13	-271,837	-293,553		13	-275,042	-294,588
	14	-506,798	-539,194		14	-513,894	-542,035
	41	-123,322	-184,446		41	-136,988	-187,404
	42	-242,124	-347,392		42	-265,359	-352,003
Diameter 16 mm	7	-136,328	-140,945	Diameter 22 mm	7	-135,218	-140,526
	8	-256,77	-267,821		8	-255,041	-263,446
	35	-84,646	-120,729		35	-83,682	-109,653
	36	-151,74	-228,434		36	-151,175	-209,056
	60	-93,88	-109,24		60	-93,857	-109,217
	61	-198,534	-213,894		61	-198,58	-213,94
	13	-273,975	-294,322		13	-275,683	-294,699
	14	-511,265	-541,226		14	-515,73	-542,404
	41	-130,889	-186,652		41	-141,909	-187,561
	42	-254,726	-351,1		42	-274,217	-351,778

Berdasarkan tabel hasil penelitian mengenai gaya dalam yang terjadi pada variasi diameter *shear connector* yang digunakan memperlihatkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap gaya dalam yang terjadi. Semua gaya dalam antar model variasi cenderung memiliki nilai yang sama besar.

4. Variasi jumlah lantai yang ditambahkan

- Reaksi perletakan

Tabel 4.37. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
3 Lantai	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,805E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,733E-13	294,322	1,361E-15	11,53504	-1,696E-14
	5	1,632E-14	1,422E-12	541,226	2,504E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,733E-13	294,322	1,361E-15	-11,53504	1,696E-14
4 Lantai	1	1,512	0	191,129	0	1,75171	0
	2	9,207E-15	0	343,957	0	1,512E-14	0
	3	-1,512	0	191,129	0	-1,75171	0
	4	8,717	1,05E-12	399,614	1,848E-15	11,67074	-1,716E-14
	5	5,349E-14	1,887E-12	718,037	3,321E-15	1,065E-13	0
	6	-8,717	1,05E-12	399,614	1,848E-15	-11,67074	1,716E-14

Karena perbedaan penambahan lantai, maka beban yang terjadi pada bangunan juga berbeda. Bangunan empat lantai memiliki beban struktur yang lebih berat dibandingkan bangunan tiga lantai. Oleh karena itu reaksi perletakan pada variasi penambahan lantai menjadi bangunan empat lantai memiliki nilai reaksi perletakan yang lebih besar seperti yang terlihat pada tabel hasil penelitian di atas.

- Simpangan

Tabel 4.38. Simpangan pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan

3 Lantai		4 Lantai	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
35	-0,54113	35	-0,71708
44	-0,52133	44	-0,69533
71	-0,92035	71	-1,32819
80	-0,82758	80	-1,15062
86	-1,12386	86	-1,79321
87	-0,59177	87	-0,98561
		89	-1,99191

Semakin banyak jumlah lantai yang ditambahkan berarti beban yang diterima struktur juga semakin besar. Oleh karena itu simpangan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada tabel simpangan struktur di atas, pada titik yang sama memiliki nilai yang berbeda antara penambahan bangunan menjadi empat lantai dengan penambahan bangunan menjadi tiga lantai.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.39. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
3 Lantai	19	25,59343	-21,77547	-48,84602
	47	25,74961	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
4 Lantai	19	25,63298	-22,34034	-47,69131
	47	26,16485	-34,06299	-18,01596
	63	51,53416	-73,39919	-87,52126
	68	42,48741	-44,12347	-67,46976
	30	28,84662	-48,65867	-27,23952
	58	28,79776	-43,2127	-28,79433

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.40. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
3 Lantai	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
4 Lantai	19	-41,595	57,585
	47	-48,584	44,556
	63	-102,771	108,42
	68	-73,958	83,296
	30	-64,094	58,717
	58	-59,809	69,042

- Normal

Tabel 4.41. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
3 Lantai	7	-136,328	-140,945
	8	-256,77	-267,821
	35	-84,646	-120,729
	36	-151,74	-228,434
	60	-93,88	-109,24
	61	-198,534	-213,894
	13	-273,975	-294,322
	14	-511,265	-541,226
	41	-130,889	-186,652
	42	-254,726	-351,1
4 Lantai	7	-186,816	-191,129
	8	-341,152	-353,475
	35	-137,113	-210,946
	36	-240,804	-379,617
	60	-247,399	-262,759
	61	-463,517	-478,877
	65	-96,317	-111,677
	66	-193,659	-209,019
	13	-378,385	-399,614
	14	-686,679	-718,037
41	-195,316	-288,83	
42	-366,274	-524,768	

Pengaruh adanya penambahan lantai juga tampak pada gaya-gaya dalam yang terjadi. Semakin banyak jumlah lantai yang ditambahkan, maka semakin besar gaya dalam yang terjadi pada struktur karena beban yang diterima struktur juga semakin besar.

5. Variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

- Reaksi perletakan

Sama seperti variasi pada model yang pertama, perbedaan mutu beton pada *concrete jacketing* untuk keseluruhan reaksi perletakan pada struktur tidak berpengaruh. Secara keseluruhan struktur memiliki reaksi perletakan yang sama jika dijumlahkan setiap *joint* yang sama antara bangunan eksisting dengan *concrete jacketing*.

Tabel 4.42. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	1,692	0	156,733	0	1,96368	0
	2	-4,173E-15	0	290,07	0	-7,44E-15	0
	3	-1,692	0	156,733	0	-1,96368	0
	4	8,247	7,297E-13	277,722	1,285E-15	11,05998	-1,627E-14
	5	-2,048E-14	1,347E-12	512,48	2,371E-15	-4,473E-14	0
	6	-8,247	7,297E-13	277,722	1,285E-15	-11,05998	1,627E-14
K350	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,805E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,733E-13	294,322	1,361E-15	11,53504	-1,696E-14
	5	1,632E-14	1,422E-12	541,226	2,504E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,733E-13	294,322	1,361E-15	-11,53504	1,696E-14
K450	1	1,36	0	129,713	0	1,57169	0
	2	-3,124E-16	0	238,247	0	-2,166E-16	0
	3	-1,36	0	129,713	0	-1,57169	0
	4	8,894	8,043E-13	306,107	1,416E-15	11,8675	-1,745E-14
	5	-2,125E-15	1,476E-12	561,573	2,598E-15	-1,429E-15	0
	6	-8,894	8,043E-13	306,107	1,416E-15	-11,8675	1,745E-14

Tabel 4.43. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	1,712	0	212,678	0	1,98831	0
	2	3,622E-15	0	384,34	0	4,968E-15	0
	3	-1,712	0	212,678	0	-1,98831	0
	4	8,341	9,906E-13	377,001	1,744E-15	11,20083	-1,647E-14
	5	1,777E-14	1,786E-12	679,782	3,144E-15	2,882E-14	0
	6	-8,341	9,906E-13	377,001	1,744E-15	-11,20083	1,647E-14
K350	1	1,512	0	191,129	0	1,75171	0
	2	9,207E-15	0	343,957	0	1,512E-14	0
	3	-1,512	0	191,129	0	-1,75171	0
	4	8,717	1,05E-12	399,614	1,848E-15	11,67074	-1,716E-14
	5	5,349E-14	1,887E-12	718,037	3,321E-15	1,065E-13	0
	6	-8,717	1,05E-12	399,614	1,848E-15	-11,67074	1,716E-14
K450	1	1,373	0	175,801	0	1,58869	0
	2	-5,07E-15	0	315,418	0	-6,179E-15	0
	3	-1,373	0	175,801	0	-1,58869	0
	4	8,978	1,092E-12	415,686	1,923E-15	11,99857	-1,765E-14
	5	-3,332E-14	1,958E-12	745,087	3,446E-15	-4,714E-14	0
	6	-8,978	1,092E-12	415,686	1,923E-15	-11,99857	1,765E-14

- Simpangan

Jika dilihat pada tabel simpangan variasi mutu beton *concrete jacketing* pada penambahan lantai yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa semakin besar mutu beton yang digunakan untuk *concrete jacketing*, maka semakin kecil simpangan yang terjadi. Karena penambahan mutu beton yang digunakan akan

menambah kekakuan struktur. Perbedaan simpangan yang terjadi untuk bangunan dengan mutu beton dari *concrete jacketing* K250 dengan K350 yaitu sebesar 10,25% sedangkan perbandingan selisih simpangan untuk mutu beton K350 dengan K450 adalah sebesar 8,05%.

Tabel 4.44. Simpangan pada struktur 3 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

K250		K350		K450	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
35	-0,60281	35	-0,54113	35	-0,49752
44	-0,58403	44	-0,52133	44	-0,47709
71	-1,017	71	-0,92035	71	-0,85209
80	-0,92776	80	-0,82758	80	-0,75701
86	-1,25805	86	-1,12386	86	-1,03144

Tabel 4.45. Simpangan pada struktur struktur 4 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

K250		K350		K450	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
35	-0,79937	35	-0,71708	35	-0,65889
44	-0,7789	44	-0,69533	44	-0,63632
71	-1,46162	71	-1,32819	71	-1,23396
80	-1,29049	80	-1,15062	80	-1,05211
86	-2,01272	86	-1,79321	86	-1,64358
89	-2,24823	89	-1,99191	89	-1,81859

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.46. Gaya dalam momen pada struktur 3 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame Text	Lapangan KNm	Tumpuan Kiri KNm	Tumpuan Kanan KNm
K250	19	28,33687	-23,72261	-53,10551
	47	28,47201	-36,75107	-45,99546
	63	42,15698	-38,07962	-74,17447
	30	26,44793	-43,97926	-47,11315
	58	26,16109	-37,20454	-48,27263
K350	19	25,59343	-21,77547	-48,84602
	47	25,74961	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
K450	19	23,58272	-20,34416	-45,70887
	47	23,76398	-34,44898	-38,24991
	63	42,28424	-38,41325	-73,58631
	30	30,52097	-49,61103	-53,61865
	58	30,17972	-41,57521	-55,32829

Tabel 4.47. Gaya dalam momen pada struktur 4 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tulangan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K250	19	28,3893	-24,37017	-51,86125
	47	28,95252	-35,572	-39,45803
	63	51,47788	-72,93729	-88,09571
	68	42,40634	-43,76819	-67,98718
	30	26,50413	-45,32912	-46,14267
	58	26,46574	-40,42924	-51,19411
K350	19	25,63298	-22,34034	-47,69131
	47	26,16485	-34,06299	-34,59166
	63	51,53416	-73,39919	-87,52126
	68	42,48741	-44,12347	-67,46976
	30	28,84662	-48,65867	-49,84054
	58	28,79776	-43,2127	-55,69728
K450	19	23,61379	-20,85049	-44,61611
	47	24,13218	-32,85136	-31,00492
	63	51,58504	-73,71592	-87,10276
	68	42,54707	-44,39849	-67,07541
	30	30,56934	-51,08502	-52,57218
	58	30,53051	-45,24369	-59,06446

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.48. Gaya dalam lintang pada struktur 3 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
K250	19	-44,541	62,141
	47	-53,569	55,944
	63	-71,408	85,846
	30	-59,952	55,358
	58	-53,365	59,114
K350	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
K450	19	-39,378	55,189
	47	-49,407	48,161
	63	-71,593	85,662
	30	-65,743	61,681
	58	-58,078	66,346

Tabel 4.49. Gaya dalam lintang pada struktur 4 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
K250	19	-44,633	61,573
	47	-51,275	49,678
	63	-102,564	108,627
	68	-73,783	83,471
	30	-60,702	55,084
	58	-56,79	64,248
K350	19	-41,595	57,585
	47	-48,584	44,556
	63	-102,771	108,42
	68	-73,958	83,296
	30	-64,094	58,717
	58	-59,809	69,042
K450	19	-39,402	54,638
	47	-46,577	40,774
	63	-102,918	108,273
	68	-74,092	83,163
	30	-66,543	61,408
	58	-62,024	72,617

- Normal

Tabel 4.50. Gaya dalam normal pada struktur 3 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame Text	P (KN)	
		Maksimum	Minimum
K250	7	-151,512	-156,733
	8	-286,873	-296,604
	35	-94,957	-126,526
	36	-173,481	-239,617
	60	-93,767	-109,127
	61	-198,759	-214,119
	13	-258,646	-277,722
	14	-484,105	-512,48
	41	-124,645	-175,895
	42	-242,276	-332,413
K350	7	-136,328	-140,945
	8	-256,77	-267,821
	35	-84,646	-120,729
	36	-151,74	-228,434
	60	-93,88	-109,24
	61	-198,534	-213,894
	13	-273,975	-294,322
	14	-511,265	-541,226
	41	-130,889	-186,652
	42	-254,726	-351,1
K450	7	-125,526	-129,713
	8	-235,502	-247,43
	35	-77,319	-116,61
	36	-137,996	-218,955
	60	-93,952	-109,312
	61	-198,39	-213,75
	13	-284,858	-306,107
	14	-530,549	-561,573
	41	-135,297	-194,268
	42	-263,626	-364,266

Tabel 4.51. Gaya dalam normal pada struktur 4 lantai variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	P (KN)		
		Maksimum	Minimum	
K250	7	-207,706	-212,678	
	8	-381,243	-392,044	
	35	-152,793	-219,27	
	36	-269,889	-398,206	
	60	-247,017	-262,377	
	61	-464,28	-479,64	
	65	-96,143	-111,503	
	66	-194,008	-209,368	
	13	-357,191	-377,001	
	14	-650,237	-679,782	
	41	-186,282	-272,441	
	42	-349,104	-497,101	
	K250	7	-186,816	-191,129
		8	-341,152	-353,475
35		-137,113	-210,946	
36		-240,804	-379,617	
60		-247,399	-262,759	
61		-463,517	-478,877	
65		-96,317	-111,677	
66		-193,659	-209,019	
13		-378,385	-399,614	
14		-686,679	-718,037	
41		-195,316	-288,83	
42		-366,274	-524,768	
K250		7	-171,963	-176,208
		8	-312,815	-326,169
	35	-125,987	-205,063	
	36	-378,48	-544,237	
	60	-247,679	-263,039	
	61	-462,955	-478,315	
	65	-96,451	-111,811	
	66	-193,392	-208,752	
	13	-393,439	-415,686	
	14	-712,496	-745,087	
	41	-220,358	-366,434	
	42	-201,688	-300,445	

Untuk Gaya-Gaya Dalam yang terjadi tidak ada pengaruh yang signifikan akibat adanya perbedaan mutu beton dari *concrete jacketing* yang digunakan. Secara keseluruhan struktur memiliki nilai Gaya-Gaya Dalam yang sama besar.

6. Variasi jumlah *shear connector* pada balok

- Reaksi perletakan

Tabel 4.52. Reaksi perletakan pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada balok

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Kolom 5 - Balok 2	1	1,454	0	140,975	0	1,68064	0
	2	1,85E-15	0	260,413	0	5,76E-15	0
	3	-1,454	0	140,975	0	-1,68064	0
	4	8,333	7,71E-13	293,55	1,36E-15	11,18463	-1,6E-14
	5	1,02E-14	1,42E-12	541,994	2,51E-15	4,3E-14	0
	6	-8,333	7,71E-13	293,55	1,36E-15	-11,1846	1,65E-14
Kolom 5 - Balok 3	1	1,477	0	141,015	0	1,7092	0
	2	-4,5E-16	0	259,849	0	-2,7E-16	0
	3	-1,477	0	141,015	0	-1,7092	0
	4	8,497	7,72E-13	293,969	1,36E-15	11,38159	-1,7E-14
	5	-2,7E-15	1,42E-12	541,643	2,51E-15	-1,5E-15	0
	6	-8,497	7,72E-13	293,969	1,36E-15	-11,3816	1,67E-14
Kolom 5 - Balok 5	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,81E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	11,53504	-1,7E-14
	5	1,63E-14	1,42E-12	541,226	2,5E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,73E-13	294,322	1,36E-15	-11,535	1,7E-14
kolom 5 - balok 9	1	1,502	0	140,812	0	1,73885	0
	2	6,32E-15	0	259,585	0	1,09E-14	0
	3	-1,502	0	140,812	0	-1,73885	0
	4	8,671	7,74E-13	294,566	1,36E-15	11,58399	-1,7E-14
	5	3,66E-14	1,42E-12	541,121	2,5E-15	7,7E-14	0
	6	-8,671	7,74E-13	294,566	1,36E-15	-11,584	1,7E-14

Reaksi perletakan yang terjadi pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok ini tidak berbeda antara satu model dengan model lainnya. Karena gaya-gaya luar yang terjadi sama besar. *Shear connector* juga dianggap memiliki massa yang sangat kecil, sehingga variasi penambahan jumlahnya tidak berpengaruh terhadap berat strukturnya.

- Simpangan

Tabel 4.53. Simpangan pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada balok

K 5 - B 2		K 5 - B 3		K 5 - B 5		K 5 - B 9	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
32	-0,544428	33	-0,541186	35	-0,541131	39	-0,540556
35	-0,521221	38	-0,521858	44	-0,521326	56	-0,521382
56	-0,926755	61	-0,923797	71	-0,920348	91	-0,912944
59	-0,825982	66	-0,82651	80	-0,827581	108	-0,830928
62	-1,129981	70	-1,127241	86	-1,12386	118	-1,116554

Simpangan yang terjadi pada variasi penggunaan *shear connector* pada balok memang semakin kecil seiring dengan semakin banyaknya jumlah *shear connector* yang dipasang pada elemen balok struktur. Namun, jika dilihat pada tabel di atas, penurunan simpangan yang terjadi sangatlah kecil dengan rata-rata penurunan sebesar 0,001 milimeter.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.54. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada balok

Jumlah Shear Connector	Frame Text	Lapangan KNm	Tumpuan Kiri KNm	Tumpuan Kanan KNm
Kolom 5-Balok 2	19	29,94035	-27,97003	-55,39365
	41	27,95962	-38,52544	-48,7997
	51	42,13125	-38,74715	-73,55838
	24	25,12583	-38,49167	-45,50105
	46	26,38096	-36,21539	-45,26707
Kolom 5-Balok 3	19	23,4777	-24,31143	-48,43909
	43	23,8534	-36,05236	-44,41768
	55	42,21319	-38,39033	-73,75134
	26	31,17829	-43,74134	-51,69027
	50	30,39988	-39,01801	-49,49545
Kolom 5-Balok 5	19	25,59343	-21,77547	-48,84602
	47	25,74961	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
Kolom 5-Balok 9	19	25,81479	-20,6926	-48,59576
	55	25,88994	-34,77346	-38,44639
	79	42,22972	-38,16306	-73,94554
	38	28,44987	-48,77619	-50,89644
	74	28,30296	-40,5266	-55,35828

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.55. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada balok

Jumlah Shear Connector	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Kolom 5-Balok 2	19	-51,813	62,782
	41	-55,243	59,353
	51	-71,665	85,589
	24	-52,296	55,1
	46	-51,887	55,508
Kolom 5-Balok 3	19	-47,764	57,416
	43	-52,611	55,957
	55	-71,555	85,699
	26	-56,817	59,995
	50	-54,616	58,807
Kolom 5-Balok 5	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
Kolom 5-Balok 9	19	-35,038	57,607
	55	-47,062	40,88
	79	-71,471	85,784
	38	-69,953	59,394
	74	-60,233	73,817

- Normal

Tabel 4.56. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada balok

Jumlah Shear Connector	Frame Text	P (KN)	
		Maksimum	Minimum
Kolom 5-Balok 2	7	-137,317	-142,261
	8	-257,701	-270,972
	13	-270,424	-293,55
	14	-509,594	-541,994
	29	-81,759	-122,251
	30	-149,621	-234,484
	35	-129,374	-189,546
	36	-248,66	-353,204
	48	-94,024	-109,384
	49	-198,245	-213,605
Kolom 5-Balok 3	7	-136,97	-141,179
	8	-256,889	-267,628
	13	-271,964	-293,969
	14	-512,023	-541,643
	31	-82,883	-121,217
	32	-152,436	-232,024
	37	-130,395	-188,409
	38	-251,148	-350,416
	52	-93,914	-109,274
	53	-198,465	-213,825
Kolom 5-Balok 5	7	-136,328	-140,945
	8	-256,77	-267,821
	13	-273,975	-294,322
	14	-511,265	-541,226
	35	-84,646	-120,729
	36	-151,74	-228,434
	41	-130,889	-186,652
	42	-254,726	-351,1
	60	-93,88	-109,24
	61	-198,534	-213,894
Kolom 5-Balok 9	7	-135,412	-140,812
	8	-256,615	-267,254
	13	-275,966	-294,566
	14	-511,611	-541,121
	43	-86,4	-119,16
	44	-151,498	-220,042
	49	-132,436	-184,876
	50	-263,164	-351,388
	76	-93,83	-109,19
	77	-198,634	-213,994

Gaya-Gaya Dalam yang terjadi akibat perbedaan jumlah *shear connector* pada balok ini memiliki nilai yang sama besar pada setiap modelnya. Karena gaya yang bekerja luar yang bekerja sama besar.

7. Variasi jumlah *shear connector* pada kolom

- Reaksi perletakan

Tabel 4.57. Reaksi perletakan pada variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-mm	KN-mm	KN-mm
Kolom 2 - Balok 5	1	2,414	0	145,983	0	3,16983	0
	2	-1,3E-16	0	274,085	0	1,753E-16	0
	3	-2,414	0	145,983	0	-3,16983	0
	4	7,255	7,59E-13	288,719	1,336E-15	9,50191	-1,398E-14
	5	-2,9E-15	1,39E-12	527,969	2,442E-15	-1,229E-15	0
	6	-7,255	7,59E-13	288,719	1,336E-15	-9,50191	1,398E-14
Kolom 3 - Balok 5	1	0,4	0	142,168	0	1,04174	0
	2	-6,8E-16	0	263,866	0	-1,214E-15	0
	3	-0,4	0	142,168	0	-1,04174	0
	4	9,484	7,69E-13	292,737	1,354E-15	11,89245	-1,75E-14
	5	-1,4E-15	1,41E-12	537,782	2,488E-15	-7,043E-15	0
	6	-9,484	7,69E-13	292,737	1,354E-15	-11,89245	1,75E-14
Kolom 5 - Balok 5	1	1,496	0	140,945	0	1,7317	0
	2	2,81E-15	0	259,7	0	6,89E-15	0
	3	-1,496	0	140,945	0	-1,7317	0
	4	8,628	7,73E-13	294,322	1,361E-15	11,53504	-1,696E-14
	5	1,63E-14	1,42E-12	541,226	2,504E-15	5,06E-14	0
	6	-8,628	7,73E-13	294,322	1,361E-15	-11,53504	1,696E-14
kolom 9 - balok 5	1	1,82	0	131,477	0	1,84058	0
	2	-5,6E-15	0	249,273	0	-2,681E-15	0
	3	-1,82	0	131,477	0	-1,84058	0
	4	8,448	7,25E-13	275,752	1,276E-15	11,61835	-1,708E-14
	5	-2,6E-14	1,37E-12	523,004	2,419E-15	-1,214E-14	0
	6	-8,448	7,25E-13	275,752	1,276E-15	-11,61835	1,708E-14

Sama seperti pada variasi jumlah *shear connector* di balok, maka pada variasi jumlah *shear connector* di kolom juga tidak ada perbedaan reaksi perletakan diantara modelnya. Karena beban yang bekerja sama besar dan *shear connector* memiliki massa yang dapat diabaikan.

- Simpangan

Tabel 4.58. Simpangan pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada kolom

K 2 - B 5		K 3 - B 5		K 5 - B 5		K 9 - B 5	
Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)	Joint	U3 (mm)
17	-0,560291	23	-0,548969	35	-0,541131	59	-0,517713
26	-0,513331	32	-0,518312	44	-0,521326	68	-0,504186
35	-0,94431	47	-0,932869	71	-0,920348	119	-0,869144
44	-0,817254	56	-0,82232	80	-0,827581	128	-0,795806
50	-1,147806	62	-1,136305	86	-1,12386	134	-1,072699

Perbedaan simpangan yang terjadi pada variasi ini lebih besar jika dibandingkan dengan perbedaan simpangan pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok. Artinya semakin banyak jumlah *shear connector* yang digunakan pada elemen kolom struktur bangunan, maka simpangannya juga semakin kecil. Pada variasi ini penurunannya bervariasi, seperti yang terlihat pada tabel hasil pemodelan, perbedaan simpangannya antara 0,007 hingga 0,02 milimeter.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.59. Gaya dalam momen pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Kolom 2-Balok 5	10	25,77582	-14,48962	-47,62153
	29	25,8132	-35,92267	-39,36948
	45	42,29098	-38,24651	-73,73957
	21	29,13848	-52,52324	-53,02726
	40	28,44459	-39,28471	-54,39741
Kolom 3-Balok 5	13	25,70691	-17,72684	-48,46396
	35	25,78163	-34,6479	-40,44105
	51	42,23075	-38,38254	-73,724
	24	29,00827	-50,03067	-51,83836
	46	28,48541	-40,43856	-53,42827
Kolom 5-Balok 5	19	25,59343	-21,77547	-48,84602
	47	25,74961	-35,47375	-41,53144
	63	42,2239	-38,29338	-73,82686
	30	28,79455	-47,2362	-50,85646
	58	28,46877	-39,73255	-52,31532
Kolom 9-Balok 5	31	25,5277	-24,1976	-49,06413
	71	25,72091	-36,05796	-42,7389
	87	42,20729	-38,25446	-73,899
	42	28,66827	-45,55113	-50,28524
	82	28,46984	-39,19502	-51,11644

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.60. Gaya dalam lintang pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Kolom 2-Balok 5	10	-35,534	56,406
	29	-51,195	48,885
	45	-71,529	85,726
	21	-68,735	61,317
	40	-56,088	65,823
Kolom 3-Balok 5	13	-38,288	57,516
	35	-50,306	50,146
	51	-71,559	85,696
	24	-66,199	59,988
	46	-56,933	64,606
Kolom 5-Balok 5	19	-41,543	58,142
	47	-51,18	51,464
	63	-71,521	85,734
	30	-63,315	58,992
	58	-56,087	63,26
Kolom 9-Balok 5	31	-43,49	58,502
	71	-51,911	52,915
	87	-71,498	85,756
	42	-61,586	58,414
	82	-55,364	61,801

- Normal

Tabel 4.61. Gaya dalam normal pada struktur variasi jumlah *shear connector* pada kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	P (KN)		Jumlah Shear Connector	Frame	P (KN)	
		Maksimum	Minimum			Maksimum	Minimum
Kolom 2-Balok 5	4	-137,396	-146,014	Kolom 5-Balok 5	7	-136,328	-140,945
	5	-265,586	-274,205		8	-256,77	-267,821
	7	-273,305	-288,719		13	-273,975	-294,322
	8	-512,468	-527,969		14	-511,265	-541,226
	23	-96,651	-105,291		35	-84,646	-120,729
	24	-180,672	-189,312		36	-151,74	-228,434
	26	-152,831	-168,191		41	-130,889	-186,652
	27	-300,279	-315,639		42	-254,726	-351,1
	42	-93,888	-109,248		60	-93,88	-109,24
	43	-213,878	-198,518		61	-198,534	-213,894
Kolom 3-Balok 5	4	-137,866	-142,168	Kolom 9-Balok 5	13	-126,842	-131,477
	5	-259,596	-269,309		14	-246,161	-259,085
	10	-274,068	-292,737		19	-254,276	-275,752
	11	-512,658	-537,782		20	-490,271	-523,004
	26	-89,462	-110,988		53	-73,178	-119,897
	27	-162,953	-206,916		54	-137,043	-239,088
	32	-142,8	-179,686		59	-102,383	-170,943
	33	-278,383	-337,707		60	-214,778	-338,664
	48	-93,918	-109,278		84	-93,857	-109,217
	49	-198,457	-213,817		85	-198,579	-213,939

Seperti pada model variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok, maka pada variasi ini Gaya-Gaya Dalam yang terjadi memiliki nilai yang sama besar pada setiap modelnya. Karena gaya yang bekerja luar yang bekerja sama besar.

4.3.2.2 Hasil Pemodelan Struktur Variasi Akibat Beban Lateral

1. Variasi jumlah lantai dan mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*
 - Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.62. Periode natural pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

StepType	StepNum	Period (Sec)		
Text	Unitless	K250	K350	K450
Mode	1	0,561299	0,516021	0,484596
Mode	2	0,223395	0,205375	0,192868
Mode	3	0,121324	0,111537	0,104744

Tabel 4.63. Partisipasi rasio massa pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	StepType	StepNum	UX	SumUX	RY	SumRY
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
K250	Mode	1	0,83	0,83	0,64	0,64
	Mode	2	0,13	0,95	0,000456	0,64
	Mode	3	0,04853	1	0,000105	0,64
K350	Mode	1	0,83	0,83	0,64	0,64
	Mode	2	0,13	0,95	0,000456	0,64
	Mode	3	0,04853	1	0,000105	0,64
K450	Mode	1	0,83	0,83	0,64	0,64
	Mode	2	0,13	0,95	0,000456	0,64
	Mode	3	0,04853	1	0,000105	0,64

Tabel 4.64. Periode natural pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

StepType	StepNum	Period (sec)		
Text	Unitless	K250	K350	K450
Mode	1	0,804123	0,739258	0,694238
Mode	2	0,304656	0,280081	0,263024
Mode	3	0,181116	0,166506	0,156366

Tabel 4.65. Partisipasi rasio massa pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	StepType	StepNum	UX	SumUX	RY	SumRY
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
K250	Mode	1	0,77	0,77	0,74	0,74
	Mode	2	0,17	0,93	0,002752	0,74
	Mode	3	0,0332	0,97	0,002272	0,74
K350	Mode	1	0,77	0,77	0,74	0,74
	Mode	2	0,17	0,93	0,002752	0,74
	Mode	3	0,0332	0,97	0,002272	0,74
K450	Mode	1	0,77	0,77	0,74	0,74
	Mode	2	0,17	0,93	0,002752	0,74
	Mode	3	0,0332	0,97	0,002272	0,74

Berdasarkan pada tabel hasil pemodelan di atas, untuk periode natural pada setiap bangunan dengan mutu beton yang berbeda, maka nilai periode naturalnya juga berbeda. Semakin tinggi mutu beton yang digunakan maka semakin kecil periode natural yang terjadi pada struktur. Hal ini karena penambahan mutu beton berakibat pada peningkatan kekuatan struktur. Perbedaan penurunan nilai periode natural untuk mutu beton K250 dengan K350 baik pada bangunan 3 lantai maupun 4 lantai sekitar 8%, dan perbedaan untuk mutu beton K350 dengan K450 adalah sebesar 6%. Partisipasi massa pada setiap model untuk variasi ini memiliki nilai yang sama besar. Dengan partisipasi massa terbesar adalah translasi arah X.

- Reaksi Perletakan

Tabel 4.66. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	-60,636	0	-130,404	0	-152,609	0
	2	-78,159	0	0,603	0	-175,174	0
	3	-60,217	0	129,8	0	-151,55	0
K350	1	-60,636	0	-130,404	0	-152,609	0
	2	-78,159	0	0,603	0	-175,174	0
	3	-60,217	0	129,8	0	-151,55	0
K450	1	-60,636	0	-130,404	0	-152,609	0
	2	-78,159	0	0,603	0	-175,174	0
	3	-60,217	0	129,8	0	-151,55	0

Tabel 4.67. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	-80,44	0	-241,527	0	-205,005	0
	2	-104,579	0	0,538	0	-236,31	0
	3	-80,099	0	240,989	0	-204,151	0
K350	1	-80,44	0	-241,527	0	-205,005	0
	2	-104,579	0	0,538	0	-236,31	0
	3	-80,099	0	240,989	0	-204,151	0
K450	1	-80,44	0	-241,527	0	-205,005	0
	2	-104,579	0	0,538	0	-236,31	0
	3	-80,099	0	240,989	0	-204,151	0

Reaksi perletakan pada struktur tidak dipengaruhi oleh besarnya mutu beton. Karena reaksi perletakan yang terjadi diakibatkan oleh gaya luar yang bekerja dan berat sendiri struktur. Selama gaya yang bekerja sama, maka struktur dengan mutu beton yang berbeda akan memiliki reaksi perletakan yang sama. Kecuali jumlah lantai yang berbeda, maka reaksi perletakannya juga berbeda.

- Simpangan

Tabel 4.68. Simpangan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Joint	K250	K350	K450
Text	U1 (mm)	U1 (mm)	U1 (mm)
4	5,279	4,461	3,935
7	11,53	9,745	8,594
10	17,895	15,124	13,338

Berdasarkan tabel di atas, untuk variasi mutu beton pada bangunan tiga lantai maka simpangan yang terjadi semakin kecil seiring dengan meningkatnya mutu beton. Dari portal dengan mutu beton K250 mengalami penurunan sekitar 15% apabila dibandingkan mutu beton K350. Jika dibandingkan mutu beton K350 dengan K450, simpangan yang terjadi pada portal dengan mutu beton K350 mengalami penurunan sekitar 11%. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya mutu beton yang digunakan, maka kekakuan struktur juga bertambah, dengan demikian simpangan yang terjadi akan semakin kecil.

Tabel 4.69. Simpangan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Joint	K250	K350	K450
Text	U1 (mm)	U1 (mm)	U1 (mm)
4	7,186	6,073	5,356
7	16,56	13,996	12,344
10	29,749	25,143	22,174
13	38,563	32,593	28,744

Sementara untuk variasi mutu beton pada bangunan empat lantai maka simpangan yang terjadi semakin kecil seiring dengan meningkatnya mutu beton dan memiliki kisaran nilai persentase yang sama dengan kondisi bangunan tiga lantai sebelumnya. Dari portal dengan mutu beton K250 mengalami penurunan sekitar 15% apabila dibandingkan mutu beton K350. Jika dibandingkan mutu beton K350 dengan K450, simpangan yang terjadi pada portal dengan mutu beton K350 mengalami penurunan sekitar 11%. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya mutu beton yang digunakan, maka kekakuan struktur juga bertambah, dengan demikian simpangan yang terjadi akan semakin kecil.

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.70. Gaya geser dasar pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
K250	0,75	199,011
K350	0,75	199,011
K450	0,75	199,011

Tabel 4.71. Gaya geser dasar pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
K250	0,75	265,119
K350	0,75	265,119
K450	0,75	265,119

Gaya geser dipengaruhi oleh jumlah lantai. Mutu beton tidak mempengaruhi gaya geser yang terjadi. Pada tabel di atas dapat dilihat semakin banyak jumlah lantai yang ditambahkan maka semakin besar gaya geser yang terjadi.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.72. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Eksisting (K250)	4	13,8035	170,2178	-142,6107
	9	11,9383	137,6857	-113,8091
	14	5,6524	49,4996	-38,1949
K350	4	13,8035	170,2178	-142,6107
	9	11,9383	137,6857	-113,8091
	14	5,6524	49,4996	-38,1949
K450	4	13,8035	170,2178	-142,6107
	9	11,9383	137,6857	-113,8091
	14	5,6524	49,4996	-38,1949

Tabel 4.73. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Eksisting (K250)	1	31,3365	152,6087	-89,9357
	6	-5,3725	80,282	-91,0271
	11	-1,4205	46,6586	-49,4996
K350	1	31,3365	152,6087	-89,9357
	6	-5,3725	80,282	-91,0271
	11	-1,4205	46,6586	-49,4996
K450	1	31,3365	152,6087	-89,9357
	6	-5,3725	80,282	-91,0271
	11	-1,4205	46,6586	-49,4996

Tabel 4.74. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Eksisting (K250)	4	18,7704	239,4034	-201,8627
	9	20,4207	229,2483	-188,4069
	14	10,1072	131,255	-111,0405
	19	5,8312	59,0397	-47,3774
K350	4	18,7704	239,4034	-201,8627
	9	20,4207	229,2483	-188,4069
	14	10,1072	131,255	-111,0405
	19	5,8312	59,0397	-47,3774
K450	4	18,7704	239,4034	-201,8627
	9	20,4207	229,2483	-188,4069
	14	10,1072	131,255	-111,0405
	19	5,8312	59,0397	-47,3774

Tabel 4.75. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Eksisting (K250)	1	44,1242	205,0051	-116,7568
	6	-0,4667	122,6467	-123,5801
	11	5,018	105,6682	-95,6322
	16	-11,7085	35,6228	-59,0397
K350	1	44,1242	205,0051	-116,7568
	6	-0,4667	122,6467	-123,5801
	11	5,018	105,6682	-95,6322
	16	-11,7085	35,6228	-59,0397
K450	1	44,1242	205,0051	-116,7568
	6	-0,4667	122,6467	-123,5801
	11	5,018	105,6682	-95,6322
	16	-11,7085	35,6228	-59,0397

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.76. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Eksisting (K250)	4	62,566	62,566
	9	50,299	50,299
	14	17,539	17,539
K350	4	62,566	62,566
	9	50,299	50,299
	14	17,539	17,539
K450	4	62,566	62,566
	9	50,299	50,299
	14	17,539	17,539

Tabel 4.77. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
Eksisting (K250)	1	60,636	60,636
	6	42,827	42,827
	11	24,04	24,04
K350	1	60,636	60,636
	6	42,827	42,827
	11	24,04	24,04
K450	1	60,636	60,636
	6	42,827	42,827
	11	24,04	24,04

Tabel 4.78. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
K250	4	88,253	88,253
	9	83,531	83,531
	14	48,459	48,459
	19	21,283	21,283
K350	4	88,253	88,253
	9	83,531	83,531
	14	48,459	48,459
	19	21,283	21,283
K450	4	88,253	88,253
	9	83,531	83,531
	14	48,459	48,459
	19	21,283	21,283

Tabel 4.79. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
K250	1	80,44	80,44
	6	61,557	61,557
	11	50,325	50,325
	16	23,666	23,666
K350	1	80,44	80,44
	6	61,557	61,557
	11	50,325	50,325
	16	23,666	23,666
K450	1	80,44	80,44
	6	61,557	61,557
	11	50,325	50,325
	16	23,666	23,666

- Normal

Tabel 4.80. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
Eksisting (K250)	4	-20,178	-20,178
	9	-57,186	-57,186
	14	-61,011	-61,011
K350	4	-20,178	-20,178
	9	-57,186	-57,186
	14	-61,011	-61,011
K450	4	-20,178	-20,178
	9	-57,186	-57,186
	14	-61,011	-61,011

Tabel 4.81. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
Eksisting (K250)	1	130,404	130,404
	6	67,838	67,838
	11	17,539	17,539
K350	1	130,404	130,404
	6	67,838	67,838
	11	17,539	17,539
K450	1	130,404	130,404
	6	67,838	67,838
	11	17,539	17,539

Tabel 4.82. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
K250	4	-11,512	-11,512
	9	-49,56	-49,56
	14	-56,53	-56,53
	19	-67,075	-67,075
K350	4	-11,512	-11,512
	9	-49,56	-49,56
	14	-56,53	-56,53
	19	-67,075	-67,075
K450	4	-11,512	-11,512
	9	-49,56	-49,56
	14	-56,53	-56,53
	19	-67,075	-67,075

Tabel 4.83. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton tanpa dilakukan *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
K250	1	241,527	241,527
	6	153,274	153,274
	11	69,743	69,743
	16	21,283	21,283
K350	1	241,527	241,527
	6	153,274	153,274
	11	69,743	69,743
	16	21,283	21,283
K450	1	241,527	241,527
	6	153,274	153,274
	11	69,743	69,743
	16	21,283	21,283

Untuk semua gaya dalam, baik momen, lintang maupun normal pada setiap variasi mutu beton dengan lantai yang berbeda, memiliki nilai yang sama antar setiap variasi mutu beton. Karena gaya dalam tidak dipengaruhi oleh mutu beton yang digunakan

2. Variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

- Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.84. Periode natural pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

StepType	StepNum	Period (sec)				
		Text	Unitless	2 SC	3 Sc	5 SC
Mode	1		0,565395	0,56195	0,554631	0,552173
Mode	2		0,222612	0,221406	0,216568	0,215121
Mode	3		0,1228	0,119681	0,116919	0,115971

Tabel 4.85. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	StepType	StepNum	UX	UZ	SumUX	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
2 Shear Connector	Mode	1	0,82	0	0,82	0	0	0,63	0,17	0	0,63	0,17
	Mode	2	0,09385	0	0,91	0	0	7,82E-06	0,26	0	0,63	0,44
	Mode	3	0,0649	0	0,98	0	0	0,00044	0,03159	0	0,63	0,47
3 Shear Connector	Mode	1	0,82	0	0,82	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,09619	0	0,91	0	0	7,33E-06	0,26	0	0,64	0,44
	Mode	3	0,06617	1,98E-19	0,98	1,98E-19	0	0,000648	0,03247	0	0,64	0,47
5 Shear Connector	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0	0,92	0	0	2,43E-05	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0	0,98	0	6,86E-20	0,000715	0,02662	6,87E-20	0,64	0,47
9 Shear Connector	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0	0,92	0	0	5,1E-05	0,28	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05803	0	0,98	0	0	0,000737	0,02495	0	0,64	0,47

Pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan, semakin banyak jumlah *shear connector* yang digunakan maka periode getar yang terjadi semakin kecil. Karena semakin bertambahnya jumlah *shear connector* berarti kekakuan struktur juga semakin bertambah. Perbedaan periode pada variasi ini berkisar antara 0,002-0,007 detik. Partisipasi massa yang terjadi sebagian besar adalah pada translasi arah X.

- Reaksi Perletakan

Seperti yang telah dijelaskan pada variasi dengan beban gravitasi bahwa *Joint 1, 2, dan 3* merupakan *joint* pada bangunan eksisting, sedangkan *joint 4,5,6* adalah *joint* pada *concrete jacketing*. Pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan, reaksi perletakannya sama saja nilainya. Hanya saja memiliki distribusi besar reaksi perletakan yang berbeda pada masing-masing *joint* bangunan eksisting dengan *joint* pada *concrete jacketing*. Hal ini dapat dilihat

pada setiap penjumlahan *joint* 1 dengan 4, *joint* 2 dengan 5 dan *joint* 3 dengan 6 pada semua variasi jumlah *shear connector*.

Tabel 4.86. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
2 Shear Connector	1	-11,236	0	-40,543	0	-24,197	0
	2	-13,645	0	0,167	0	-27,2092	0
	3	-11,166	0	40,376	0	-24,0467	0
	4	-49,894	-2,26E-13	-86,013	-3,979E-16	-141,8435	2,08E-13
	5	-63,51	9,039E-16	0,344	1,591E-18	-159,1481	2,335E-13
	6	-49,559	2,251E-13	85,669	3,963E-16	-140,9005	2,066E-13
3 Shear Connector	1	-5,191	0	-40,866	0	-17,656	0
	2	-6,93	0	0,175	0	-19,9776	0
	3	-5,138	0	40,698	0	-17,5264	0
	4	-55,867	-2,26E-13	-85,993	-3,978E-16	-147,3041	2,161E-13
	5	-70,383	9,261E-16	0,352	1,63E-18	-165,6006	2,43E-13
	6	-55,501	2,25E-13	85,634	3,961E-16	-146,3261	2,146E-13
5 Shear Connector	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
9 Shear Connector	1	-10,776	0	-41,101	0	-20,0053	0
	2	-13,792	0	0,172	0	-22,9768	0
	3	-10,701	0	40,93	0	-19,8678	0
	4	-50,029	-2,281E-13	-86,798	-4,015E-16	-141,1682	2,07E-13
	5	-64,032	9,469E-16	0,36	1,667E-18	-159,7991	2,344E-13
	6	-49,681	2,271E-13	86,437	3,998E-16	-140,1998	2,056E-13

- Simpangan

Tabel 4.87. Simpangan pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Joint	2 SC	Joint	3 SC	Joint	5 SC	Joint	9 SC
Text	U1 (mm)	Text	U1 (mm)	Text	U1 (mm)	Text	U1 (mm)
13	5,411	19	5,35	31	5,186	55	5,131
16	5,406	24	5,347	40	5,184	72	5,13
19	12,089	35	12,002	67	11,586	131	11,453
22	12,07	40	11,985	76	11,576	148	11,446
25	17,757	45	17,58	85	17,249	165	17,133

Berdasarkan tabel di atas, maka semakin banyak *shear connector* yang digunakan semakin kecil simpangan yang terjadi pada bangunan. Hal ini karena semakin banyak *shear connector* maka kekakuan struktur bangunan semakin tinggi

- Gaya Geser Dasar

Karena bangunan pada pemodelan variasi jumlah *shear connector* yang digunakan ini adalah bangunan tiga lantai, maka berdasarkan hasil perhitungan

nilai gaya geser dasarnya adalah sebesar 199,011 KN. Semua model pada variasi ini bernilai sama.

Tabel 4.88. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
2 Shear Connector	0,75	199,011
3 Shear Connector	0,75	199,011
5 Shear Connector	0,75	199,011
9 Shear Connector	0,75	199,011

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.89. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
2 Shear Connector	10	5,9031	38,9598	-27,1537
	15	5,5017	115,0351	-82,1249
	23	5,5059	61,1017	-50,09
	28	5,7048	78,9088	-67,4992
	33	5,5021	50,501	-39,4968
3 Shear Connector	13	4,4437	46,3425	-31,4692
	20	7,0896	109,6864	-101,5191
	31	5,1102	58,0145	-47,4999
	38	5,919	81,0193	-69,4796
5 Shear Connector	43	5,5367	50,1697	-39,0963
	19	5,3067	48,154	-33,0752
	30	6,2934	110,8787	-102,7595
	47	4,9604	59,0216	-48,4081
	58	5,8155	78,4503	-54,2853
9 Shear Connector	63	5,6143	50,5937	-39,365
	31	5,3535	51,3323	-34,7328
	50	6,2694	109,6487	-102,0917
	79	4,9274	59,4263	-48,8371
	98	5,7538	77,5015	-66,7309
	103	5,6367	50,6905	-30,4064

Tabel 4.90. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
2 Shear Connector	4	2,3884	24,197	-19,4171
	7	41,3908	-59,065	141,8435
	17	1,0297	19,5041	-17,4447
	20	-11,4524	-78,9136	56,0087
	30	-3,4244	43,6523	-50,501
3 Shear Connector	4	8,3405	17,656	-23,6849
	10	34,5031	-55,5879	147,3041
	22	-3,4351	22,6248	-13,4548
	28	-5,4402	-81,0279	54,1312
	40	-2,8093	44,5511	-50,1697
5 Shear Connector	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9034	-56,7724	142,5038
	35	-0,8694	23,5428	-14,8548
	41	-6,9522	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
9 Shear Connector	13	4,4271	20,0053	-25,8585
	19	35,1386	-56,1875	141,1682
	61	-0,8367	24,5454	-15,314
	67	-6,5633	-77,5046	53,4761
	100	-3,2906	44,1093	-50,6905

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.91. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
2 Shear Connector	10	13,223	13,223
	15	43,813	43,813
	23	22,238	22,238
	28	29,282	29,282
	33	18	18
3 Shear Connector	13	16,76	14,36
	20	41,044	43,443
	31	21,162	21,043
	38	30,041	30,159
	43	17,853	17,853
5 Shear Connector	19	5,303	1,424
	30	53,67	57,55
	47	19,34	18,929
	58	31,339	31,644
	63	17,992	17,992
9 Shear Connector	31	-2,923	-9,963
	50	62,302	69,341
	79	17,778	17,343
	98	32,722	33,156
	103	18,022	18,022

Tabel 4.92. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
2 Shear Connector	4	11,236	10,903
	7	-50,228	-49,894
	17	9,237	9,237
	20	-33,731	-33,731
	30	23,538	23,538
3 Shear Connector	4	5,191	16,018
	10	-45,04	-55,867
	22	13,03	5,016
	28	-37,794	-29,78
	40	23,68	23,68
5 Shear Connector	7	8,938	24,598
	13	-36,27	-51,929
	35	21,767	10,043
	41	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689
9 Shear Connector	13	10,776	37,325
	19	-23,48	-50,029
	61	33,482	14,271
	67	-28,439	-9,228
	100	23,7	23,7

- Normal

Tabel 4.93. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
2 Shear Connector	10	-12,069	-12,069
	15	-7,755	-7,755
	23	-29,287	-29,287
	28	-27,258	-27,258
	33	-61,513	-61,513
3 Shear Connector	13	-12,645	-11,721
	20	-7,092	-8,016
	31	-36,606	-23,991
	38	-20,239	-32,853
	43	-61,371	-61,371
5 Shear Connector	19	-13,263	-11,42
	30	-6,6	-8,443
	47	-39,477	-21,638
	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
9 Shear Connector	31	-13,331	-11,39
	50	-6,56	-8,501
	79	-40,07	-21,097
	98	-16,893	-35,867
	103	-61,351	-61,351

Tabel 4.94. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
2 Shear Connector	4	40,543	40,54
	7	86,015	86,013
	17	26,456	26,456
	20	43,064	43,064
	30	18	18
3 Shear Connector	4	40,866	40,847
	10	86,013	85,993
	22	24,013	27,119
	28	41,937	45,043
	40	17,853	17,853
5 Shear Connector	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	26,42	28,41
	41	40,26	42,251
	60	17,992	17,992
9 Shear Connector	13	41,101	33,731
	19	94,168	86,798
	61	29,665	29,226
	67	39,295	38,856
	100	18,022	18,022

Gaya dalam momen, lintang dan normal berdasarkan tabel di atas mengalami penurunan apabila jumlah *shear connector* yang digunakan semakin banyak, karena kekakuan struktur bangunan bertambah. Penurunan gaya dalam ini terjadi karena gaya dalam juga ditanggung oleh *shear connector*.

3. Variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*
 - Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.95. Periode natural pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

StepType	StepNum	Period (sec)			
		D13	D16	D19	D22
Mode	1	0,555022	0,554631	0,554411	0,554271
Mode	2	0,216956	0,216568	0,216344	0,216199
Mode	3	0,117117	0,116919	0,116804	0,11673

Tabel 4.96. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Diameter Shear Connector	StepType	StepNum	UX	SumUX	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
D13	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00002121	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,06022	0,98	1,872E-19	0,0007299	0,02674	1,874E-19	0,64	0,47
D16	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00002427	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0,98	6,855E-20	0,0007149	0,02662	6,867E-20	0,64	0,47
D19	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,0000261	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05976	0,98	4,294E-20	0,0007056	0,02654	4,303E-20	0,64	0,47
D22	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00002729	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05965	0,98	3,302E-20	0,0006994	0,02649	3,31E-20	0,64	0,47

Pengaruh diameter *shear connector* untuk periode natural tidak terlalu signifikan, hal ini dapat dilihat pada tabel hasil pemodelan di atas. Secara nilai memang semakin besar diameter *shear connector* yang digunakan maka periode naturalnya semakin berkurang, tetapi pengurangannya hanya sekitar 0,0005 detik. Pengaruh diameter *shear connector* terhadap kekakuan struktur dalam hal ini telah terjadi tetapi dengan nilai yang sangat kecil. Sementara itu partisipasi massa yang terjadi dominan adalah translasi arah X.

- Reaksi Perletakan

Sama seperti pemodelan variasi diameter *shear connector* dengan pembebanan gravitasi. Pada pembebanan lateral, Gaya-Gaya Dalam yang terjadi secara keseluruhan struktur adalah sama besar. Karena gaya luar yang bekerja sama besar dan *shear connector* dianggap memiliki massa yang kecil. Hanya distribusi Gaya-Gaya Dalam pada bangunan eksisting dan *concrete jacketing*nya berbeda.

Tabel 4.97. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Diameter Shear Connector	Joint Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
D13	1	-8,723	0	-40,471	0	-19,5657	0
	2	-11,123	0	0,175	0	-22,3461	0
	3	-8,663	0	40,302	0	-19,4311	0
	4	-52,151	-2,29E-13	-87,141	-4,031E-16	-142,6607	2,092E-13
	5	-66,566	9,486E-16	0,361	1,67E-18	-161,2254	2,365E-13
	6	-51,785	2,28E-13	86,774	4,014E-16	-141,6774	2,078E-13
D16	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
D19	1	-9,141	0	-40,968	0	-19,6142	0
	2	-11,67	0	0,171	0	-22,4179	0
	3	-9,078	0	40,798	0	-19,4805	0
	4	-51,723	-2,278E-13	-86,694	-4,01E-16	-142,4235	2,089E-13
	5	-66,033	9,413E-16	0,358	1,657E-18	-160,9879	2,362E-13
	6	-51,366	2,269E-13	86,334	3,993E-16	-141,4533	2,075E-13
D22	1	-9,361	0	-41,053	0	-19,6206	0
	2	-11,955	0	0,17	0	-22,4286	0
	3	-9,296	0	40,883	0	-19,4871	0
	4	-51,501	-2,276E-13	-86,62	-4,007E-16	-142,3758	2,088E-13
	5	-65,749	9,388E-16	0,357	1,653E-18	-160,9381	2,361E-13
	6	-51,147	2,267E-13	86,262	3,99E-16	-141,4091	2,074E-13

- Simpangan

Tabel 4.98. Simpangan pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

D 13		D 16		D 19		D 22	
Joint Text	U1 mm	Joint Text	U1 mm	Joint Text	U1 mm	Joint Text	U1 mm
31	5,194	31	5,186	31	5,182	31	5,179
40	5,191	40	5,184	40	5,18	40	5,177
67	11,607	67	11,586	67	11,575	67	11,568
76	11,591	76	11,576	76	11,567	76	11,562
85	17,271	85	17,249	85	17,236	85	17,228

Simpangan yang terjadi akibat adanya variasi diameter *shear connector* yang digunakan mengalami penurunan dengan besar berkisar antara 0,003-0,008 milimeter. Diameter *shear connector* mempengaruhi kekakuan struktur, tetapi nilainya sangat kecil.

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.99. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
D 13 mm	0,75	199,011
D 16 mm	0,75	199,011
D 19 mm	0,75	199,011
D 22 mm	0,75	199,011

Gaya geser dasar pada semua model pada variasi ini adalah sama yaitu sebesar 199,011 KN.

- Gaya-Gaya Dalam

- Momen (M 3-3)

Tabel 4.100. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
D 13	19	5,2417	48,076	-32,9899
	30	6,3557	110,8029	-102,6946
	47	4,9712	59,0608	-48,4877
	58	5,8246	78,5006	-67,4831
	63	5,6101	50,593	-39,3728
D 16	19	5,3067	48,154	-33,0752
	30	6,2934	110,8787	-102,7595
	47	4,9604	59,0216	-48,4081
	58	5,8155	78,4503	-67,5144
	63	5,6143	50,5937	-39,365
D 19	19	5,3476	48,1985	-33,13
	30	6,2561	110,9221	-102,789
	47	4,9587	59,0016	-48,3537
	58	5,8059	78,4185	-67,5426
	63	5,6165	50,5928	-39,3597
D 22	19	5,3747	48,2327	-33,1726
	30	6,2336	110,944	-102,7992
	47	4,9601	58,9914	-48,3153
	58	5,798	78,3955	-67,5649
	63	5,6177	50,5915	-39,3561

Tabel 4.101. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
D 13	7	4,6936	19,5657	-24,583
	13	35,7861	-56,6858	142,6607
	35	-1,0331	23,4843	-14,9143
	41	-6,8702	-78,5024	54,1258
	60	-3,2241	44,1447	-50,593
D 16	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9034	-56,7724	142,5038
	35	-0,8682	23,5428	-14,8548
	41	-6,951	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
D 19	7	4,3323	19,6142	-24,5883
	13	35,9803	-56,8306	142,4235
	35	-0,7619	23,5725	-14,819
	41	-7,0082	-78,4267	54,1291
	60	-3,2092	44,1744	-50,5928
D 22	7	4,2458	19,6206	-24,579
	13	36,0308	-56,875	142,3758
	35	-0,6912	23,5868	-14,7944
	41	-7,0468	-78,4103	54,1359
	60	-3,2046	44,1823	-50,5915

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.102. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm
D 13	19	-13,602	-11,407
	30	-6,266	-8,462
	47	-40,475	-19,927
	58	-16,427	-36,975
	63	-61,367	-61,367
D 16	19	5,303	1,424
	30	53,67	57,55
	47	19,34	18,929
	58	31,339	31,75
	63	17,992	17,992
D 19	19	5,02	1,111
	30	53,988	57,897
	47	19,32	18,828
	58	31,343	31,836
	63	17,99	17,99
D 22	19	-12,765	-11,453
	30	-7,09	-8,402
	47	-37,769	-24,467
	58	-19,167	-32,469
	63	-61,358	-61,358

Tabel 4.103. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm
D 13	7	40,471	37,201
	13	90,411	87,141
	35	27,235	29,878
	41	38,821	41,465
	60	17,993	17,993
D 16	7	8,938	24,598
	13	-36,27	-51,929
	35	21,767	10,043
	41	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689
D 19	7	9,141	24,791
	13	-36,073	-51,723
	35	22,003	10,002
	41	-32,735	-20,734
	60	23,692	23,692
D 22	7	41,053	38,057
	13	89,616	86,62
	35	25,321	26,45
	41	42,193	43,322
	60	17,99	17,99

- Normal

Tabel 4.104. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
D 13	19	-13,602	-11,407
	30	-6,266	-8,462
	47	-40,475	-19,927
	58	-16,427	-36,975
	63	-61,367	-61,367
D 16	19	-13,263	-11,42
	30	-6,6	-8,443
	47	-39,477	-21,638
	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
D 19	19	-12,987	-11,436
	30	-6,872	-8,423
	47	-38,559	-23,151
	58	-18,37	-33,778
	63	-61,359	-61,359
D 22	19	-12,765	-11,453
	30	-7,09	-8,402
	47	-37,769	-24,467
	58	-19,167	-32,469
	63	-61,358	-61,358

Tabel 4.105. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi diameter *shear connector* pada *concrete jacketing*

Mutu Beton	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
D 13	7	40,471	37,201
	13	90,411	87,141
	35	27,235	29,878
	41	38,821	41,465
	60	17,993	17,993
D 16	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	26,42	28,41
	41	40,26	42,251
	60	17,992	17,992
D 19	7	40,968	37,697
	13	89,965	86,694
	35	25,808	27,302
	41	41,352	42,846
	60	17,99	17,99
D 22	7	41,053	38,057
	13	89,616	86,62
	35	25,321	26,45
	41	42,193	43,322
	60	17,99	17,99

Sama seperti pada variasi dengan pembebanan gravitasi, maka berdasarkan tabel hasil penelitian mengenai gaya dalam yang terjadi pada variasi diameter *shear connector* yang digunakan memperlihatkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap gaya dalam yang terjadi. Semua gaya dalam antar model variasi cenderung memiliki nilai yang sama besar.

4. Variasi jumlah lantai yang ditambahkan
 - Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.106. Periode natural pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

StepType	StepNum	Period (sec)	
		3 Lantai	4 Lantai
Mode	1	0,554631	0,782813
Mode	2	0,216568	0,293814
Mode	3	0,116919	0,170061

Tabel 4.107. Partisipasi rasio massa pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	StepType	StepNum	UX	SumUX	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
3 Lantai	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00002427	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0,98	6,855E-20	0,0007149	0,02662	6,867E-20	0,64	0,47
4 Lantai	Mode	1	0,77	0,77	0	0,74	0,06169	0	0,74	0,06169
	Mode	2	0,15	0,92	0	0,0008974	0,29	0	0,74	0,35
	Mode	3	0,0258	0,94	1,792E-20	0,002374	0,1	1,793E-20	0,74	0,45

Semakin banyak jumlah lantai yang ditambahkan berarti semakin besar beban bangunan tersebut. Hal ini menjadikan periode natural struktur nya juga semakin besar. Hal ini dapat dilihat pada tabel di atas hasil pemodelan variasi jumlah lantai yang ditambahkan. Perbedaan yang terjadi antara periode natural satu lantai tambahan dengan dua lantai tambahan dari bangunan eksisting adalah 0,228 detik.

- Reaksi Perletakan

Tabel 4.108. Reaksi perletakan pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
3 Lantai	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
4 Lantai	1	-11,861	0	-76,162	0	-26,3626	0
	2	-15,26	0	0,157	0	-30,2429	0
	3	-11,811	0	76,007	0	-26,2546	0
	4	-68,895	-4,244E-13	-161,527	-7,472E-16	-191,8992	2,814E-13
	5	-88,688	8,599E-16	0,327	1,514E-18	-217,7004	3,194E-13
	6	-68,603	4,236E-13	161,198	7,456E-16	-191,1143	2,803E-13

Reaksi perletakan untuk penambahan lantai yang berbeda juga memiliki nilai yang berbeda. Semakin besar penambahan lantai yang dilakukan maka reaksi perletakannya semakin besar karena berat strukturnya juga semakin besar.

- Simpangan

Tabel 4.109. Simpangan pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

3 Lantai		4 Lantai	
Joint	U1	Joint	U1
Text	mm	Text	mm
31	5,186	31	7,077
40	5,184	40	7,074
67	11,586	67	16,533
76	11,576	76	16,508
85	17,249	85	28,384
		88	35,924

Berdasarkan tabel hasil pemodelan di atas, untuk simpangan akibat penambahan lantai memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan semakin banyaknya jumlah lantai yang ditambahkan. Dengan semakin banyaknya jumlah lantai yang ditambahkan, maka berat struktur juga semakin besar sehingga dengan kekakuan struktur yang sama antara bangunan tiga lantai dengan empat lantai maka simpangan yang terjadi semakin besar.

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.110. Gaya geser dasar pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
3 Lantai	0,75	199,011
4 Lantai	0,75	265,119

Gaya geser dasar dipengaruhi oleh berat struktur, sehingga untuk gaya geser dasar bangunan tiga lantai lebih kecil dibandingkan gaya geser dasar pada bangunan empat lantai dengan selisih sebesar 66 KN.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.111. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
3 Lantai	19	5,3067	48,154	-33,0752
	30	6,2934	110,8787	-102,7595
	47	4,9604	59,0216	-48,4081
	58	5,8155	78,4503	-67,5144
	63	5,6143	50,5937	-39,365
4 Lantai	19	7,2271	67,5377	-46,6139
	30	8,5831	155,6815	-144,9879
	47	8,3838	113,0994	-90,9538
	58	10,0054	114,8905	-100,2623
	63	10,0215	133,7729	-113,7299
	68	5,8884	59,346	-47,5692

Tabel 4.112. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
3 Lantai	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9034	-56,7724	142,5038
	35	-0,8694	23,5428	-14,8548
	41	-6,9522	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
4 Lantai	7	6,2827	26,3626	-33,3402
	13	50,4695	-71,422	191,8992
	35	-0,549	34,1704	-13,532
	41	-4,4332	-114,8859	84,2866
	60	0,5808	99,572	-98,4103
	65	-11,9917	35,3626	-59,346

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.113. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
3 Lantai	19	5,303	1,424
	30	53,67	57,55
	47	19,34	18,929
	58	31,339	31,75
	63	17,992	17,992
4 Lantai	19	7,474	1,871
	30	75,491	81,093
	47	44,77	41,001
	58	39,071	42,84
	63	49,501	49,501
	68	21,383	21,383

Tabel 4.114. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN
3 Lantai	7	8,938	24,598
	13	-36,27	-51,929
	35	21,767	10,043
	41	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689
4 Lantai	7	11,861	33,854
	13	-46,902	-68,895
	35	30,821	6,409
	41	-55,31	-30,897
	60	49,496	49,496
	65	23,677	23,677

- Normal

Tabel 4.115. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
3 Lantai	19	-11,42	-13,263
	30	-6,6	-8,443
	47	-21,638	-39,477
	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
4 Lantai	19	-7,2	-8,691
	30	-2,667	-4,159
	47	-7,913	-43,957
	58	-4,612	-40,655
	63	-57,371	-57,371
	68	-67,064	-67,064

Tabel 4.116. Gaya dalam normal untuk kolom pada struktur dengan variasi jumlah lantai yang ditambahkan

Jumlah Lantai	Frame	P (KN)	
	Text	Maksimum	Minimum
3 Lantai	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	28,41	24,651
	41	44,019	40,26
	60	17,992	17,992
4 Lantai	7	76,162	71,751
	13	165,938	161,527
	35	76,435	56,236
	41	98,489	78,29
	60	70,884	70,884
	65	21,383	21,383

Pengaruh adanya penambahan lantai juga tampak pada gaya-gaya dalam yang terjadi. Semakin banyak jumlah lantai yang ditambahkan, maka semakin

besar gaya dalam yang terjadi pada struktur karena beban yang diterima struktur juga semakin besar.

5. Variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

- Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.117. Periode natural pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

StepType	StepNum	Period (sec)				
		Text	Unitless	K250	K350	K450
Mode	1			0,591735	0,554631	0,527841
Mode	2			0,232664	0,216568	0,205324
Mode	3			0,125458	0,116919	0,110828

Tabel 4.118. Partisipasi rasio massa pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	StepType	StepNum	UX	SumUX	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
			Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
K250	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00004346	0,28	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05932	0,98	2,327E-20	0,0006425	0,02648	2,335E-20	0,64	0,47
K350	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00002427	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0,98	6,855E-20	0,0007149	0,02662	6,867E-20	0,64	0,47
K450	Mode	1	0,81	0,81	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0,92	0	0,00001726	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,06044	0,98	1,466E-19	0,0007646	0,02683	1,468E-19	0,64	0,47

Tabel 4.119. Periode natural pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

StepType	StepNum	Period (sec)				
		Text	Unitless	K250	K350	K450
Mode	1			0,837523	0,782813	0,743779
Mode	2			0,316454	0,293814	0,277891
Mode	3			0,183851	0,170061	0,160439

Tabel 4.120. Partisipasi rasio massa pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	StepType	StepNum	UX	SumUX	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
			Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
K250	Mode	1	0,76	0,76	0	0,74	0,0606	0	0,74	0,0606
	Mode	2	0,15	0,92	0	0,001167	0,29	0	0,74	0,35
	Mode	3	0,02636	0,94	1,778E-20	0,002286	0,1	1,779E-20	0,74	0,45
K350	Mode	1	0,77	0,77	0	0,74	0,06169	0	0,74	0,06169
	Mode	2	0,15	0,92	0	0,0008974	0,29	0	0,74	0,35
	Mode	3	0,0258	0,94	1,792E-20	0,002374	0,1	1,793E-20	0,74	0,45
K450	Mode	1	0,77	0,77	0	0,74	0,0623	0	0,74	0,0623
	Mode	2	0,15	0,92	0	0,0007562	0,29	0	0,74	0,35
	Mode	3	0,02535	0,94	1,597E-20	0,002453	0,09816	1,599E-20	0,74	0,45

Pada variasi mutu beton yang digunakan pada concrete *jacketing*, periode naturalnya semakin kecil seiring dengan semakin besarnya mutu beton yang digunakan baik pada penambahan lantai menjadi tiga lantai ataupun menjadi empat lantai. Penurunannya sekitar 0,03 detik untuk setiap variasi mutu beton.

- Reaksi Perletakan

Tabel 4.121. Reaksi perletakan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	-10,31	0	-45,779	0	-22,513	0
	2	-13,137	0	0,201	0	-25,7266	0
	3	-10,242	0	45,581	0	-22,3669	0
	4	-50,586	-2,162E-13	-82,276	-3,806E-16	-138,2739	2,028E-13
	5	-64,483	9,303E-16	0,354	1,638E-18	-156,3171	2,293E-13
	6	-50,252	2,153E-13	81,919	3,789E-16	-137,3762	2,015E-13
K350	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
K450	1	-8,016	0	-37,287	0	-17,6331	0
	2	-10,238	0	0,153	0	-20,146	0
	3	-7,958	0	37,137	0	-17,5078	0
	4	-52,833	-2,367E-13	-90,066	-4,166E-16	-145,4086	2,133E-13
	5	-67,513	9,491E-16	0,361	1,671E-18	-164,3232	2,411E-13
	6	-52,453	2,357E-13	89,702	4,149E-16	-144,3756	2,118E-13

Tabel 4.122. Reaksi perletakan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
K250	1	-13,684	0	-85,356	0	-30,2703	0
	2	-17,575	0	0,18	0	-34,7238	0
	3	-13,629	0	85,177	0	-30,1526	0
	4	-67,124	-4,018E-13	-152,91	-7,073E-16	-186,1409	2,73E-13
	5	-86,253	8,365E-16	0,318	1,473E-18	-211,1792	3,098E-13
	6	-66,853	4,009E-13	152,589	7,058E-16	-185,418	2,719E-13
K350	1	-11,861	0	-76,162	0	-26,3626	0
	2	-15,26	0	0,157	0	-30,2429	0
	3	-11,811	0	76,007	0	-26,2546	0
	4	-68,895	-4,244E-13	-161,527	-7,472E-16	-191,8992	2,814E-13
	5	-88,688	8,599E-16	0,327	1,514E-18	-217,7004	3,194E-13
	6	-68,603	4,236E-13	161,198	7,456E-16	-191,1143	2,803E-13
K450	1	-10,636	0	-69,672	0	-23,7207	0
	2	-13,7	0	0,141	0	-27,212	0
	3	-10,589	0	69,534	0	-23,6199	0
	4	-70,086	-4,404E-13	-167,608	-7,753E-16	-195,8551	2,872E-13
	5	-90,329	8,733E-16	0,332	1,537E-18	-222,1713	3,26E-13
	6	-69,777	4,395E-13	167,274	7,737E-16	-195,024	2,86E-13

Reaksi perletakan dipengaruhi oleh gaya yang terjadi pada struktur bangunan. Sehingga reaksi perletakan untuk penambahan bangunan menjadi tiga

lantai lebih kecil dibandingkan dengan reaksi perletakan pada penambahan bangunan menjadi empat lantai. Tetapi untuk setiap model pada variasi mutu beton yang digunakan untuk *concrete jacketing* pada tiga lantai dan empat lantai masing-masing memiliki nilai yang sama besar.

- Simpangan

Tabel 4.123. Simpangan pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

K250		K350		K450	
Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1
Text	mm	Text	mm	Text	mm
31	5,91	31	5,186	31	4,691
40	5,908	40	5,184	40	4,688
67	13,147	67	11,586	67	10,512
76	13,139	76	11,576	76	10,5
85	19,669	85	17,249	85	15,61

Semakin besar mutu beton yang digunakan pada *concrete jacketing* mengakibatkan semakin kecil simpangan yang terjadi. Karena peningkatan mutu beton pada *concrete jacketing* ini membuat kekakuan struktur bertambah.

Tabel 4.124. Simpangan pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

K250		K350		K450	
Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1
Text	mm	Text	mm	Text	mm
31	8,06	31	7,077	31	6,404
40	8,058	40	7,074	40	6,401
67	18,754	67	16,533	67	15,002
76	18,732	76	16,508	76	14,975
85	32,428	85	28,384	85	25,66
88	41,298	88	35,924	88	32,34

Sama seperti penambahan lantai menjadi tiga lantai dengan variasi mutu beton yang digunakan pada *concrete jacketing* nya, maka simpangan yang terjadi pada penambahan bangunan menjadi empat lantai ini juga semakin kecil.

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.125. Gaya geser dasar pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
K250	0,75	199,011
K350	0,75	199,011
K450	0,75	199,011

Tabel 4.126. Gaya geser dasar pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
K250	0,75	265,119
K350	0,75	265,119
K450	0,75	265,119

Gaya geser dasar dipengaruhi oleh berat struktur, sehingga untuk gaya geser dasar bangunan tiga lantai lebih kecil dibandingkan gaya geser dasar pada bangunan empat lantai dengan selisih sekitar 66 KN

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.127. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	19	6,1329	54,5405	-37,5546
	30	6,1313	106,3241	-98,7841
	47	5,6983	63,1691	-50,8145
	58	5,6453	75,3069	-64,977
	63	5,5782	49,9796	-38,8232
K 350	19	5,3067	48,154	-33,0752
	30	6,2934	110,8787	-102,7595
	47	4,9604	59,0216	-48,4081
	58	5,8155	78,4503	-67,5144
	63	5,6143	50,5937	-39,365
K 450	19	4,7491	43,7251	-29,9782
	30	6,3985	114,0281	-105,4818
	47	4,4577	56,0968	-46,7106
	58	5,9246	80,6254	-69,2493
	63	5,6497	51,0833	-39,7838

Tabel 4.128. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	7	5,0077	22,513	-27,8867
	13	33,9863	-54,912	138,2739
	35	-0,9697	26,6319	-17,9083
	41	-6,6066	-75,3131	51,434
	60	-2,3625	45,2547	-49,9796
K 350	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9016	-56,7724	142,5038
	35	-0,8682	23,5428	-14,8548
	41	-6,951	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
K 450	7	4,0878	17,6331	-22,318
	13	37,2558	-58,0364	145,4086
	35	-0,7975	21,3897	-12,7613
	41	-7,1967	-80,6281	56,0092
	60	-3,8752	43,3329	-51,0833

Tabel 4.129. Gaya dalam momen untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	19	8,354	76,4778	-52,9252
	30	8,3605	149,2395	-139,363
	47	-0,6109	38,4938	-18,1821
	58	9,729	110,3587	-96,5987
	63	9,9875	132,6851	-112,7102
	68	5,8809	59,2263	-47,4645
K 350	19	7,2271	67,5377	-46,6139
	30	8,5816	155,6815	-144,9879
	47	-0,5545	34,0472	-13,6573
	58	10,0031	114,8905	-100,2623
	63	10,0215	133,7729	-113,7299
	68	5,8884	59,346	-47,5692
K 450	19	6,4671	61,334	-42,249
	30	8,7253	160,1369	-148,8371
	47	-0,5146	30,9525	-10,5671
	58	10,1713	118,0251	-102,7509
	63	10,0569	134,6467	-114,533
	68	5,8925	59,4403	-47,6554

Tabel 4.130. Gaya dalam momen untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	7	7,0371	30,2703	-37,8022
	13	47,7583	-69,0182	186,1409
	35	-0,5973	38,6448	-18,0009
	41	-4,1311	-110,3569	80,2521
	60	2,2611	101,6665	-97,1444
K 350	7	-11,8428	35,5408	-59,2263
	13	6,2827	26,3626	-33,3402
	35	50,4671	-71,422	191,8992
	41	-0,5473	34,1704	-13,532
	60	-4,4314	-114,8859	84,2866
K 450	60	0,5808	99,572	-98,4103
	65	-11,9917	35,3626	-59,346
	7	5,7495	23,7207	-30,2555
	13	52,3832	-73,055	195,8551
	35	-0,5118	38,6448	-10,4851
K 450	41	-4,6582	-118,0185	87,1065
	60	-0,7407	97,9539	-99,4353
	65	-12,1144	35,2115	-59,4403

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.131. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
K 250	19	32,114	6,948	2,835
	30	27,662	52,493	56,605
	47	26,152	19,733	19,059
	58	24,609	31,12	31,795
	63	17,761	17,761	17,761
K 350	19	29,281	5,303	1,424
	30	29,998	53,67	57,55
	47	23,766	19,34	18,929
	58	26,769	31,339	31,75
	63	17,992	17,992	17,992
K 450	19	27,206	4,258	0,575
	30	31,72	54,384	58,068
	47	22	19,129	18,935
	58	28,353	31,407	31,601
	63	18,173	18,173	18,173

Tabel 4.132. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
K 250	7	5,356	10,31	27,546
	13	-55,541	-33,351	-50,586
	35	4,572	24,414	12,37
	41	-39,627	-30,452	-18,407
	60	23,809	23,809	23,809
K 350	7	4,469	8,938	24,598
	13	-56,398	-36,27	-51,929
	35	3,947	21,767	10,043
	41	-40,094	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689	23,689
K 450	7	3,896	8,016	22,515
	13	-56,953	-38,334	-52,833
	35	3,541	19,883	8,426
	41	-40,387	-34,271	-22,814
	60	23,604	23,604	23,604

Tabel 4.133. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	19	45,175	9,794	3,847
	30	38,426	73,807	79,755
	47	7,317	34,353	10,257
	58	41,741	39,154	43,32
	63	49,079	49,079	49,079
	68	21,338	21,338	21,338
K 350	19	41,2	7,474	1,871
	30	41,764	75,491	81,093
	47	6,498	30,67	6,607
	58	45,37	39,071	42,84
	63	49,501	49,501	49,501
	68	21,383	21,383	21,383
K 450	19	38,287	5,997	0,685
	30	44,225	76,514	81,826
	47	5,971	28,055	4,083
	58	48,024	38,899	42,312
	63	49,836	49,836	49,836
	68	21,419	21,419	21,419

Tabel 4.134. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
K 250	7	6,932	13,684	37,917
	13	-73,876	-42,891	-67,124
	35	7,429	34,544	9,978
	41	-57,105	-51,836	-27,27
	60	49,703	49,703	49,703
	65	23,692	23,692	23,692
K 350	7	5,777	11,861	33,854
	13	-74,979	-46,902	-68,895
	35	6,578	30,821	6,409
	41	-57,813	-55,31	-30,897
	60	49,496	49,496	49,496
	65	23,677	23,677	23,677
K 450	7	5,034	10,636	30,979
	13	-75,688	-49,743	-70,086
	35	6,027	34,544	3,948
	41	-58,267	-57,718	-33,491
	60	49,347	49,347	49,347
	65	23,663	23,663	23,663

- Normal

Tabel 4.135. Gaya dalam normal untuk balok pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
K 250	19	-12,212	-13,622
	30	-6,289	-7,699
	47	-24,775	-40
	58	-16,961	-32,185
	63	-61,242	-61,242
K 350	19	-11,42	-13,263
	30	-6,6	-8,443
	47	-21,638	-39,477
	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
K 450	19	-10,824	-13,002
	30	-6,832	-9,01
	47	-19,321	-39,097
	58	-17,784	-37,56
	63	-61,447	-61,447

Tabel 4.136. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 3 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
K 250	7	45,779	42,157
	13	85,898	82,276
	35	29,889	29,044
	41	39,57	38,725
	60	17,761	17,761
K 350	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	28,41	26,42
	41	42,251	40,26
	60	17,992	17,992
K 450	7	37,287	34,028
	13	93,324	90,066
	35	27,415	24,529
	41	44,181	41,295
	60	18,173	18,173

Tabel 4.137. Gaya dalam lintang untuk balok pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
K 250	19	-7,989	-8,789
	30	-2,613	-3,413
	47	-62,607	-79,094
	58	-5,174	-37,177
	63	-57,178	-57,178
	68	-67,049	-67,049
K 350	19	-7,533	-8,691
	30	-2,667	-3,826
	47	-56,903	-76,27
	58	-4,612	-40,655
	63	-57,371	-57,371
	68	-67,064	-67,064
K 450	19	-7,187	-8,623
	30	-2,717	-4,153
	47	-52,824	-74,356
	58	-4,202	-43,186
	63	-57,505	-57,505
	68	-67,078	-67,078

Tabel 4.138. Gaya dalam lintang untuk kolom pada struktur 4 lantai dengan variasi mutu beton *concrete jacketing* yang digunakan

Mutu Beton	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
K 250	7	85,356	80,612
	13	157,653	152,91
	35	79,278	62,745
	41	91,919	75,387
	60	70,417	70,417
	65	21,338	21,338
K 350	7	76,162	71,751
	13	165,938	161,527
	35	76,435	57,022
	41	97,703	78,29
	60	70,884	70,884
	65	21,383	21,383
K 450	7	69,672	65,553
	13	171,728	167,608
	35	74,507	62,745
	41	101,839	80,262
	60	71,255	71,255
	65	21,419	21,419

Untuk gaya-gaya dalam yang terjadi tidak ada pengaruh yang signifikan akibat adanya perbedaan mutu beton dari *concrete jacketing* yang digunakan. Secara keseluruhan struktur memiliki nilai gaya-gaya dalam yang sama besar.

6. Variasi jumlah *shear connector* pada balok
 - Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.139. Periode Getar pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

StepType	StepNum	Period (sec)			
		K 5 - B 2	K 5 - B 3	K 5 - B 5	K 5 - B 9
Mode	1	0,557421	0,557318	0,554631	0,553544
Mode	2	0,219482	0,219373	0,216568	0,215631
Mode	3	0,118202	0,118296	0,116919	0,116406

Tabel 4.140. Partisipasi Rasio Massa pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	StepType	StepNum	UX	UZ	SumUX	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Kolom 5-Balok 2	Mode	1	0,82	0	0,82	0	0	0,63	0,17	0	0,63	0,17
	Mode	2	0,1	0	0,92	0	0	3,23E-06	0,27	0	0,63	0,44
	Mode	3	0,06343	0	0,98	0	2,67E-19	0,000412	0,02959	2,67E-19	0,63	0,47
Kolom 5-Balok 3	Mode	1	0,82	0	0,82	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,1	0	0,92	0	0	3,82E-06	0,27	0	0,64	0,44
	Mode	3	0,06326	0	0,98	0	0	0,000591	0,02978	0	0,64	0,47
Kolom 5-Balok 5	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0	0,92	0	0	2,43E-05	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0	0,98	0	6,86E-20	0,000715	0,02662	6,87E-20	0,64	0,47
Kolom 5-Balok 9	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0	0,92	0	0	3,46E-05	0,28	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05879	4,89E-19	0,98	4,89E-19	1,77E-18	0,000761	0,02564	1,77E-18	0,64	0,47

Variasi penambahan jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok bangunan menambah kekakuan struktur, tetapi nilainya cukup kecil. Hal ini dapat dilihat berdasarkan tabel periode hasil pemodelan ini. Disini terlihat bahwa terjadi penurunan periode sekitar 0,001-0,003 detik.

- Reaksi Perletakan

Tabel 4.141. Reaksi Perletakan pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Kolom 5-balok 2	1	-8,974	0	-41,034	0	-19,7549	0
	2	-11,36	0	0,171	0	-22,455	0
	3	-8,912	0	40,863	0	-19,6205	0
	4	-52,098	-2,267E-13	-86,288	-3,991E-16	-143,6685	2,107E-13
	5	-65,929	9,419E-16	0,358	1,658E-18	-161,5831	2,371E-13
	6	-51,737	2,258E-13	85,93	3,975E-16	-142,691	2,093E-13
Kolom 5-balok 2	1	-8,965	0	-41,078	0	-19,7415	0
	2	-11,379	0	0,172	0	-22,4748	0
	3	-8,903	0	40,907	0	-19,6071	0
	4	-52,034	-2,266E-13	-86,251	-3,99E-16	-143,5735	2,106E-13
	5	-66,056	9,426E-16	0,359	1,659E-18	-161,716	2,373E-13
	6	-51,673	2,257E-13	85,891	3,973E-16	-142,5965	2,091E-13
Kolom 5-balok 2	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
Kolom 5-balok 2	1	-8,927	0	-40,486	0	-19,546	0
	2	-11,416	0	0,172	0	-22,3676	0
	3	-8,865	0	40,318	0	-19,4122	0
	4	-51,886	-2,293E-13	-87,28	-4,037E-16	-142,0868	2,084E-13
	5	-66,392	9,429E-16	0,359	1,66E-18	-160,8249	2,36E-13
	6	-51,526	2,284E-13	86,916	4,02E-16	-141,1144	2,07E-13

Sama seperti pada pemodelan variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok akibat beban gravitasi, maka reaksi perletakan yang terjadi pada variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok ini tidak berbeda antara satu model dengan model lainnya. Karena gaya-gaya luar yang terjadi sama besar. *Shear connector* juga dianggap memiliki massa yang sangat kecil, sehingga variasi penambahan jumlahnya tidak berpengaruh terhadap berat strukturnya

- Simpangan

Tabel 4.142. Simpangan pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Kolom 5-Balok 2		Kolom 5-Balok 3		Kolom 5-Balok 5		Kolom 5-Balok 9	
Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1
Text	mm	Text	mm	Text	mm	Text	mm
31	5,25	31	5,249	31	5,186	31	5,162
34	5,247	36	5,246	40	5,184	48	5,16
55	11,747	59	11,741	67	11,586	83	11,526
58	11,73	64	11,728	76	11,576	100	11,517
61	17,388	69	17,377	85	17,249	117	17,197

Adanya variasi jumlah *shear connector* yang ditambahkan pada balok, maka akan semakin memperkecil simpangan yang terjadi. Tetapi penurunan simpangannya cukup kecil yaitu sekitar 0,01-0,06 milimeter. Artinya semakin banyak jumlah *shear connector* yang ditambahkan, maka semakin bertambah pula kekakuan struktur, tetapi dengan penambahan kekakuan yang tidak terlalu signifikan.

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.143. Gaya Geser Dasar pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
Kolom 5 - Balok 2	0,75	199,011
Kolom 5 - Balok 3	0,75	199,011
Kolom 5 - Balok 5	0,75	199,011
Kolom 5 - Balok 9	0,75	199,011

Gaya geser dasar pada model ini adalah sebesar 199,011 seperti dengan model-model lainnya yang strukturnya dimodelkan tiga lantai. Tidak ada pengaruh penambahan jumlah *shear connector* pada balok untuk nilai gaya geser dasar disini.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.144. Gaya Dalam Momen untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Kolom 5 - Balok 2	19	6,9024	53,1786	-39,3738
	24	5,4033	105,2838	-94,4772
	41	5,2802	60,1397	-49,5793
	46	5,6857	78,0808	-66,7093
	51	5,5508	50,4451	-39,3435
Kolom 5 - Balok 3	19	4,3424	54,779	-38,2491
	26	7,5547	103,318	-96,0726
	43	4,9457	60,2367	-49,3326
	50	5,9691	77,9197	-66,9941
	55	14,5432	50,4413	-39,304
Kolom 5 - Balok 5	19	5,3056	48,154	-33,0752
	30	6,2923	110,8787	-102,7595
	47	4,9604	59,0216	-48,4081
	58	5,8142	78,4503	-67,5144
	63	5,6143	50,5937	-39,365
Kolom 5 - Balok 9	19	5,2874	45,6968	-31,0245
	38	6,1784	113,6829	-105,4235
	55	4,9428	58,5294	-48,0369
	74	5,7727	78,6694	-67,7308
	79	5,6283	50,644	-39,3873

Tabel 4.145. Gaya Dalam Momen untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Kolom 5 - Balok 2	7	4,5593	19,7549	-27,1163
	13	36,7188	-53,7473	143,6685
	29	-0,9305	26,0395	-16,0447
	35	-7,3366	-78,086	51,5593
	48	-3,1776	44,0899	-50,4451
Kolom 5 - Balok 3	7	4,5621	19,7415	-27,8967
	13	36,7526	-52,7853	143,5735
	31	-0,9184	26,8585	-16,0285
	37	-7,352	-77,9252	50,5566
	52	-3,1193	44,2028	-50,4413
Kolom 5 - Balok 5	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9016	-56,7724	142,5038
	35	-0,8694	23,5428	-14,8548
	41	-6,951	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
Kolom 5 - Balok 9	7	4,4325	19,546	-23,3549
	13	35,5751	-58,2626	142,0868
	43	-0,8463	22,3244	-14,3816
	49	-6,7999	-78,673	55,4379
	76	-3,2499	44,1443	-50,644

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.146. Gaya Dalam Lintang untuk Balok pada Struktur dengan Variasi

Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
Kolom 5 - Balok 2	19	18,51	18,51	18,51
	24	39,952	39,952	39,952
	41	21,944	21,944	21,944
	46	28,958	28,958	28,958
	51	17,958	17,958	17,958
Kolom 5 - Balok 3	19	20,175	20,175	17,033
	26	41,451	38,309	41,451
	43	21,711	22,116	21,711
	50	29,185	28,781	29,185
	55	17,949	17,949	17,949
Kolom 5 - Balok 5	19	28,975	5,303	1,424
	30	29,693	53,67	57,55
	47	23,766	19,34	18,929
	58	26,912	31,339	31,75
	63	17,992	17,992	17,992
Kolom 5 - Balok 9	19	28,14	-8,443	-14,702
	38	31,025	67,608	73,867
	55	23,545	16,446	16,214
	74	27,048	34,147	34,379
	79	18,006	18,006	18,006

Tabel 4.147. Gaya Dalam Lintang untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi

Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
Kolom 5 - Balok 2	7	6,637	8,974	27,591
	13	-56,979	-33,48	-52,098
	29	2,333	24,642	11,444
	35	-39,257	-31,489	-18,29
	48	23,634	23,634	23,634
Kolom 5 - Balok 3	7	6,629	8,965	28,492
	13	-57,024	-32,507	-52,034
	31	2,181	25,602	11,359
	37	-39,087	-31,483	-17,24
	52	23,661	23,661	23,661
Kolom 5 - Balok 5	7	4,469	8,938	24,598
	13	-56,398	-36,27	-51,929
	35	2,651	21,767	10,043
	41	-40,094	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689	23,689
Kolom 5 - Balok 9	7	4,658	8,927	23,135
	13	-56,154	-37,678	-51,886
	43	4,044	20,361	9,494
	49	-38,66	-33,21	-22,343
	76	23,697	23,697	23,697

- Normal

Tabel 4.148. Gaya Dalam Normal untuk Balok pada Struktur dengan Variasi

Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
Kolom 5 - Balok 2	19	-12,042	-12,042
	24	-7,805	-7,805
	41	-29,659	-29,659
	46	-27,016	-27,016
	51	-61,417	-61,417
Kolom 5 - Balok 3	19	-11,609	-12,67
	26	-8,22	-7,159
	43	-25,405	-35,414
	50	-21,378	-31,388
	55	-61,39	-61,39
Kolom 5 - Balok 5	19	-11,42	-13,263
	30	-8,443	-6,6
	47	-21,638	-39,477
	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
Kolom 5 - Balok 9	19	-11,338	-13,844
	38	-8,54	-6,034
	55	-18,676	-42,367
	74	-14,6	-38,291
	79	-61,354	-61,354

Tabel 4.149. Gaya Dalam Normal untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi

Jumlah *Shear Connector* pada Balok

Jumlah Shear Connector	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
Kolom 5 - Balok 2	7	41,113	41,034
	13	86,288	86,209
	29	29,269	22,733
	35	46,127	39,59
	48	17,958	17,958
Kolom 5 - Balok 3	7	41,591	41,078
	13	86,251	85,738
	31	29,306	22,26
	37	46,586	39,539
	52	17,949	17,949
Kolom 5 - Balok 5	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	28,41	26,42
	41	42,251	40,26
	60	17,992	17,992
Kolom 5 - Balok 9	7	40,486	33,428
	13	94,337	87,28
	43	30,26	27,457
	49	41,142	38,339
	76	18,006	18,006

Gaya-Gaya Dalam yang terjadi akibat perbedaan jumlah *shear connector* pada balok ini memiliki nilai yang sama besar pada setiap modelnya. Karena gaya yang bekerja luar yang bekerja sama besar.

7. Variasi jumlah *shear connector* pada kolom

- Periode Getar dan Partisipasi Rasio Massa

Tabel 4.150. Periode Getar pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

StepType	StepNum	Period (sec)				
		Text	Unitless	K 2 - B 5	K 3 - B 5	K 5 - B 5
Mode	1		0,559687	0,557483	0,554631	0,536854
Mode	2		0,218226	0,217665	0,216568	0,209673
Mode	3		0,120617	0,117846	0,116919	0,112853

Tabel 4.151. Partisipasi Rasio Massa pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	StepType	StepNum	UX	UZ	SumUX	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Kolom 2-Balok 5	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,1	0	0,92	0	0	0,00000419	0,27	0	0,64	0,44
	Mode	3	0,05976	0	0,98	0	5,229E-20	0,0007353	0,02648	5,229E-20	0,64	0,47
Kolom 3-Balok 5	Mode	1	0,82	0	0,82	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,1	0	0,92	0	0	5,083E-06	0,27	0	0,64	0,44
	Mode	3	0,06159	1,159E-19	0,98	1,159E-19	2,207E-19	0,0007529	0,028	2,207E-19	0,64	0,47
Kolom 5-Balok 5	Mode	1	0,81	0	0,81	0	0	0,64	0,17	0	0,64	0,17
	Mode	2	0,11	0	0,92	0	0	0,00002427	0,27	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,05993	0	0,98	0	6,855E-20	0,0007149	0,02662	6,867E-20	0,64	0,47
Kolom 9-Balok 5	Mode	1	0,8	0	0,8	0	0	0,64	0,15	0	0,64	0,15
	Mode	2	0,13	0	0,93	0	0	0,0002824	0,3	0	0,64	0,45
	Mode	3	0,0538	3,105E-20	0,98	3,106E-20	5,084E-20	0,0006105	0,02283	5,084E-20	0,64	0,47

Berdasarkan tabel di atas maka adanya variasi penambahan jumlah *shear connector* pada kolom bangunan mempengaruhi periode natural bangunan tersebut. Semakin banyak jumlah *shear connector* yang ditambahkan, maka semakin kecil periode natural yang terjadi. Namun penurunan besar periode natural ini hanya berkisar 0,001-0,018 milimeter. Hal ini berarti penambahan jumlah *shear connector* pada kolom mempengaruhi kekakuan struktur bangunan meski dengan nilai yang cukup kecil.

- Reaksi Perletakan

Sama seperti pada variasi jumlah *shear connector* di balok, maka pada variasi jumlah *shear connector* di kolom juga tidak ada perbedaan reaksi

perletakan diantara modelnya. Karena beban yang bekerja sama besar dan *shear connector* memiliki massa yang dapat diabaikan

Tabel 4.152. Reaksi Perletakan pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Joint	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
Kolom 2-Balok 5	1	-10,278	0	-37,023	0	-22,6503	0
	2	-12,347	0	0,179	0	-25,1857	0
	3	-10,215	0	36,876	0	-22,5106	0
	4	-50,596	-2,37E-13	-90,188	-4,172E-16	-140,9029	2,067E-13
	5	-65,332	9,068E-16	0,345	1,596E-18	-159,6703	2,343E-13
	6	-50,243	2,36E-13	89,811	4,154E-16	-139,9411	2,052E-13
Kolom 3-Balok 5	1	-5,771	0	-39,52	0	-17,8189	0
	2	-7,801	0	0,174	0	-20,363	0
	3	-5,717	0	39,357	0	-17,6891	0
	4	-55,111	-2,308E-13	-87,849	-4,064E-16	-145,2247	2,13E-13
	5	-69,866	9,327E-16	0,355	1,642E-18	-163,9651	2,406E-13
	6	-54,745	2,299E-13	87,483	4,047E-16	-144,2477	2,116E-13
Kolom 5-Balok 5	1	-8,938	0	-40,798	0	-19,6009	0
	2	-11,405	0	0,172	0	-22,3969	0
	3	-8,876	0	40,628	0	-19,4667	0
	4	-51,929	-2,282E-13	-86,846	-4,017E-16	-142,5038	2,09E-13
	5	-66,294	9,445E-16	0,359	1,663E-18	-161,0698	2,363E-13
	6	-51,568	2,272E-13	86,484	4E-16	-141,5286	2,076E-13
Kolom 9-Balok 5	1	-10,784	0	-41,133	0	-20,0474	0
	2	-13,777	0	0,172	0	-22,9965	0
	3	-10,709	0	40,962	0	-19,9096	0
	4	-50,066	-2,277E-13	-86,674	-4,009E-16	-141,4894	2,075E-13
	5	-63,958	9,483E-16	0,361	1,669E-18	-159,9818	2,347E-13
	6	-49,717	2,268E-13	86,313	3,992E-16	-140,5186	2,061E-13

- Simpangan

Tabel 4.153. Simpangan pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Kolom 2-Balok 5		Kolom 3-Balok 5		Kolom 5-Balok 5		Kolom 9-Balok 5	
Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1	Joint	U1
Text	mm	Text	mm	Text	mm	Text	mm
13	5,279	19	5,247	31	5,186	55	5,15
22	5,276	28	5,245	40	5,184	64	5,148
31	11,785	43	11,74	67	11,586	115	11,497
40	11,773	52	11,727	76	11,576	124	11,49
47	11,711	61	17,373	85	17,249	133	17,172

Adanya variasi jumlah *shear connector* yang ditambahkan pada kolom, maka akan semakin memperkecil simpangan yang terjadi. Tetapi penurunan simpangannya cukup kecil yaitu sekitar 0,03-0,06 milimeter. Artinya semakin banyak jumlah *shear connector* yang ditambahkan, maka semakin bertambah pula kekakuan struktur, tetapi dengan penambahan kekakuan yang tidak terlalu signifikan

- Gaya Geser Dasar

Tabel 4.154. Gaya Geser Dasar pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Faktor Respon Gempa (C)	Gaya Geser Dasar (V)
Kolom 2 - Balok 5	0,75	199,011
Kolom 3 - Balok 5	0,75	199,011
Kolom 5 - Balok 5	0,75	199,011
Kolom 9 - Balok 5	0,75	199,011

Gaya geser dasar pada model ini adalah sebesar 199,011 seperti dengan model-model lainnya yang strukturnya dimodelkan tiga lantai. Tidak ada pengaruh penambahan jumlah *shear connector* pada kolom untuk nilai gaya geser dasar disini.

- Gaya-Gaya Dalam
 - Momen (M 3-3)

Tabel 4.155. Gaya Dalam Momen untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Kolom 2 - Balok 5	10	5,0714	33,9415	-23,6321
	21	5,8749	122,4279	-110,8447
	29	5,0109	59,6889	-48,459
	40	5,8878	78,7809	-68,2134
	45	5,5914	50,6237	-39,4409
Kolom 3 - Balok 5	13	5,1829	39,8329	-27,0976
	24	6,0779	117,8387	-108,0544
	35	4,9932	56,8664	-46,753
	46	5,8357	81,1149	-69,5729
	51	5,6055	50,4616	-39,2505
Kolom 5 - Balok 5	19	5,3056	48,154	-33,0752
	30	6,2934	110,8787	-102,7595
	47	4,9592	59,0216	-48,4081
	58	5,8142	78,4503	-67,5144
	63	5,6143	50,5937	-39,365
Kolom 9 - Balok 5	31	5,359	52,8959	-36,9688
	42	6,3829	106,9199	-99,3632
	71	4,9367	59,917	-49,2406
	82	5,7897	77,2224	-66,4461
	87	5,6265	50,6567	-39,4037

Tabel 4.156. Gaya Dalam Momen untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KNm	KNm	KNm
Kolom 2 - Balok 5	4	2,8198	22,6503	-17,0072
	7	38,9858	-62,9348	140,9029
	23	0,5847	16,9057	-15,7363
	26	-9,6316	-78,7849	59,5217
	42	-3,3376	43,9486	-50,6237
Kolom 3 - Balok 5	4	7,3119	17,8189	-20,3996
	10	33,9766	-60,0845	145,2247
	26	-2,8361	19,4085	-12,4913
	32	-5,3762	-81,1207	57,779
	48	-3,0462	44,3693	-50,4616
Kolom 5 - Balok 5	7	4,4686	19,6009	-24,5919
	13	35,9016	-56,7724	142,5038
	35	-0,8682	23,5428	-14,8548
	41	-6,951	-78,4544	54,1256
	60	-3,2155	44,1627	-50,5937
Kolom 9 - Balok 5	13	4,4558	20,0474	-27,1158
	19	35,3785	-54,7483	141,4894
	53	-0,8517	25,764	-15,7929
	59	-6,6805	-77,2258	52,1877
	84	-3,268	44,1207	-50,6567

- Lintang (V 2-2)

Tabel 4.157. Gaya Dalam Lintang untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
Kolom 2 - Balok 5	10	29,586	-6,199	-6,625
	21	28,583	64,368	64,794
	29	23,943	19,68	18,834
	40	27,086	31,349	32,195
	45	18,013	18,013	18,013
Kolom 3 - Balok 5	13	29,518	-1,487	-3,695
	24	29,358	60,052	62,26
	35	23,988	17,358	17,41
	46	26,719	33,504	33,452
	51	17,942	17,942	17,942
Kolom 5 - Balok 5	19	28,975	5,303	1,424
	30	29,998	53,67	57,55
	47	23,91	19,34	18,929
	58	26,912	31,339	31,75
	63	17,992	17,992	17,992
Kolom 9 - Balok 5	31	28,843	9,186	4,731
	42	30,386	50,043	54,499
	71	23,764	20,221	19,697
	82	26,801	30,344	30,869
	87	18,012	18,012	18,012

Tabel 4.158. Gaya Dalam Lintang untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	Lapangan	Tumpuan Kiri	Tumpuan Kanan
	Text	KN	KN	KN
Kolom 2 - Balok 5	4	9,914	10,278	9,914
	7	-50,96	-50,96	-50,596
	23	8,161	8,161	8,161
	26	-34,577	-34,577	-34,577
	42	23,643	23,643	23,643
Kolom 3 - Balok 5	4	13,856	5,771	13,856
	10	-55,627	-47,026	-55,111
	26	11,122	11,122	4,832
	32	-31,578	-37,868	-31,578
	48	23,708	23,708	23,708
Kolom 5 - Balok 5	7	4,469	8,938	24,598
	13	-56,398	-36,27	-51,929
	35	3,947	21,767	10,043
	41	-40,094	-32,702	-20,978
	60	23,689	23,689	23,689
Kolom 9 - Balok 5	13	6,706	10,784	39,681
	19	-54,577	-21,169	-50,066
	53	4,579	35,697	15,204
	59	-38,468	-27,539	-7,045
	84	23,694	23,694	23,694

- Normal

Tabel 4.159. Gaya Dalam Normal untuk Balok pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
Kolom 2 - Balok 5	10	-11,263	-13,645
	21	-6,205	-8,586
	29	-20,656	-40,091
	40	-16,789	-36,224
	45	-61,408	-61,408
Kolom 3 - Balok 5	13	-11,541	-13,284
	24	-6,52	-8,263
	35	-19,865	-41,329
	46	-15,653	-37,117
Kolom 5 - Balok 5	51	-61,343	-61,343
	19	-11,42	-13,263
	30	-6,6	-8,443
	47	-21,638	-39,477
Kolom 9 - Balok 5	58	-17,441	-35,28
	63	-61,362	-61,362
	31	-11,465	-12,851
Kolom 9 - Balok 5	42	-7,027	-8,413
	71	-23,787	-37,693
	82	-19,233	-33,139
	87	-61,357	-61,357

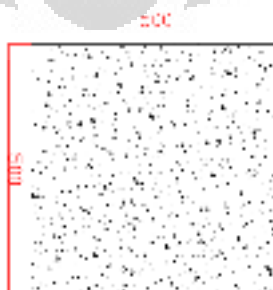
Tabel 4.160. Gaya Dalam Normal untuk Kolom pada Struktur dengan Variasi Jumlah *Shear Connector* pada Kolom

Jumlah Shear Connector	Frame	P (kN)	
	Text	Max	Min
Kolom 2 - Balok 5	4	37,023	36,987
	7	90,223	90,188
	23	28,731	28,731
	26	40,31	40,31
	42	18,013	18,013
Kolom 3 - Balok 5	4	39,52	36,735
	10	90,634	87,849
	26	27,675	27,067
	32	41,737	41,129
	48	17,942	17,942
Kolom 5 - Balok 5	7	40,798	37,367
	13	90,277	86,846
	35	28,41	26,42
	41	42,251	40,26
	60	17,992	17,992
Kolom 9 - Balok 5	13	41,133	37,851
	19	89,956	86,674
	53	30,463	25,553
	59	43,025	38,114
	84	18,012	18,012

Seperti pada model variasi jumlah *shear connector* yang digunakan pada balok, maka pada variasi ini gaya-gaya dalam yang terjadi memiliki nilai yang sama besar pada setiap modelnya. Karena gaya yang bekerja luar yang bekerja sama besar.

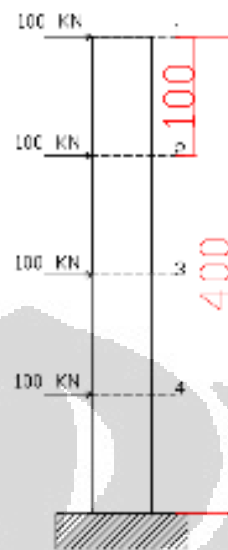
4.4 Hasil dan Analisis Pemodelan Struktur Bagian Kedua

Parameter yang digunakan untuk mengetahui efek dari *shear connector* yang digunakan adalah kondisi monolit dari kolom tunggal tersebut. Oleh karena itu, nanti penulis akan membandingkan antara pemodelan bagian kedua ini dengan kondisi monolitnya.



Gambar 4.9. Penampang Kolom Monolit

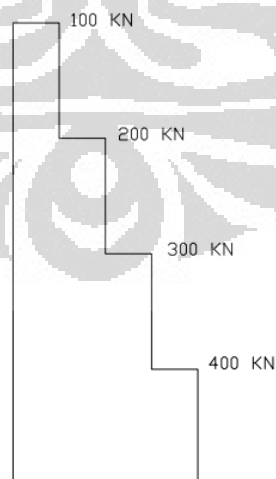
Kolom monolit berukuran 500 milimeter x 500 milimeter. Tinggi kolom adalah 4 meter. Perletakan yang digunakan adalah jepit.



Gambar 4.10. Pembebanan pada Kolom Tunggal Monolit dengan Beban yang Sama Seperti Model Bagian Kedua

Seperti pada model bagian kedua, maka pembebanan struktur monolit juga dibebankan dengan beban lateral sebesar 100 KN yang diberikan pada setiap ketinggian 1 meter dari dasar kolom.

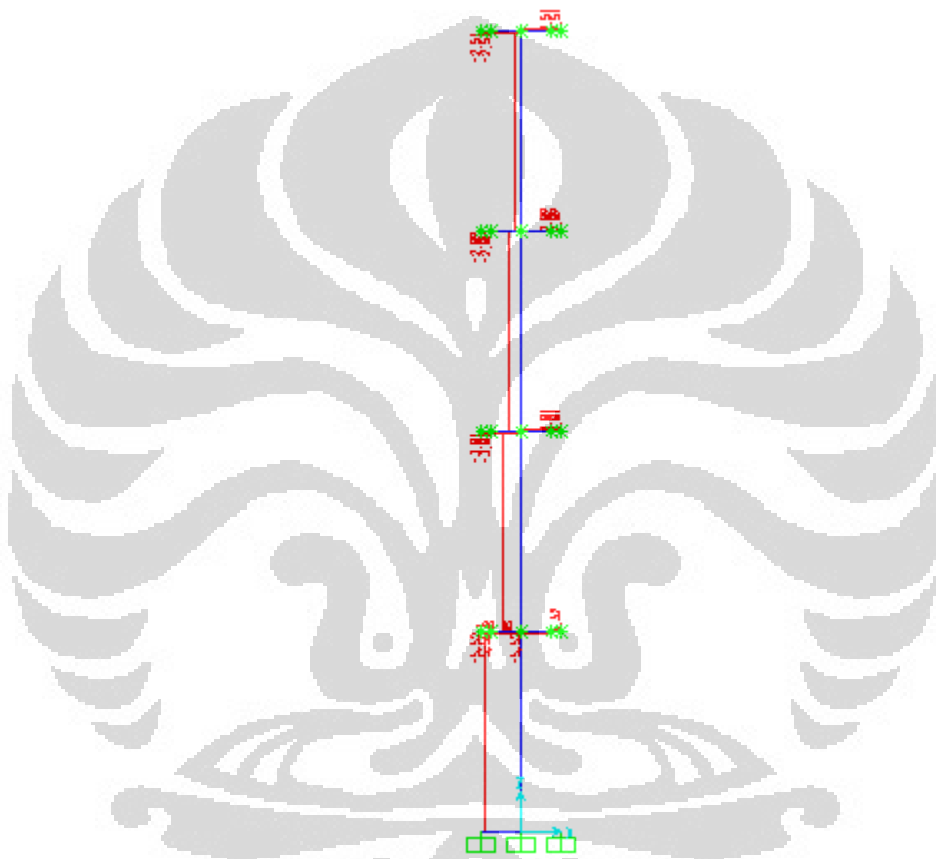
Dengan pembebanan seperti di atas, maka didapatkan gaya geser pada setiap ketinggian 1 meter seperti yang terlihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Gaya Geser yang Terjadi Akibat Pembebanan Lateral pada Kolom Monolit

Semakin kebawah maka gaya geser yang terjadi semakin besar, hal ini karena gaya gesernya mengalami akumulasi dari bagian atas kolom ke bagian bawah kolom.

Hal yang sama juga terjadi pada kolom hasil pemodelan dengan SAP2000 v.10. Semakin ke bawah gaya gesernya semakin besar akibat kumulasi gaya geser di atas nya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Gaya Geser yang Terjadi Akibat Pembebanan Lateral Pada Kolom Eksisting Pemodelan Bagian Kedua

Selanjutnya untuk melihat efek dari *shear connector* dan *concrete jacketing* maka akan dianalisis lebih jauh pada setiap potongannya seperti berikut ini :

Tegangan geser pada potongan 1

Rumus tegangan geser :

$$\tau_D = \frac{D \cdot S}{b \cdot I}$$

Dimana :

τ_D = tegangan geser akibat D

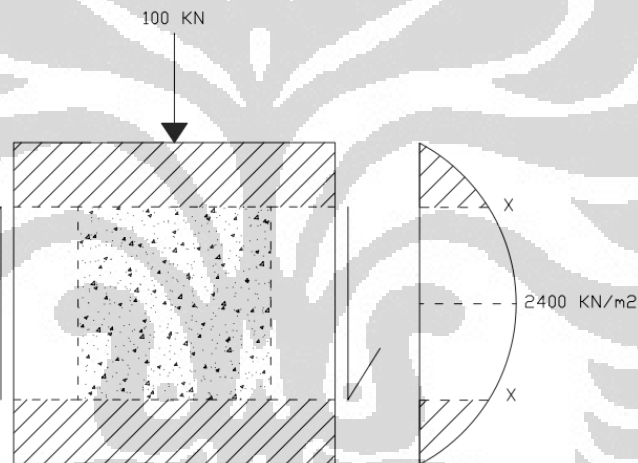
D = gaya dalam geser yang terjadi = 100 KN

S = Statis momen di titik yang ditinjau = $(0,5 \times 0,5 \times 0,25) = 0,0625 \text{ m}^3$

b = lebar penampang di titik yang ditinjau = 0,5 m

I = momen inersia (terhadap garis netral x) = $5,21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

$$\tau_D = 2400 \text{ KN/m}^2$$



Gambar 4.13. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 1

Untuk melihat efek dari *shear connector*, maka langkah selanjutnya adalah mencari gaya geser yang terjadi pada kolom di potongan 1 dari diagram tegangan geser seperti yang terlihat pada Gambar 4.13. untuk dibandingkan dengan hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10.

Pertama penulis meninjau perbandingan gaya geser pada daerah yang diarsir. Cukup ditinjau satu daerah arsiran saja, karena kedua arsiran memiliki luas daerah yang sama.

Luas satu daerah yang diarsir adalah :

$$\int_0^{0,1} -38400 x^2 + 19200 x dx = 83,2$$

Sehingga gaya geser yang terjadi pada satu daerah arsiran adalah $83,2 \times 0,5 = 41,6$ KN.

Sedangkan hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada *shear connector* pada daerah arsiran tersebut di potongan 1 adalah sebagai berikut :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
2	0	COMB1	Combination	2,51
2	0,05	COMB1	Combination	2,51

Hasil pemodelan memperlihatkan bahwa gaya geser dari *shear connector* pada daerah yang diarsir tersebut 2,51 KN sedangkan gaya geser yang terjadi adalah 41,6 KN. Jika dipersentasekan, maka *shear connector* mampu menahan sebesar 6,03% dari gaya geser yang terjadi pada daerah arsiran tersebut.

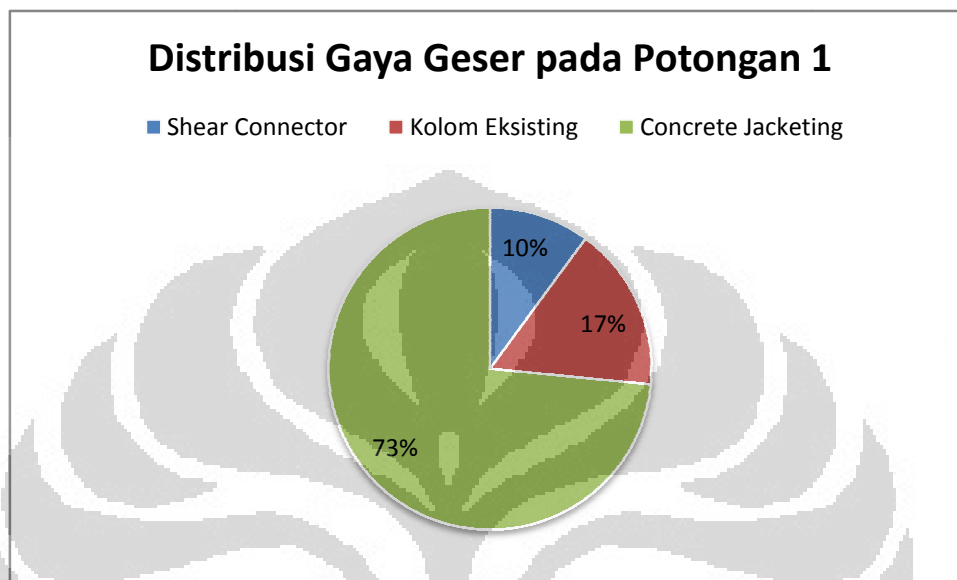
Selanjutnya penulis akan meninjau efek dari *shear connector* terhadap keseluruhan kolom pada potongan 1. Berdasarkan hasil dari kolom monolitnya gaya geser yang terjadi pada potongan 1 adalah sebesar 100 KN. Sementara hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada elemen batang pada kolom (*shear connector* dan kolom eksisting) di potongan 1 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.161. Gaya geser pada *shear connector* di potongan 1

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
1	4	COMB1	Combination	-16,53
2	0	COMB1	Combination	2,51
5	0	COMB1	Combination	-2,51
6	0	COMB1	Combination	-2,51
8	0	COMB1	Combination	2,51
3	0	COMB1	Combination	-1,013E-12
4	0	COMB1	Combination	-1,081E-12
7	0	COMB1	Combination	-1,013E-12
9	0	COMB1	Combination	-1,081E-12
Total gaya geser pada elemen batang				26,57

Dari hasil ini dapat dilihat bahwa nilai gaya geser pada *shear connector* dan kolom eksisting adalah 26,57 KN. Dengan demikian gaya geser yang

ditanggung oleh *concrete jacketing* sebagai elemen shell adalah selisih antara total gaya geser pada potongan 1 dengan total gaya geser pada *shear connector* dan kolom eksisting, yaitu sebesar 73,43 KN. Sehingga persentase distribusi gaya geser pada masing-masing elemen di potongan 1 dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Grafik Persentase Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 1

Dari grafik terlihat bahwa *shear connector* memberikan 10% untuk menahan gaya gesernya. Mengalami peningkatan dibanding pada daerah yang diarsir tadi, karena adanya kontribusi juga dari *shear connector* yang berada tegak lurus terhadap beban lateral. Namun nilai gaya geser yang mampu ditahan *shear connector* tetap jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya geser pada struktur monolitnya. Hal ini menunjukkan bahwa *shear connector* termasuk kedalam partial *shear connector* karena kontribusi dalam menahan gaya geser yang terjadi cukup kecil.

Tegangan geser pada potongan 2

Rumus tegangan geser :

$$\tau_D = \frac{D.S}{b.l}$$

Dimana :

τ_D = tegangan geser akibat D

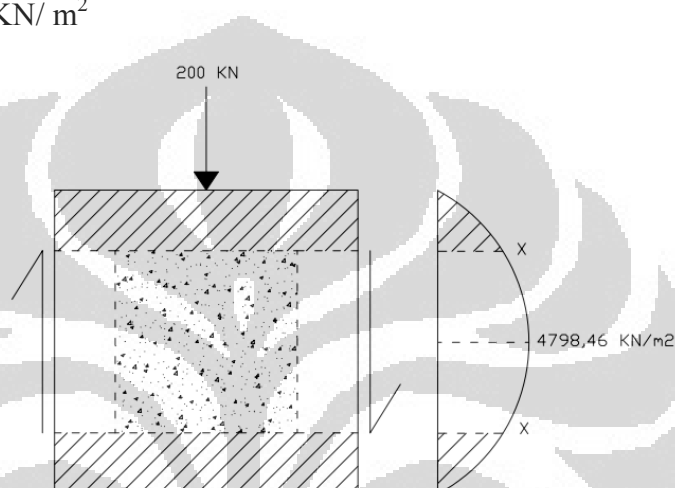
D = gaya dalam geser yang terjadi = 200 KN

S = Statis momen di titik yang ditinjau = $(0,5 \times 0,5 \times 0,25) = 0,0625 \text{ m}^3$

b = lebar penampang di titik yang ditinjau = 0,5 m

I = momen inersia (terhadap garis netral x) = $5,21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

$$\tau_D = 4798,46 \text{ KN/m}^2$$



Gambar 4.15. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 2

Sama seperti langkah sebelumnya pada potongan 1, yang ditinjau pertama adalah perbandingan antara gaya geser pada kolom monolit dengan gaya geser pada *shear connector* untuk di daerah yang diarsir seperti pada tampak pada Gambar 4.15.

Luas 1 daerah yang diarsir adalah :

$$\int_0^{0,5} -76775,36 x^2 + 38387,68 x dx = 166,35$$

Sehingga gaya geser yang terjadi pada 1 daerah arsiran adalah $166,35 \times 0,5 = 83,17 \text{ KN}$

Sedangkan hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada *shear connector* pada daerah arsiran di potongan 2 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.162. Gaya geser pada *shear connector* di potongan 2

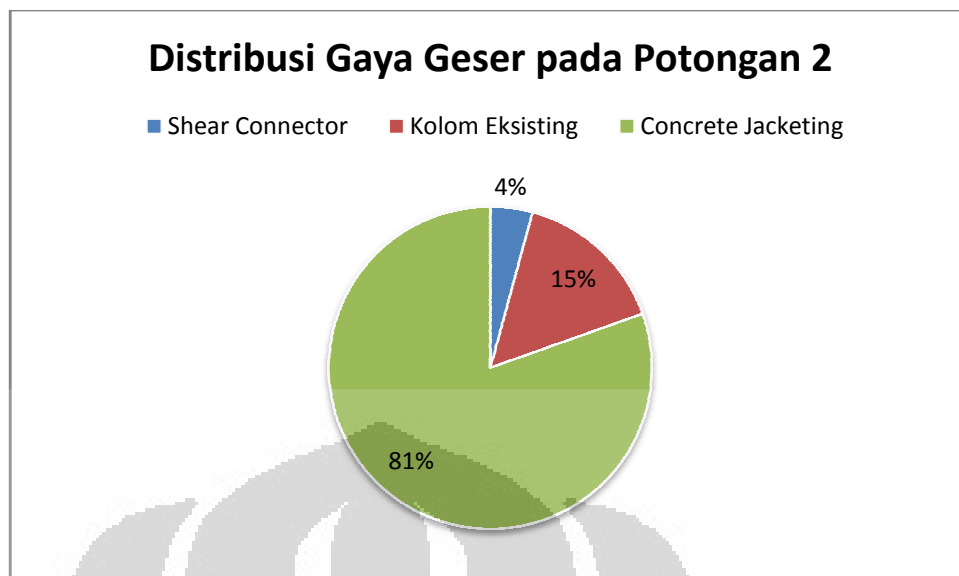
TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
15	0	COMB1	Combination	-2,1
15	0,05	COMB1	Combination	-2,1

Hasilnya memperlihatkan bahwa gaya geser dari *shear connector* pada daerah yang diarsir tersebut 2,1 KN sedangkan gaya geser yang terjadi adalah 83,17 KN atau sebesar 2,53% dari gaya geser yang terjadi pada daerah arsiran tersebut.

Selanjutnya ditinjau efek dari *shear connector* terhadap keseluruhan kolom pada potongan 2. Berdasarkan hasil dari kolom monolitnya gaya geser yang terjadi pada potongan 2 adalah sebesar 200 KN. Sementara hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada elemen batang pada kolom (*shear connector* dan kolom eksisting) di potongan 1 adalah sebagai berikut :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
1	1	COMB1	Combination	-30,726
10	0	COMB1	Combination	2,095
13	0	COMB1	Combination	-2,095
15	0	COMB1	Combination	-2,095
17	0	COMB1	Combination	2,095
16	0	COMB1	Combination	-1,331E-12
12	0	COMB1	Combination	-1,331E-12
11	0	COMB1	Combination	1,084E-12
14	0	COMB1	Combination	-1,084E-12
Total gaya geser pada elemen batang				39,106

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai gaya geser pada *shear connector* dan kolom eksisting adalah 30,726 KN. Dengan demikian gaya geser yang ditanggung oleh *concrete jacketing* sebagai elemen shell adalah sebesar 160,894 KN yang merupakan selisih antara total gaya geser keseluruhan dengan total gaya geser pada elemen batang. Sehingga persentase distribusi gaya geser pada masing-masing elemen di potongan 2 dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 4.16. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 2

Dari grafik terlihat bahwa *shear connector* memberikan 4% untuk menahan gaya gesernya. Hal ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi pada struktur monolitnya. Sehingga menunjukkan bahwa *shear connector* termasuk kedalam *partial shear connector* karena kontribusi dalam menahan gaya geser yang terjadi cukup kecil.

Tegangan geser pada potongan 3

Rumus tegangan geser :

$$\tau_D = \frac{D.S}{b.I}$$

Dimana :

τ_D = tegangan geser akibat D

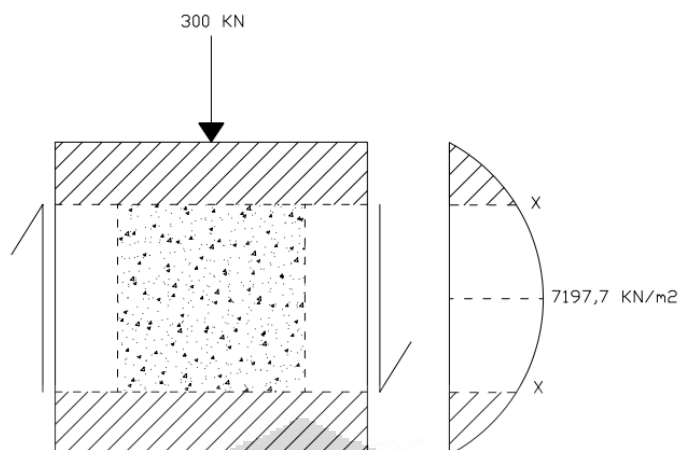
D = gaya dalam geser yang terjadi = 300 KN

S = Statis momen di titik yang ditinjau = $(0,5 \times 0,5 \times 0,25) = 0,0625 \text{ m}^3$

b = lebar penampang di titik yang ditinjau = 0,5 m

I = momen inersia (terhadap garis netral x) = $5,21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

$$\tau_D = 7197,7 \text{ KN/ m}^2$$



Gambar 4.17. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 3

Selanjutnya adalah mencari gaya geser yang terjadi pada bagian yang diarsir dari diagram tegangan geser seperti yang terlihat pada Gambar 4.16. Cukup dilihat satu daerah arsiran saja, karena kedua arsiran memiliki luas daerah yang sama.

Luas 1 daerah yang diarsir adalah :

$$\int_0^{0,1} -115163,2 x^2 + 57581,6 x dx = 249,52$$

Sehingga gaya geser yang terjadi pada 1 daerah arsiran adalah $166,35 \times 0,5 = 124,76$ KN

Sedangkan hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada *shear connector* pada daerah arsiran tersebut di potongan 3 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.163. Gaya geser pada *shear connector* di potongan 3

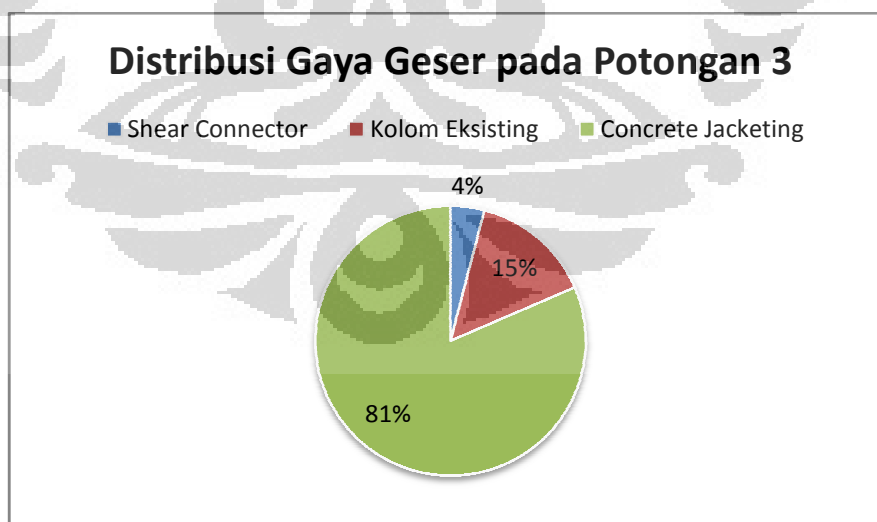
TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
20	0	COMB1	Combination	-3,014
20	0,05	COMB1	Combination	-3,014

Dari tabel dapat kita bandingkan bahwa *shear connector* mampu menahan hanya 3,014 KN dari 124,76 gaya geser yang terjadi pada struktur monolitnya atau sebesar 2,42% saja.

Kemudian akan dilihat pengaruh *shear connector* terhadap satu kolom pada potongan 3. Berdasarkan pemodelan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000 v.10 maka didapatkan hasil sbagai berikut :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
1	2	COMB1	Combination	-43,516
18	0	COMB1	Combination	3,014
20	0	COMB1	Combination	-3,014
22	0	COMB1	Combination	3,014
24	0	COMB1	Combination	-3,014
19	0	COMB1	Combination	-1,252E-12
21	0	COMB1	Combination	-1,252E-12
23	0	COMB1	Combination	-1,252E-12
25	0	COMB1	Combination	-1,252E-12
Total gaya geser pada elemen batang				55,572

Total gaya geser dari elemen batang (*shear connector* dan kolom eksisting) berdasarkan tabel di atas adalah 55,572 KN. Dengan total gaya geser yang terjadi sebesar 300 KN pada kondisi monolitnya, berarti gaya geser yang terjadi pada elemen shell (*concrete jacketing*) adalah sebesar 244,428 KN berdasarkan hasil selisihnya. Maka jika dibuat persentase distribusi masing-masing elemen dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.18. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 3

Dari grafik terlihat bahwa *shear connector* memberikan 4% untuk menahan gaya gesernya. Hal ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi pada struktur monolitnya. Sehingga menunjukkan bahwa *shear connector* termasuk kedalam *partial shear connector* karena kontribusi dalam menahan gaya geser yang terjadi cukup kecil.

Tegangan geser pada potongan 4

Rumus tegangan geser :

$$\tau_D = \frac{D.S}{b.I}$$

Dimana :

τ_D = tegangan geser akibat D

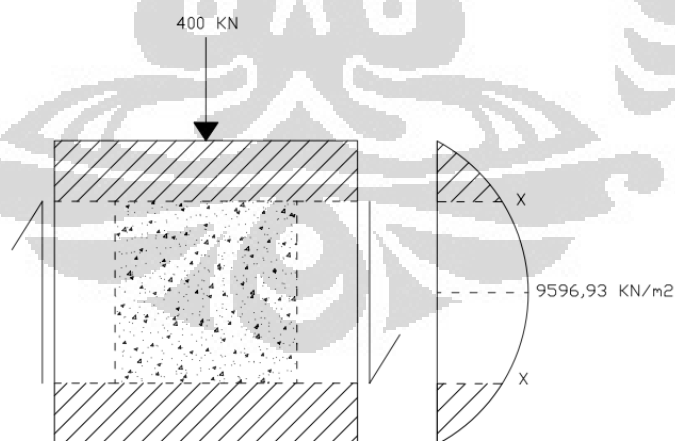
D = gaya dalam geser yang terjadi = 400 KN

S = Statis momen di titik yang ditinjau = $(0,5 \times 0,5 \times 0,25) = 0,0625 \text{ m}^3$

b = lebar penampang di titik yang ditinjau = 0,5 m

I = momen inersia (terhadap garis netral x) = $5,21 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

$$\tau_D = 9596,93 \text{ KN/m}^2$$



Gambar 4.19. Tegangan Geser yang Terjadi pada Potongan 4

Sama seperti langkah sebelumnya pada setiap potongan, maka selanjutnya adalah mencari gaya geser yang terjadi pada bagian yang diarsir

dari diagram tegangan geser seperti yang terlihat pada Gambar 4.17. Tinjau satu daerah arsiran saja, karena kedua arsiran memiliki luas daerah yang sama.

Luas 1 daerah yang diarsir adalah :

$$\int_0^{0,1} -153550,88 x^2 + 76775,44 x dx = 332,7$$

Sehingga gaya geser yang terjadi pada 1 daerah arsiran adalah $166,35 \times 0,5 = 166,35$ KN

Sedangkan hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada *shear connector* pada daerah arsiran tersebut di potongan 4 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.164. Gaya geser pada *shear connector* di potongan 4

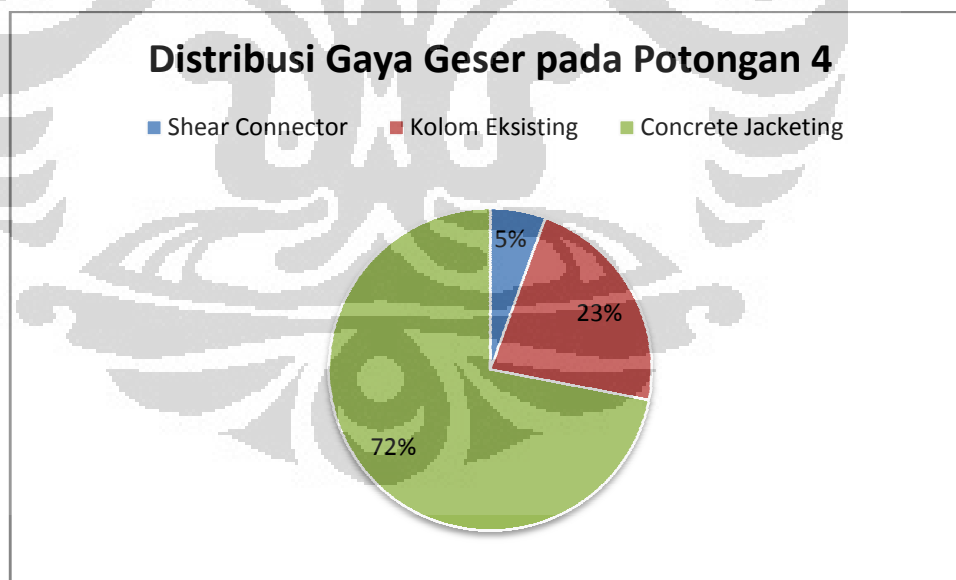
TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
33	0	COMB1	Combination	-5,523
33	0,05	COMB1	Combination	-5,523

Berdasarkan tabel maka persentase gaya geser yang terjadi pada *shear connector* pada daerah arsiran di potongan 4 adalah sebesar 3,32%.

Selanjutnya akan dininjau efek dari *shear connector* terhadap keseluruhan kolom pada potongan 4. Berdasarkan hasil dari kolom monolitnya gaya geser yang terjadi pada potongan 4 adalah sebesar 400 KN. Sementara hasil dari pemodelan pada SAP2000 v.10 untuk gaya geser yang terjadi pada elemen batang pada kolom (*shear connector* dan kolom eksisting) di potongan 4 adalah sebagai berikut :

TABLE: Element Forces - Frames				
Frame	Station	OutputCase	CaseType	V2
Text	m	Text	Text	KN
1	3	COMB1	Combination	-90,1
28	0	COMB1	Combination	-5,523
29	0	COMB1	Combination	-5,523
31	0	COMB1	Combination	5,523
33	0	COMB1	Combination	-5,523
26	0	COMB1	Combination	6,112E-13
27	0	COMB1	Combination	-6,433E-13
30	0	COMB1	Combination	-6,112E-13
32	0	COMB1	Combination	-6,433E-13
Total gaya geser pada elemen batang				112,192

Total gaya geser dari elemen batang (*shear connector* dan kolom eksisting) berdasarkan tabel di atas adalah 112,192 KN. Dengan total gaya geser yang terjadi sebesar 400 KN pada kondisi monolitnya, berarti gaya geser yang terjadi pada elemen shell (*concrete jacketing*) adalah sebesar 287,808 KN berdasarkan hasil selisihnya. Maka jika dibuat persentase distribusi masing-masing elemen dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.

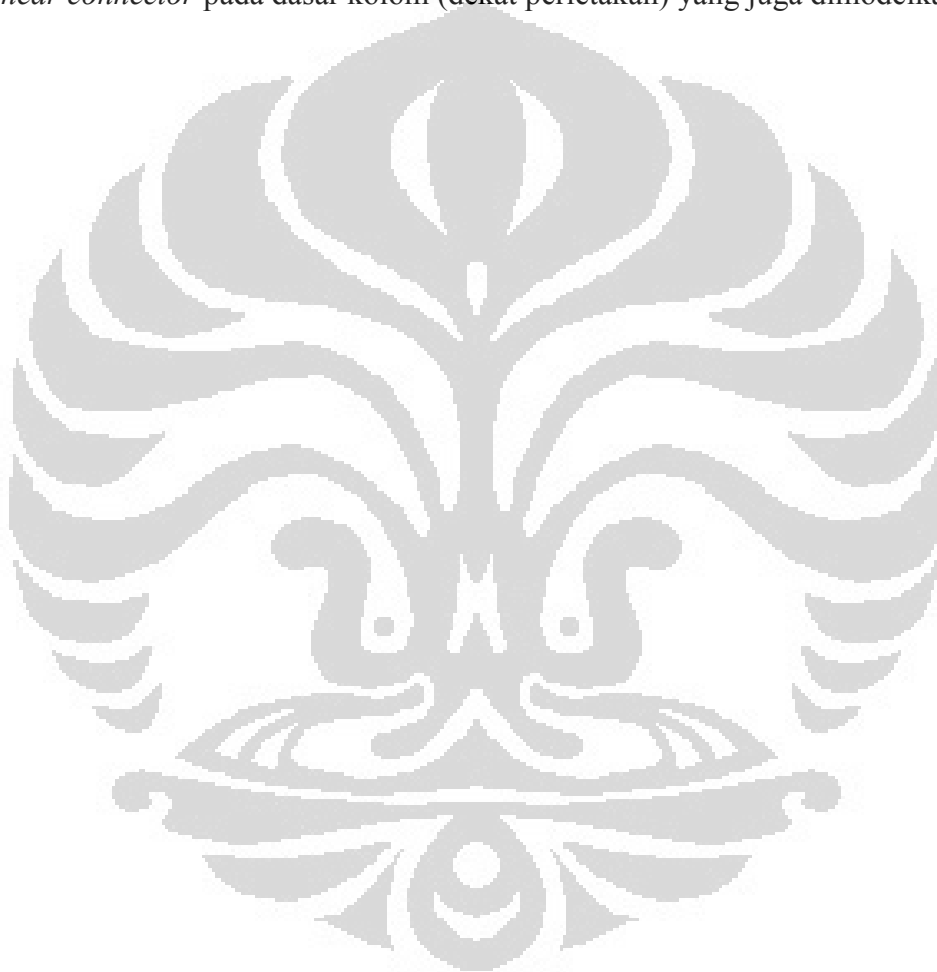


Gambar 4.20. Grafik Persentasi Distribusi Gaya Geser pada Masing-Masing Elemen di Potongan 4

Dari grafik terlihat bahwa *shear connector* memberikan 5% untuk menahan gaya gesernya. Hal ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi pada struktur monolitnya. Sehingga menunjukkan bahwa *shear*

connector termasuk kedalam partial *shear connector* karena kontribusi dalam menahan gaya geser yang terjadi cukup kecil.

Dari semua potongan yang telah ditinjau, dapat dilihat bahwa gaya geser yang diterima *shear connector* dari bagian atas ke bagian bawah kolom semakin mengecil. Hal ini terjadi karena gaya geser yang terjadi pada kolom semakin membesar. Pada potongan 1 sebesar 10%, potongan 2 dan potongan 3 sebesar 4%, dan potongan 4 sebesar 5%. Pada potongan 4 terjadi peningkatan karena adanya *shear connector* pada dasar kolom (dekat perletakan) yang juga dimodelkan.

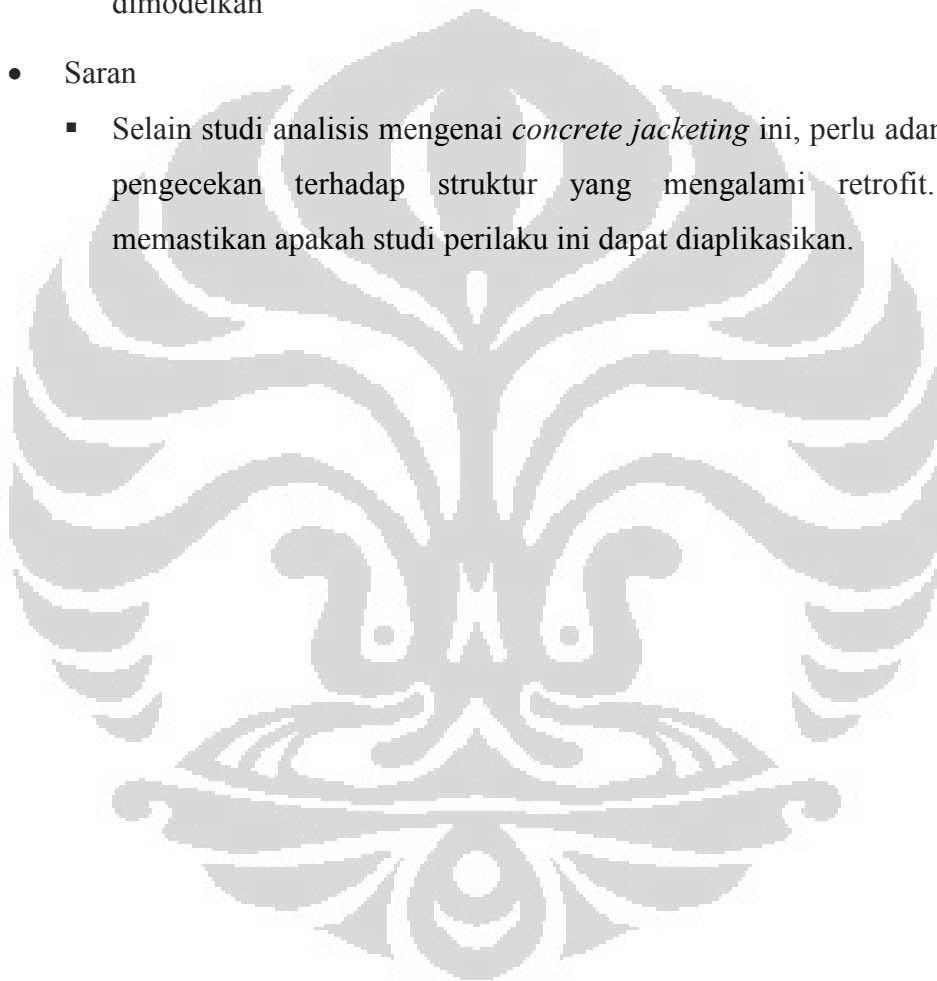


BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

- Kesimpulan
 - Pada variasi jumlah *shear connector*, semakin banyak *shear connector* yang digunakan maka struktur lama dan baru akan semakin bersatu. Dengan bersatunya struktur ini, maka kondisinya semakin kaku. Semakin bertambah kekakuan, maka kekuatan struktur pun bertambah. Dengan demikian semakin banyak *shear connector* maka periode natural semakin kecil dan simpangan juga semakin kecil.
 - Pada variasi diameter *shear connector*, semakin besar diameter *shear connector* maka struktur juga semakin bersatu sehingga akan menambah kekakuan dan kekuatannya. Maka periode natural dan simpangan akan semakin kecil.
 - Pada variasi mutu beton, semakin tinggi mutu beton, maka periode natural struktur semakin kecil. Hal ini karena semakin besar mutu beton yang digunakan maka struktur semakin kaku. Kekakuan struktur bertambah maka kekuatan struktur juga bertambah. Hal ini menyebabkan periode natural struktur semakin kecil. Demikian pula halnya dengan simpangan struktur, semakin besar mutu beton yang digunakan semakin kecil pula simpangannya.
 - Pada variasi penambahan jumlah tingkat, semakin tinggi tingkat yang ditambahkan, maka semakin besar massa bangunannya sehingga periode natural semakin besar dan simpangan juga menunjukkan angka yang semakin besar. Gaya geser dasar juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya tingkat.
 - Untuk reaksi perletakan dan gaya dalam, pada variasi pemodelan pertama ini telah sesuai dengan struktur monolitnya.
 - *Shear connector* bersifat parsial, hal ini karena hanya mampu menerima gaya geser sekitar 4-10% dari total gaya geser yang terjadi

- Dari semua potongan yang telah ditinjau pada pemodelan bagian kedua, dapat dilihat bahwa gaya geser yang diterima *shear connector* dari bagian atas ke bagian bawah kolom semakin mengecil. Hal ini terjadi karena gaya geser yang terjadi pada kolom semakin membesar. Pada potongan 1 sebesar 10%, potongan 2 dan potongan 3 sebesar 4%, dan potongan 4 sebesar 5%. Pada potongan 4 terjadi peningkatan karena adanya *shear connector* pada dasar kolom (dekat perletakan) yang juga dimodelkan
- Saran
 - Selain studi analisis mengenai *concrete jacketing* ini, perlu adanya studi pengecekan terhadap struktur yang mengalami retrofit. Untuk memastikan apakah studi perilaku ini dapat diaplikasikan.



DAFTAR PUSTAKA

- Standar SNI 03-1726-1989, "Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah Dan Gedung", Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1987
- Standar SNI 03-1726-2002, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung", Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2001
- Applied Technology Council (ATC), "NEHRP Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings (FEMA 273)", Building Seismic Safety Council, Washington, D.C, 1997
- Chopra, Anil. K., "Dynamic of Structure Theory And Applications To Earthquake Engineering", Prentice Hall Inc., New Jersey, 1995
- Proyeksi penduduk 2000-2025. (n.d). 23 Mei 2011. <http://www.datastatistik-indonesia.com/proyeksi/index.php>
- Tavio, Purwono, R., Rosyidah, A. (2009, Januari). Peningkatan daya dukung dan daktilitas beton bertulang dengan menggunakan perkuatan crfp (carbon fiber reinforced polymer). *Dinamika teknik sipil*, 9-18)
- Miller, Eric Andrew. (2006). Experimental research of reinforced concrete column retrofit methods. Thesis. The Ohio State University.
- Nasersaeed, Hamidreza. (2011). Evaluation of behavior and seismic retrofitting of RC structures by concrete *jacket*. *Asian journal of applied sciences*, 4, 211-228
- Vandoros, Konstantinos G., Dritsos, Stephanos,. (2006). Concrete *jacket* construction detail effectiveness when strengthening RC columns. *Journal of Construction and Buiding Materials*, 22, 264-276.

LAMPIRAN

Table: Element Forces - Frames, Part 1 of 2 (Pemodelan 2)

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m
1	0,0000	COMB1	Combination	-1,635E-11	-16,530	0,000	0,0000	0,0000
1	1,0000	COMB1	Combination	-1,635E-11	-16,530	0,000	0,0000	0,0000
1	1,0000	COMB1	Combination	-2,339E-11	-30,726	0,000	0,0000	0,0000
1	2,0000	COMB1	Combination	-2,339E-11	-30,726	0,000	0,0000	0,0000
1	2,0000	COMB1	Combination	-3,567E-11	-43,516	0,000	0,0000	0,0000
1	3,0000	COMB1	Combination	-3,567E-11	-43,516	0,000	0,0000	0,0000
1	3,0000	COMB1	Combination	-4,040E-11	-90,100	0,000	0,0000	0,0000
1	4,0000	COMB1	Combination	-4,040E-11	-90,100	0,000	0,0000	0,0000
2	0,0000	COMB1	Combination	-34,285	2,510	0,000	0,0000	0,0000
2	0,0500	COMB1	Combination	-34,285	2,510	0,000	0,0000	0,0000
3	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,013E-12	-7,450	-9,701E-04	-0,1862
3	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,013E-12	-7,450	-9,701E-04	0,1862
4	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,081E-12	7,450	9,701E-04	0,1862
4	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,081E-12	7,450	9,701E-04	-0,1862
5	0,0000	COMB1	Combination	34,285	-2,510	0,000	0,0000	0,0000
5	0,0500	COMB1	Combination	34,285	-2,510	0,000	0,0000	0,0000
6	0,0000	COMB1	Combination	34,285	-2,510	0,000	0,0000	0,0000
6	0,1500	COMB1	Combination	34,285	-2,510	0,000	0,0000	0,0000
7	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,013E-12	-7,450	-9,701E-04	-0,5587
7	0,1500	COMB1	Combination	0,000	-1,013E-12	-7,450	-9,701E-04	0,5587
8	0,0000	COMB1	Combination	-34,285	2,510	0,000	0,0000	0,0000
8	0,1500	COMB1	Combination	-34,285	2,510	0,000	0,0000	0,0000
9	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,081E-12	7,450	9,701E-04	0,5587
9	0,1500	COMB1	Combination	0,000	-1,081E-12	7,450	9,701E-04	-0,5587
10	0,0000	COMB1	Combination	-38,282	2,095	0,000	0,0000	0,0000
10	0,1500	COMB1	Combination	-38,282	2,095	0,000	0,0000	0,0000
11	0,0000	COMB1	Combination	0,000	1,084E-12	-4,619	-7,809E-04	-0,3465
11	0,1500	COMB1	Combination	0,000	1,084E-12	-4,619	-7,809E-04	0,3465
12	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,331E-12	4,619	7,809E-04	0,3465
12	0,1500	COMB1	Combination	0,000	-1,331E-12	4,619	7,809E-04	-0,3465
13	0,0000	COMB1	Combination	38,282	-2,095	0,000	0,0000	0,0000
13	0,1500	COMB1	Combination	38,282	-2,095	0,000	0,0000	0,0000
14	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,084E-12	-4,619	-7,809E-04	-0,1155
14	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,084E-12	-4,619	-7,809E-04	0,1155
15	0,0000	COMB1	Combination	38,282	-2,095	0,000	0,0000	0,0000
15	0,0500	COMB1	Combination	38,282	-2,095	0,000	0,0000	0,0000
16	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,331E-12	4,619	7,809E-04	0,1155
16	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,331E-12	4,619	7,809E-04	-0,1155
17	0,0000	COMB1	Combination	-38,282	2,095	0,000	0,0000	0,0000
17	0,0500	COMB1	Combination	-38,282	2,095	0,000	0,0000	0,0000
18	0,0000	COMB1	Combination	-38,236	3,014	0,000	0,0000	0,0000
18	0,0500	COMB1	Combination	-38,236	3,014	0,000	0,0000	0,0000
19	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	-5,369	-7,205E-04	-0,1342
19	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	-5,369	-7,205E-04	0,1342
20	0,0000	COMB1	Combination	38,236	-3,014	0,000	0,0000	0,0000
20	0,0500	COMB1	Combination	38,236	-3,014	0,000	0,0000	0,0000
21	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	5,369	7,205E-04	0,1342
21	0,0500	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	5,369	7,205E-04	-0,1342
22	0,0000	COMB1	Combination	-38,236	3,014	0,000	0,0000	0,0000
22	0,1500	COMB1	Combination	-38,236	3,014	0,000	0,0000	0,0000
23	0,0000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	-5,369	-7,205E-04	-0,4026

Universitas Indonesia

Frame Text	Station m	OutputCase Text	CaseType Text	P KN	V2 KN	V3 KN	T KN-m	M2 KN-m
23	0,15000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	-5,369	-7,205E-04	0,4026
24	0,00000	COMB1	Combination	38,236	-3,014	0,000	0,0000	0,0000
24	0,15000	COMB1	Combination	38,236	-3,014	0,000	0,0000	0,0000
25	0,00000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	5,369	7,205E-04	0,4026
25	0,15000	COMB1	Combination	0,000	-1,252E-12	5,369	7,205E-04	-0,4026
26	0,00000	COMB1	Combination	0,000	6,112E-13	-4,713	-0,0027	-0,3534
26	0,15000	COMB1	Combination	0,000	6,112E-13	-4,713	-0,0027	0,3534
27	0,00000	COMB1	Combination	0,000	-6,433E-13	4,713	0,0027	0,3534
27	0,15000	COMB1	Combination	0,000	-6,433E-13	4,713	0,0027	-0,3534
28	0,00000	COMB1	Combination	-21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
28	0,15000	COMB1	Combination	-21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
29	0,00000	COMB1	Combination	21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
29	0,15000	COMB1	Combination	21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
30	0,00000	COMB1	Combination	0,000	-6,112E-13	-4,713	-0,0027	-0,1178
30	0,05000	COMB1	Combination	0,000	-6,112E-13	-4,713	-0,0027	0,1178
31	0,00000	COMB1	Combination	-21,995	5,523	0,000	0,0000	0,0000
31	0,05000	COMB1	Combination	-21,995	5,523	0,000	0,0000	0,0000
32	0,00000	COMB1	Combination	0,000	-6,433E-13	4,713	0,0027	0,1178
32	0,05000	COMB1	Combination	0,000	-6,433E-13	4,713	0,0027	-0,1178
33	0,00000	COMB1	Combination	21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
33	0,05000	COMB1	Combination	21,995	-5,523	0,000	0,0000	0,0000
34	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
34	0,05000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
35	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
35	0,05000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
36	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
36	0,05000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
37	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
37	0,05000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
38	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
38	0,15000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
39	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
39	0,15000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
40	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
40	0,15000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
41	0,00000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000
41	0,15000	COMB1	Combination	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000

Table: Element Forces - Frames, Part 2 of 2

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M3 KN-m	FrameElem Text	ElemStation m
1	0,00000	COMB1	-0,8644	1	0,00000
1	1,00000	COMB1	15,6653	1	1,00000
1	1,00000	COMB1	14,9306	2	0,00000
1	2,00000	COMB1	45,6567	2	1,00000
1	2,00000	COMB1	44,6019	3	0,00000
1	3,00000	COMB1	88,1179	3	1,00000
1	3,00000	COMB1	86,1768	4	0,00000
1	4,00000	COMB1	176,2773	4	1,00000
2	0,00000	COMB1	0,0548	5	0,00000
2	0,05000	COMB1	-0,0707	5	0,05000
3	0,00000	COMB1	-2,533E-14	6	0,00000
3	0,05000	COMB1	2,533E-14	6	0,05000
4	0,00000	COMB1	-2,702E-14	7	0,00000

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M3 KN-m	FrameElem Text	ElemStation m
4	0,05000	COMB1	2,702E-14	7	0,05000
5	0,00000	COMB1	-0,0548	8	0,00000
5	0,05000	COMB1	0,0707	8	0,05000
6	0,00000	COMB1	-0,4312	9	0,00000
6	0,15000	COMB1	-0,0548	9	0,15000
7	0,00000	COMB1	-7,600E-14	10	0,00000
7	0,15000	COMB1	7,600E-14	10	0,15000
8	0,00000	COMB1	0,4312	11	0,00000
8	0,15000	COMB1	0,0548	11	0,15000
9	0,00000	COMB1	-8,105E-14	12	0,00000
9	0,15000	COMB1	8,105E-14	12	0,15000
10	0,00000	COMB1	0,3666	13	0,00000
10	0,15000	COMB1	0,0524	13	0,15000
11	0,00000	COMB1	8,129E-14	14	0,00000
11	0,15000	COMB1	-8,129E-14	14	0,15000
12	0,00000	COMB1	-9,985E-14	15	0,00000
12	0,15000	COMB1	9,985E-14	15	0,15000
13	0,00000	COMB1	-0,3666	16	0,00000
13	0,15000	COMB1	-0,0524	16	0,15000
14	0,00000	COMB1	-2,710E-14	17	0,00000
14	0,05000	COMB1	2,710E-14	17	0,05000
15	0,00000	COMB1	-0,0524	18	0,00000
15	0,05000	COMB1	0,0523	18	0,05000
16	0,00000	COMB1	-3,328E-14	19	0,00000
16	0,05000	COMB1	3,328E-14	19	0,05000
17	0,00000	COMB1	0,0524	20	0,00000
17	0,05000	COMB1	-0,0523	20	0,05000
18	0,00000	COMB1	0,0746	21	0,00000
18	0,05000	COMB1	-0,0761	21	0,05000
19	0,00000	COMB1	-3,130E-14	22	0,00000
19	0,05000	COMB1	3,130E-14	22	0,05000
20	0,00000	COMB1	-0,0746	23	0,00000
20	0,05000	COMB1	0,0761	23	0,05000
21	0,00000	COMB1	-3,130E-14	24	0,00000
21	0,05000	COMB1	3,130E-14	24	0,05000
22	0,00000	COMB1	0,5267	25	0,00000
22	0,15000	COMB1	0,0746	25	0,15000
23	0,00000	COMB1	-9,390E-14	26	0,00000
23	0,15000	COMB1	9,390E-14	26	0,15000
24	0,00000	COMB1	-0,5267	27	0,00000
24	0,15000	COMB1	-0,0746	27	0,15000
25	0,00000	COMB1	-9,389E-14	28	0,00000
25	0,15000	COMB1	9,389E-14	28	0,15000
26	0,00000	COMB1	4,584E-14	29	0,00000
26	0,15000	COMB1	-4,584E-14	29	0,15000
27	0,00000	COMB1	-4,825E-14	30	0,00000
27	0,15000	COMB1	4,825E-14	30	0,15000
28	0,00000	COMB1	0,1394	31	0,00000
28	0,15000	COMB1	0,9678	31	0,15000
29	0,00000	COMB1	-0,9678	32	0,00000
29	0,15000	COMB1	-0,1394	32	0,15000
30	0,00000	COMB1	-1,528E-14	33	0,00000
30	0,05000	COMB1	1,528E-14	33	0,05000
31	0,00000	COMB1	0,1394	34	0,00000
31	0,05000	COMB1	-0,1367	34	0,05000
32	0,00000	COMB1	-1,608E-14	35	0,00000
32	0,05000	COMB1	1,608E-14	35	0,05000

Universitas Indonesia

Frame Text	Station m	OutputCase Text	M3 KN-m	FrameElem Text	ElemStation m
33	0,0000	COMB1	-0,1394	36	0,0000
33	0,0500	COMB1	0,1367	36	0,0500
34	0,0000	COMB1	0,0000	37	0,0000
34	0,0500	COMB1	0,0000	37	0,0500
35	0,0000	COMB1	0,0000	38	0,0000
35	0,0500	COMB1	0,0000	38	0,0500
36	0,0000	COMB1	0,0000	39	0,0000
36	0,0500	COMB1	0,0000	39	0,0500
37	0,0000	COMB1	0,0000	40	0,0000
37	0,0500	COMB1	0,0000	40	0,0500
38	0,0000	COMB1	0,0000	41	0,0000
38	0,1500	COMB1	0,0000	41	0,1500
39	0,0000	COMB1	0,0000	42	0,0000
39	0,1500	COMB1	0,0000	42	0,1500
40	0,0000	COMB1	0,0000	43	0,0000
40	0,1500	COMB1	0,0000	43	0,1500
41	0,0000	COMB1	0,0000	44	0,0000
41	0,1500	COMB1	0,0000	44	0,1500

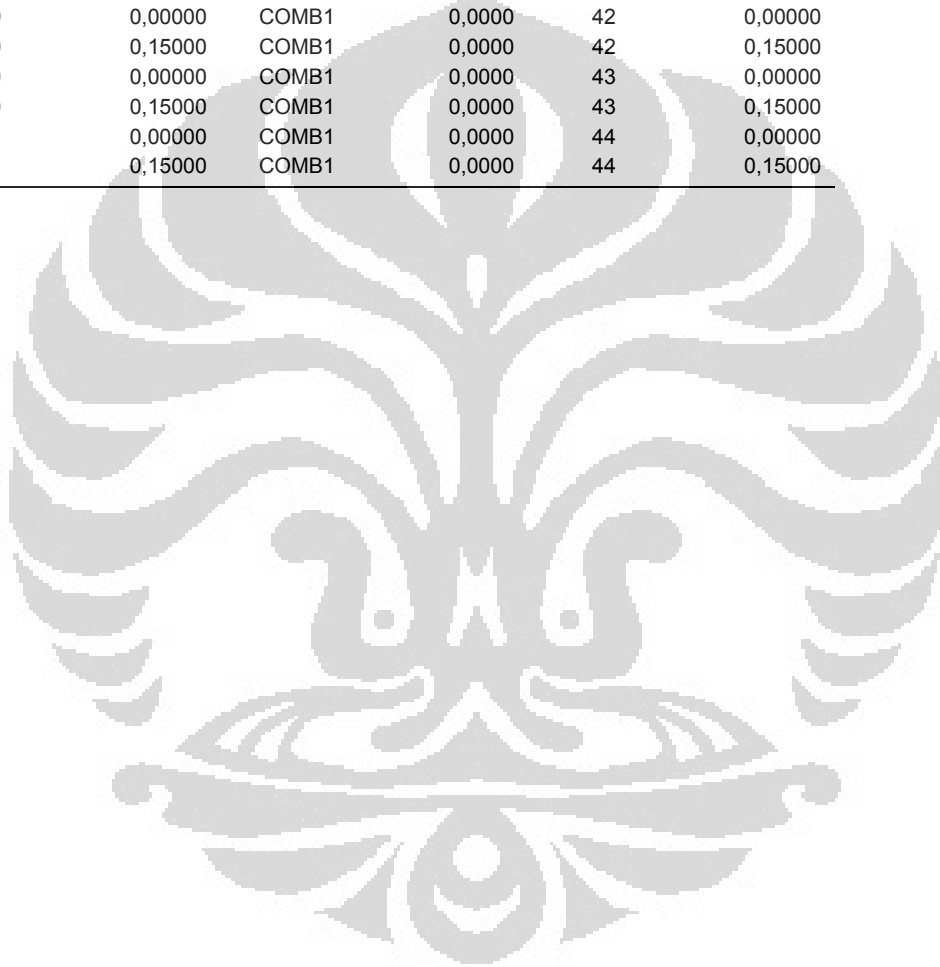


Table: Joint Displacements

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	COMB1	Combination	0,040547	0,000000	-5,080E-17	0,000000	0,013760	0,000000
2	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
12	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
13	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
14	COMB1	Combination	0,040409	-9,892E-06	-0,002727	0,000015	0,013752	-0,000358
15	COMB1	Combination	0,040409	9,892E-06	0,002727	-0,000015	0,013752	-0,000358
16	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
17	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
18	COMB1	Combination	0,040409	9,892E-06	-0,002727	-0,000015	0,013752	0,000358
19	COMB1	Combination	0,040409	-9,892E-06	0,002727	0,000015	0,013752	0,000358
20	COMB1	Combination	0,040547	0,000000	-0,002063	0,000000	0,013754	0,000000
21	COMB1	Combination	0,040504	0,000000	-0,002717	0,000000	0,014374	0,000000
22	COMB1	Combination	0,040546	0,000000	-5,084E-17	0,000000	0,013760	0,000000
23	COMB1	Combination	0,040399	0,000000	-7,089E-17	0,000000	0,013662	0,000000
24	COMB1	Combination	0,040546	0,000000	-5,084E-17	0,000000	0,013760	0,000000
25	COMB1	Combination	0,040399	0,000000	-7,223E-17	0,000000	0,013662	0,000000
26	COMB1	Combination	0,040547	0,000000	0,002063	0,000000	0,013754	0,000000
27	COMB1	Combination	0,040504	0,000000	0,002717	0,000000	0,014374	0,000000
28	COMB1	Combination	0,026902	0,000000	-4,362E-17	0,000000	0,013327	0,000000
29	COMB1	Combination	0,026902	0,000000	-0,001999	0,000000	0,013322	0,000000
30	COMB1	Combination	0,026902	0,000000	-4,367E-17	0,000000	0,013327	0,000000
31	COMB1	Combination	0,026902	0,000000	-4,368E-17	0,000000	0,013327	0,000000
32	COMB1	Combination	0,026902	0,000000	0,001999	0,000000	0,013322	0,000000
33	COMB1	Combination	0,026810	0,000000	-6,512E-17	0,000000	0,013248	0,000000
34	COMB1	Combination	0,026854	0,000000	0,002623	0,000000	0,013320	0,000000
35	COMB1	Combination	0,026810	0,000000	-7,003E-17	0,000000	0,013248	0,000000
36	COMB1	Combination	0,026854	0,000000	-0,002623	0,000000	0,013320	0,000000
37	COMB1	Combination	0,014272	0,000000	-0,001733	0,000000	0,011548	0,000000
38	COMB1	Combination	0,014225	0,000000	-0,002252	0,000000	0,011606	0,000000
39	COMB1	Combination	0,014272	0,000000	-3,342E-17	0,000000	0,011555	0,000000
40	COMB1	Combination	0,014166	0,000000	-5,819E-17	0,000000	0,011483	0,000000
41	COMB1	Combination	0,014272	0,000000	0,001733	0,000000	0,011548	0,000000
42	COMB1	Combination	0,014225	0,000000	0,002252	0,000000	0,011606	0,000000
43	COMB1	Combination	0,014272	0,000000	-3,342E-17	0,000000	0,011555	0,000000
44	COMB1	Combination	0,014166	0,000000	-5,819E-17	0,000000	0,011483	0,000000
45	COMB1	Combination	0,014272	0,000000	-3,336E-17	0,000000	0,011555	0,000000
46	COMB1	Combination	0,004390	0,000000	-1,775E-17	0,000000	0,007674	0,000000
47	COMB1	Combination	0,004390	0,000000	-1,772E-17	0,000000	0,007674	0,000000
48	COMB1	Combination	0,004390	0,000000	-1,775E-17	0,000000	0,007674	0,000000
49	COMB1	Combination	0,004390	0,000000	-0,001150	0,000000	0,007662	0,000000
50	COMB1	Combination	0,004390	0,000000	0,001150	0,000000	0,007662	0,000000
51	COMB1	Combination	0,004297	0,000000	-2,984E-17	0,000000	0,007401	0,000000
52	COMB1	Combination	0,004363	0,000000	-0,001421	0,000000	0,007558	0,000000
53	COMB1	Combination	0,004297	0,000000	-3,048E-17	0,000000	0,007401	0,000000
54	COMB1	Combination	0,004363	0,000000	0,001421	0,000000	0,007558	0,000000
55	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
56	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
57	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
58	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
59	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
60	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
61	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
62	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
63	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
64	COMB1	Combination	0,000066	-0,000014	0,000082	0,000199	0,001022	0,000187
65	COMB1	Combination	0,000083	-0,000033	0,000184	0,000380	0,001391	0,000115
66	COMB1	Combination	0,000238	-0,000029	0,000168	0,000082	0,001961	0,000291
67	COMB1	Combination	0,000261	-0,000055	0,000351	0,000124	0,002139	0,000189
68	COMB1	Combination	0,000495	-0,000033	0,000250	-4,568E-06	0,002730	0,000310
69	COMB1	Combination	0,000518	-0,000061	0,000510	0,000042	0,002934	0,000249
70	COMB1	Combination	0,000831	-0,000032	0,000327	-0,000024	0,003512	0,000305
71	COMB1	Combination	0,000853	-0,000061	0,000663	5,349E-06	0,003694	0,000277
72	COMB1	Combination	0,001241	-0,000030	0,000401	-0,000026	0,004238	0,000292
73	COMB1	Combination	0,001263	-0,000058	0,000809	-4,387E-06	0,004429	0,000284
74	COMB1	Combination	0,001724	-0,000028	0,000471	-0,000024	0,004944	0,000277
75	COMB1	Combination	0,001744	-0,000056	0,000950	-4,845E-06	0,005130	0,000282
76	COMB1	Combination	0,002275	-0,000026	0,000538	-0,000025	0,005610	0,000263
77	COMB1	Combination	0,002294	-0,000053	0,001084	-3,313E-06	0,005801	0,000282
78	COMB1	Combination	0,002891	-0,000024	0,000601	-0,000031	0,006247	0,000249
79	COMB1	Combination	0,002910	-0,000050	0,001211	-5,161E-06	0,006436	0,000291
80	COMB1	Combination	0,003568	-0,000020	0,000662	-0,000044	0,006839	0,000227
81	COMB1	Combination	0,003586	-0,000048	0,001331	-9,352E-06	0,007025	0,000311
82	COMB1	Combination	0,004302	-0,000017	0,000719	-0,000018	0,007400	0,000253
83	COMB1	Combination	0,004319	-0,000045	0,001445	-5,906E-06	0,007568	0,000313
84	COMB1	Combination	0,005088	-0,000018	0,000773	8,997E-06	0,007931	0,000201
85	COMB1	Combination	0,005105	-0,000042	0,001553	-4,508E-06	0,008085	0,000283
86	COMB1	Combination	0,005926	-0,000019	0,000824	-4,346E-06	0,008431	0,000197
87	COMB1	Combination	0,005941	-0,000040	0,001654	-4,750E-06	0,008584	0,000237
88	COMB1	Combination	0,006812	-0,000018	0,000872	-0,000011	0,008914	0,000187
89	COMB1	Combination	0,006826	-0,000038	0,001751	-5,920E-06	0,009065	0,000205
90	COMB1	Combination	0,007745	-0,000017	0,000917	-0,000014	0,009367	0,000176
91	COMB1	Combination	0,007759	-0,000035	0,001842	-5,125E-06	0,009522	0,000184
92	COMB1	Combination	0,008723	-0,000016	0,000960	-0,000016	0,009795	0,000165
93	COMB1	Combination	0,008735	-0,000033	0,001927	-3,648E-06	0,009950	0,000171
94	COMB1	Combination	0,009742	-0,000015	0,001000	-0,000018	0,010196	0,000155
95	COMB1	Combination	0,009753	-0,000031	0,002007	-1,571E-06	0,010351	0,000166
96	COMB1	Combination	0,010799	-0,000013	0,001037	-0,000021	0,010566	0,000144
97	COMB1	Combination	0,010810	-0,000029	0,002082	1,275E-06	0,010725	0,000173
98	COMB1	Combination	0,011892	-0,000012	0,001071	-0,000025	0,010908	0,000132
99	COMB1	Combination	0,011902	-0,000028	0,002150	2,612E-06	0,011068	0,000196
100	COMB1	Combination	0,013016	-9,331E-06	0,001103	-0,000028	0,011209	0,000118
101	COMB1	Combination	0,013027	-0,000026	0,002213	-4,516E-07	0,011364	0,000232
102	COMB1	Combination	0,014168	-7,294E-06	0,001132	-0,000013	0,011483	0,000122
103	COMB1	Combination	0,014178	-0,000025	0,002270	-4,121E-06	0,011610	0,000243
104	COMB1	Combination	0,015343	-7,436E-06	0,001159	2,333E-06	0,011734	0,000098
105	COMB1	Combination	0,015353	-0,000022	0,002323	-8,855E-06	0,011835	0,000211
106	COMB1	Combination	0,016541	-7,855E-06	0,001184	-7,194E-07	0,011966	0,000095
107	COMB1	Combination	0,016549	-0,000020	0,002372	-9,577E-06	0,012062	0,000157
108	COMB1	Combination	0,017762	-7,905E-06	0,001207	-4,401E-06	0,012193	0,000088
109	COMB1	Combination	0,017769	-0,000018	0,002417	-7,568E-06	0,012290	0,000116
110	COMB1	Combination	0,019004	-7,597E-06	0,001228	-7,603E-06	0,012401	0,000080
111	COMB1	Combination	0,019010	-0,000016	0,002459	-4,924E-06	0,012503	0,000092
112	COMB1	Combination	0,020267	-6,999E-06	0,001247	-0,000010	0,012594	0,000073
113	COMB1	Combination	0,020272	-0,000015	0,002498	-2,669E-06	0,012696	0,000080
114	COMB1	Combination	0,021548	-6,151E-06	0,001264	-0,000013	0,012769	0,000066
115	COMB1	Combination	0,021552	-0,000013	0,002533	-2,920E-07	0,012872	0,000078
116	COMB1	Combination	0,022845	-5,042E-06	0,001279	-0,000015	0,012923	0,000059
117	COMB1	Combination	0,022849	-0,000012	0,002564	2,904E-06	0,013030	0,000087
118	COMB1	Combination	0,024157	-3,679E-06	0,001293	-0,000017	0,013058	0,000052
119	COMB1	Combination	0,024161	-0,000012	0,002591	5,644E-06	0,013166	0,000113
120	COMB1	Combination	0,025480	-2,274E-06	0,001305	-0,000015	0,013162	0,000043

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
121	COMB1	Combination	0,025485	-0,000011	0,002614	3,541E-06	0,013265	0,000149
122	COMB1	Combination	0,026811	-1,324E-06	0,001315	-7,921E-06	0,013248	0,000037
123	COMB1	Combination	0,026816	-0,000010	0,002634	-2,512E-06	0,013323	0,000162
124	COMB1	Combination	0,028148	-1,147E-06	0,001324	-5,242E-07	0,013320	0,000032
125	COMB1	Combination	0,028152	-8,814E-06	0,002651	-9,329E-06	0,013369	0,000137
126	COMB1	Combination	0,029489	-1,445E-06	0,001332	1,843E-06	0,013383	0,000029
127	COMB1	Combination	0,029492	-7,087E-06	0,002666	-9,906E-06	0,013427	0,000089
128	COMB1	Combination	0,030837	-1,727E-06	0,001339	1,651E-07	0,013450	0,000026
129	COMB1	Combination	0,030839	-5,603E-06	0,002680	-6,947E-06	0,013496	0,000053
130	COMB1	Combination	0,032191	-1,746E-06	0,001345	-2,821E-06	0,013508	0,000022
131	COMB1	Combination	0,032193	-4,444E-06	0,002691	-4,398E-06	0,013558	0,000032
132	COMB1	Combination	0,033551	-1,452E-06	0,001350	-6,140E-06	0,013559	0,000017
133	COMB1	Combination	0,033552	-3,494E-06	0,002702	-2,700E-06	0,013610	0,000022
134	COMB1	Combination	0,034915	-7,853E-07	0,001354	-0,000011	0,013606	0,000013
135	COMB1	Combination	0,034916	-2,710E-06	0,002710	-3,553E-07	0,013653	0,000023
136	COMB1	Combination	0,036284	4,012E-07	0,001357	-0,000017	0,013633	9,113E-06
137	COMB1	Combination	0,036285	-2,291E-06	0,002717	5,655E-06	0,013693	0,000042
138	COMB1	Combination	0,037656	2,072E-06	0,001359	-0,000018	0,013676	5,909E-06
139	COMB1	Combination	0,037656	-2,971E-06	0,002722	0,000023	0,013721	0,000098
140	COMB1	Combination	0,039030	3,384E-06	0,001360	-7,098E-06	0,013657	6,446E-06
141	COMB1	Combination	0,039031	-6,031E-06	0,002725	0,000049	0,013767	0,000213
142	COMB1	Combination	0,040399	3,855E-06	0,001361	-0,000012	0,013648	-0,000011
143	COMB1	Combination	0,000062	1,261E-19	-2,728E-18	-2,084E-18	0,000984	0,000125
144	COMB1	Combination	0,000229	3,121E-19	-5,587E-18	-9,704E-19	0,001888	0,000292
145	COMB1	Combination	0,000487	3,263E-19	-8,612E-18	1,130E-19	0,002755	0,000334
146	COMB1	Combination	0,000823	3,612E-19	-1,172E-17	-1,212E-18	0,003501	0,000320
147	COMB1	Combination	0,001234	6,095E-19	-1,470E-17	-3,618E-18	0,004245	0,000297
148	COMB1	Combination	0,001717	1,003E-18	-1,770E-17	-3,869E-18	0,004940	0,000275
149	COMB1	Combination	0,002268	1,297E-18	-2,077E-17	-1,399E-18	0,005612	0,000257
150	COMB1	Combination	0,002884	1,243E-18	-2,335E-17	3,046E-18	0,006238	0,000222
151	COMB1	Combination	0,003561	6,495E-19	-2,640E-17	8,409E-18	0,006846	0,000224
152	COMB1	Combination	0,005083	6,982E-19	-3,323E-17	-7,004E-18	0,007921	0,000199
153	COMB1	Combination	0,005921	7,108E-19	-3,512E-17	7,583E-18	0,008438	0,000171
154	COMB1	Combination	0,006808	-6,758E-19	-3,666E-17	1,830E-17	0,008912	0,000181
155	COMB1	Combination	0,007741	-3,281E-18	-3,881E-17	3,231E-17	0,009368	0,000172
156	COMB1	Combination	0,008719	-6,964E-18	-4,213E-17	3,943E-17	0,009795	0,000162
157	COMB1	Combination	0,009738	-1,074E-17	-4,675E-17	3,287E-17	0,010194	0,000148
158	COMB1	Combination	0,010795	-1,286E-17	-5,058E-17	5,832E-18	0,010565	0,000131
159	COMB1	Combination	0,011888	-1,165E-17	-5,420E-17	-3,254E-17	0,010897	0,000105
160	COMB1	Combination	0,013012	-6,210E-18	-5,708E-17	-7,654E-17	0,011216	0,000093
161	COMB1	Combination	0,015340	8,577E-18	-5,937E-17	-1,238E-16	0,011725	0,000074
162	COMB1	Combination	0,016539	2,046E-17	-6,208E-17	-1,106E-16	0,011975	0,000068
163	COMB1	Combination	0,017760	2,983E-17	-6,526E-17	-7,570E-17	0,012192	0,000075
164	COMB1	Combination	0,019002	3,535E-17	-6,677E-17	-2,739E-17	0,012402	0,000074
165	COMB1	Combination	0,020265	3,475E-17	-6,464E-17	3,762E-17	0,012594	0,000068
166	COMB1	Combination	0,021546	2,799E-17	-6,129E-17	9,646E-17	0,012767	0,000059
167	COMB1	Combination	0,022843	1,699E-17	-5,708E-17	1,109E-16	0,012923	0,000046
168	COMB1	Combination	0,024155	6,510E-18	-6,049E-17	8,902E-17	0,013049	0,000029
169	COMB1	Combination	0,025478	5,013E-19	-6,382E-17	2,799E-17	0,013168	0,000013
170	COMB1	Combination	0,028146	7,462E-18	-6,318E-17	-1,146E-16	0,013314	1,808E-06
171	COMB1	Combination	0,029488	1,929E-17	-6,070E-17	-1,168E-16	0,013392	7,082E-06
172	COMB1	Combination	0,030837	2,918E-17	-6,755E-17	-7,669E-17	0,013450	0,000013
173	COMB1	Combination	0,032191	3,332E-17	-7,367E-17	8,964E-19	0,013508	0,000015
174	COMB1	Combination	0,033551	3,121E-17	-7,889E-17	3,848E-17	0,013562	0,000013
175	COMB1	Combination	0,034915	2,640E-17	-8,327E-17	5,377E-17	0,013600	5,308E-06
176	COMB1	Combination	0,036284	2,057E-17	-8,056E-17	6,209E-17	0,013647	-0,000011
177	COMB1	Combination	0,037656	1,393E-17	-7,611E-17	6,975E-17	0,013649	-0,000031

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
178	COMB1	Combination	0,039028	6,462E-18	-7,054E-17	8,429E-17	0,013659	-0,000066
179	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
180	COMB1	Combination	0,000066	0,000014	-0,000082	-0,000199	0,001022	0,000187
181	COMB1	Combination	0,000238	0,000029	-0,000168	-0,000082	0,001961	0,000291
182	COMB1	Combination	0,000495	0,000033	-0,000250	4,568E-06	0,002730	0,000310
183	COMB1	Combination	0,000831	0,000032	-0,000327	0,000024	0,003512	0,000305
184	COMB1	Combination	0,001241	0,000030	-0,000401	0,000026	0,004238	0,000292
185	COMB1	Combination	0,001724	0,000028	-0,000471	0,000024	0,004944	0,000277
186	COMB1	Combination	0,002275	0,000026	-0,000538	0,000025	0,005610	0,000263
187	COMB1	Combination	0,002891	0,000024	-0,000601	0,000031	0,006247	0,000249
188	COMB1	Combination	0,003568	0,000020	-0,000662	0,000044	0,006839	0,000227
189	COMB1	Combination	0,004302	0,000017	-0,000719	0,000018	0,007400	0,000253
190	COMB1	Combination	0,005088	0,000018	-0,000773	-8,997E-06	0,007931	0,000201
191	COMB1	Combination	0,005926	0,000019	-0,000824	4,346E-06	0,008431	0,000197
192	COMB1	Combination	0,006812	0,000018	-0,000872	0,000011	0,008914	0,000187
193	COMB1	Combination	0,007745	0,000017	-0,000917	0,000014	0,009367	0,000176
194	COMB1	Combination	0,008723	0,000016	-0,000960	0,000016	0,009795	0,000165
195	COMB1	Combination	0,009742	0,000015	-0,001000	0,000018	0,010196	0,000155
196	COMB1	Combination	0,010799	0,000013	-0,001037	0,000021	0,010566	0,000144
197	COMB1	Combination	0,011892	0,000012	-0,001071	0,000025	0,010908	0,000132
198	COMB1	Combination	0,013016	9,331E-06	-0,001103	0,000028	0,011209	0,000118
199	COMB1	Combination	0,014168	7,294E-06	-0,001132	0,000013	0,011483	0,000122
200	COMB1	Combination	0,015343	7,436E-06	-0,001159	-2,333E-06	0,011734	0,000098
201	COMB1	Combination	0,016541	7,855E-06	-0,001184	7,194E-07	0,011966	0,000095
202	COMB1	Combination	0,017762	7,905E-06	-0,001207	4,401E-06	0,012193	0,000088
203	COMB1	Combination	0,019004	7,597E-06	-0,001228	7,603E-06	0,012401	0,000080
204	COMB1	Combination	0,020267	6,999E-06	-0,001247	0,000010	0,012594	0,000073
205	COMB1	Combination	0,021548	6,151E-06	-0,001264	0,000013	0,012769	0,000066
206	COMB1	Combination	0,022845	5,042E-06	-0,001279	0,000015	0,012923	0,000059
207	COMB1	Combination	0,024157	3,679E-06	-0,001293	0,000017	0,013058	0,000052
208	COMB1	Combination	0,025480	2,274E-06	-0,001305	0,000015	0,013162	0,000043
209	COMB1	Combination	0,026811	1,324E-06	-0,001315	7,921E-06	0,013248	0,000037
210	COMB1	Combination	0,028148	1,147E-06	-0,001324	5,242E-07	0,013320	0,000032
211	COMB1	Combination	0,029489	1,445E-06	-0,001332	-1,843E-06	0,013383	0,000029
212	COMB1	Combination	0,030837	1,727E-06	-0,001339	-1,651E-07	0,013450	0,000026
213	COMB1	Combination	0,032191	1,746E-06	-0,001345	2,821E-06	0,013508	0,000022
214	COMB1	Combination	0,033551	1,452E-06	-0,001350	6,140E-06	0,013559	0,000017
215	COMB1	Combination	0,034915	7,853E-07	-0,001354	0,000011	0,013606	0,000013
216	COMB1	Combination	0,036284	-4,012E-07	-0,001357	0,000017	0,013633	9,113E-06
217	COMB1	Combination	0,037656	-2,072E-06	-0,001359	0,000018	0,013676	5,909E-06
218	COMB1	Combination	0,039030	-3,384E-06	-0,001360	7,098E-06	0,013657	6,446E-06
219	COMB1	Combination	0,040399	-3,855E-06	-0,001361	0,000012	0,013648	-0,000011
220	COMB1	Combination	0,000083	0,000033	-0,000184	-0,000380	0,001391	0,000115
221	COMB1	Combination	0,000261	0,000055	-0,000351	-0,000124	0,002139	0,000189
222	COMB1	Combination	0,000518	0,000061	-0,000510	-0,000042	0,002934	0,000249
223	COMB1	Combination	0,000853	0,000061	-0,000663	-5,349E-06	0,003694	0,000277
224	COMB1	Combination	0,001263	0,000058	-0,000809	4,387E-06	0,004429	0,000284
225	COMB1	Combination	0,001744	0,000056	-0,000950	4,845E-06	0,005130	0,000282
226	COMB1	Combination	0,002294	0,000053	-0,001084	3,313E-06	0,005801	0,000282
227	COMB1	Combination	0,002910	0,000050	-0,001211	5,161E-06	0,006436	0,000291
228	COMB1	Combination	0,003586	0,000048	-0,001331	9,352E-06	0,007025	0,000311
229	COMB1	Combination	0,004319	0,000045	-0,001445	5,906E-06	0,007568	0,000313
230	COMB1	Combination	0,005105	0,000042	-0,001553	4,508E-06	0,008085	0,000283
231	COMB1	Combination	0,005941	0,000040	-0,001654	4,750E-06	0,008584	0,000237
232	COMB1	Combination	0,006826	0,000038	-0,001751	5,920E-06	0,009065	0,000205
233	COMB1	Combination	0,007759	0,000035	-0,001842	5,125E-06	0,009522	0,000184
234	COMB1	Combination	0,008735	0,000033	-0,001927	3,648E-06	0,009950	0,000171

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
235	COMB1	Combination	0,009753	0,000031	-0,002007	1,571E-06	0,010351	0,000166
236	COMB1	Combination	0,010810	0,000029	-0,002082	-1,275E-06	0,010725	0,000173
237	COMB1	Combination	0,011902	0,000028	-0,002150	-2,612E-06	0,011068	0,000196
238	COMB1	Combination	0,013027	0,000026	-0,002213	4,516E-07	0,011364	0,000232
239	COMB1	Combination	0,014178	0,000025	-0,002270	4,121E-06	0,011610	0,000243
240	COMB1	Combination	0,015353	0,000022	-0,002323	8,855E-06	0,011835	0,000211
241	COMB1	Combination	0,016549	0,000020	-0,002372	9,577E-06	0,012062	0,000157
242	COMB1	Combination	0,017769	0,000018	-0,002417	7,568E-06	0,012290	0,000116
243	COMB1	Combination	0,019010	0,000016	-0,002459	4,924E-06	0,012503	0,000092
244	COMB1	Combination	0,020272	0,000015	-0,002498	2,669E-06	0,012696	0,000080
245	COMB1	Combination	0,021552	0,000013	-0,002533	2,920E-07	0,012872	0,000078
246	COMB1	Combination	0,022849	0,000012	-0,002564	-2,904E-06	0,013030	0,000087
247	COMB1	Combination	0,024161	0,000012	-0,002591	-5,644E-06	0,013166	0,000113
248	COMB1	Combination	0,025485	0,000011	-0,002614	-3,541E-06	0,013265	0,000149
249	COMB1	Combination	0,026816	0,000010	-0,002634	2,512E-06	0,013323	0,000162
250	COMB1	Combination	0,028152	8,814E-06	-0,002651	9,329E-06	0,013369	0,000137
251	COMB1	Combination	0,029492	7,087E-06	-0,002666	9,906E-06	0,013427	0,000089
252	COMB1	Combination	0,030839	5,603E-06	-0,002680	6,947E-06	0,013496	0,000053
253	COMB1	Combination	0,032193	4,444E-06	-0,002691	4,398E-06	0,013558	0,000032
254	COMB1	Combination	0,033552	3,494E-06	-0,002702	2,700E-06	0,013610	0,000022
255	COMB1	Combination	0,034916	2,710E-06	-0,002710	3,553E-07	0,013653	0,000023
256	COMB1	Combination	0,036285	2,291E-06	-0,002717	-5,655E-06	0,013693	0,000042
257	COMB1	Combination	0,037656	2,971E-06	-0,002722	-0,000023	0,013721	0,000098
258	COMB1	Combination	0,039031	6,031E-06	-0,002725	-0,000049	0,013767	0,000213
259	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
260	COMB1	Combination	0,000066	0,000014	0,000082	-0,000199	0,001022	-0,000187
261	COMB1	Combination	0,000083	0,000033	0,000184	-0,000380	0,001391	-0,000115
262	COMB1	Combination	0,000238	0,000029	0,000168	-0,000082	0,001961	-0,000291
263	COMB1	Combination	0,000261	0,000055	0,000351	-0,000124	0,002139	-0,000189
264	COMB1	Combination	0,000495	0,000033	0,000250	4,568E-06	0,002730	-0,000310
265	COMB1	Combination	0,000518	0,000061	0,000510	-0,000042	0,002934	-0,000249
266	COMB1	Combination	0,000831	0,000032	0,000327	0,000024	0,003512	-0,000305
267	COMB1	Combination	0,000853	0,000061	0,000663	-5,349E-06	0,003694	-0,000277
268	COMB1	Combination	0,001241	0,000030	0,000401	0,000026	0,004238	-0,000292
269	COMB1	Combination	0,001263	0,000058	0,000809	4,387E-06	0,004429	-0,000284
270	COMB1	Combination	0,001724	0,000028	0,000471	0,000024	0,004944	-0,000277
271	COMB1	Combination	0,001744	0,000056	0,000950	4,845E-06	0,005130	-0,000282
272	COMB1	Combination	0,002275	0,000026	0,000538	0,000025	0,005610	-0,000263
273	COMB1	Combination	0,002294	0,000053	0,001084	3,313E-06	0,005801	-0,000282
274	COMB1	Combination	0,002891	0,000024	0,000601	0,000031	0,006247	-0,000249
275	COMB1	Combination	0,002910	0,000050	0,001211	5,161E-06	0,006436	-0,000291
276	COMB1	Combination	0,003568	0,000020	0,000662	0,000044	0,006839	-0,000227
277	COMB1	Combination	0,003586	0,000048	0,001331	9,352E-06	0,007025	-0,000311
278	COMB1	Combination	0,004302	0,000017	0,000719	0,000018	0,007400	-0,000253
279	COMB1	Combination	0,004319	0,000045	0,001445	5,906E-06	0,007568	-0,000313
280	COMB1	Combination	0,005088	0,000018	0,000773	-8,997E-06	0,007931	-0,000201
281	COMB1	Combination	0,005105	0,000042	0,001553	4,508E-06	0,008085	-0,000283
282	COMB1	Combination	0,005926	0,000019	0,000824	4,346E-06	0,008431	-0,000197
283	COMB1	Combination	0,005941	0,000040	0,001654	4,750E-06	0,008584	-0,000237
284	COMB1	Combination	0,006812	0,000018	0,000872	0,000011	0,008914	-0,000187
285	COMB1	Combination	0,006826	0,000038	0,001751	5,920E-06	0,009065	-0,000205
286	COMB1	Combination	0,007745	0,000017	0,000917	0,000014	0,009367	-0,000176
287	COMB1	Combination	0,007759	0,000035	0,001842	5,125E-06	0,009522	-0,000184
288	COMB1	Combination	0,008723	0,000016	0,000960	0,000016	0,009795	-0,000165
289	COMB1	Combination	0,008735	0,000033	0,001927	3,648E-06	0,009950	-0,000171
290	COMB1	Combination	0,009742	0,000015	0,001000	0,000018	0,010196	-0,000155
291	COMB1	Combination	0,009753	0,000031	0,002007	1,571E-06	0,010351	-0,000166

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
292	COMB1	Combination	0,010799	0,000013	0,001037	0,000021	0,010566	-0,000144
293	COMB1	Combination	0,010810	0,000029	0,002082	-1,275E-06	0,010725	-0,000173
294	COMB1	Combination	0,011892	0,000012	0,001071	0,000025	0,010908	-0,000132
295	COMB1	Combination	0,011902	0,000028	0,002150	-2,612E-06	0,011068	-0,000196
296	COMB1	Combination	0,013016	9,331E-06	0,001103	0,000028	0,011209	-0,000118
297	COMB1	Combination	0,013027	0,000026	0,002213	4,516E-07	0,011364	-0,000232
298	COMB1	Combination	0,014168	7,294E-06	0,001132	0,000013	0,011483	-0,000122
299	COMB1	Combination	0,014178	0,000025	0,002270	4,121E-06	0,011610	-0,000243
300	COMB1	Combination	0,015343	7,436E-06	0,001159	-2,333E-06	0,011734	-0,000098
301	COMB1	Combination	0,015353	0,000022	0,002323	8,855E-06	0,011835	-0,000211
302	COMB1	Combination	0,016541	7,855E-06	0,001184	7,194E-07	0,011966	-0,000095
303	COMB1	Combination	0,016549	0,000020	0,002372	9,577E-06	0,012062	-0,000157
304	COMB1	Combination	0,017762	7,905E-06	0,001207	4,401E-06	0,012193	-0,000088
305	COMB1	Combination	0,017769	0,000018	0,002417	7,568E-06	0,012290	-0,000116
306	COMB1	Combination	0,019004	7,597E-06	0,001228	7,603E-06	0,012401	-0,000080
307	COMB1	Combination	0,019010	0,000016	0,002459	4,924E-06	0,012503	-0,000092
308	COMB1	Combination	0,020267	6,999E-06	0,001247	0,000010	0,012594	-0,000073
309	COMB1	Combination	0,020272	0,000015	0,002498	2,669E-06	0,012696	-0,000080
310	COMB1	Combination	0,021548	6,151E-06	0,001264	0,000013	0,012769	-0,000066
311	COMB1	Combination	0,021552	0,000013	0,002533	2,920E-07	0,012872	-0,000078
312	COMB1	Combination	0,022845	5,042E-06	0,001279	0,000015	0,012923	-0,000059
313	COMB1	Combination	0,022849	0,000012	0,002564	-2,904E-06	0,013030	-0,000087
314	COMB1	Combination	0,024157	3,679E-06	0,001293	0,000017	0,013058	-0,000052
315	COMB1	Combination	0,024161	0,000012	0,002591	-5,644E-06	0,013166	-0,000113
316	COMB1	Combination	0,025480	2,274E-06	0,001305	0,000015	0,013162	-0,000043
317	COMB1	Combination	0,025485	0,000011	0,002614	-3,541E-06	0,013265	-0,000149
318	COMB1	Combination	0,026811	1,324E-06	0,001315	7,921E-06	0,013248	-0,000037
319	COMB1	Combination	0,026816	0,000010	0,002634	2,512E-06	0,013323	-0,000162
320	COMB1	Combination	0,028148	1,147E-06	0,001324	5,242E-07	0,013320	-0,000032
321	COMB1	Combination	0,028152	8,814E-06	0,002651	9,329E-06	0,013369	-0,000137
322	COMB1	Combination	0,029489	1,445E-06	0,001332	-1,843E-06	0,013383	-0,000029
323	COMB1	Combination	0,029492	7,087E-06	0,002666	9,906E-06	0,013427	-0,000089
324	COMB1	Combination	0,030837	1,727E-06	0,001339	-1,651E-07	0,013450	-0,000026
325	COMB1	Combination	0,030839	5,603E-06	0,002680	6,947E-06	0,013496	-0,000053
326	COMB1	Combination	0,032191	1,746E-06	0,001345	2,821E-06	0,013508	-0,000022
327	COMB1	Combination	0,032193	4,444E-06	0,002691	4,398E-06	0,013558	-0,000032
328	COMB1	Combination	0,033551	1,452E-06	0,001350	6,140E-06	0,013559	-0,000017
329	COMB1	Combination	0,033552	3,494E-06	0,002702	2,700E-06	0,013610	-0,000022
330	COMB1	Combination	0,034915	7,853E-07	0,001354	0,000011	0,013606	-0,000013
331	COMB1	Combination	0,034916	2,710E-06	0,002710	3,553E-07	0,013653	-0,000023
332	COMB1	Combination	0,036284	-4,012E-07	0,001357	0,000017	0,013633	-9,113E-06
333	COMB1	Combination	0,036285	2,291E-06	0,002717	-5,655E-06	0,013693	-0,000042
334	COMB1	Combination	0,037656	-2,072E-06	0,001359	0,000018	0,013676	-5,909E-06
335	COMB1	Combination	0,037656	2,971E-06	0,002722	-0,000023	0,013721	-0,000098
336	COMB1	Combination	0,039030	-3,384E-06	0,001360	7,098E-06	0,013657	-6,446E-06
337	COMB1	Combination	0,039031	6,031E-06	0,002725	-0,000049	0,013767	-0,000213
338	COMB1	Combination	0,040399	-3,855E-06	0,001361	0,000012	0,013648	0,000011
339	COMB1	Combination	0,000062	-1,641E-19	-2,815E-18	2,573E-18	0,000984	-0,000125
340	COMB1	Combination	0,000229	-3,837E-19	-5,727E-18	1,003E-18	0,001888	-0,000292
341	COMB1	Combination	0,000487	-3,461E-19	-8,766E-18	-1,416E-18	0,002755	-0,000334
342	COMB1	Combination	0,000823	-2,055E-19	-1,169E-17	-9,841E-19	0,003501	-0,000320
343	COMB1	Combination	0,001234	-1,978E-19	-1,460E-17	9,045E-19	0,004245	-0,000297
344	COMB1	Combination	0,001717	-3,632E-19	-1,783E-17	2,270E-18	0,004940	-0,000275
345	COMB1	Combination	0,002268	-5,555E-19	-2,122E-17	9,626E-19	0,005612	-0,000257
346	COMB1	Combination	0,002884	-5,660E-19	-2,409E-17	-7,837E-19	0,006238	-0,000222
347	COMB1	Combination	0,003561	-3,548E-19	-2,726E-17	-3,931E-18	0,006846	-0,000224
348	COMB1	Combination	0,005083	4,397E-19	-3,323E-17	-7,906E-18	0,007921	-0,000199

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
349	COMB1	Combination	0,005921	1,502E-18	-3,476E-17	-1,309E-17	0,008438	-0,000171
350	COMB1	Combination	0,006808	2,996E-18	-3,583E-17	-1,797E-17	0,008912	-0,000181
351	COMB1	Combination	0,007741	5,293E-18	-3,799E-17	-2,808E-17	0,009368	-0,000172
352	COMB1	Combination	0,008719	8,537E-18	-4,187E-17	-3,430E-17	0,009795	-0,000162
353	COMB1	Combination	0,009738	1,144E-17	-4,729E-17	-2,023E-17	0,010194	-0,000148
354	COMB1	Combination	0,010795	1,207E-17	-5,198E-17	7,887E-18	0,010565	-0,000131
355	COMB1	Combination	0,011888	9,714E-18	-5,436E-17	3,745E-17	0,010897	-0,000105
356	COMB1	Combination	0,013012	4,782E-18	-5,522E-17	6,147E-17	0,011216	-0,000093
357	COMB1	Combination	0,015340	-7,750E-18	-6,063E-17	1,096E-16	0,011725	-0,000074
358	COMB1	Combination	0,016539	-1,785E-17	-6,305E-17	8,716E-17	0,011975	-0,000068
359	COMB1	Combination	0,017760	-2,456E-17	-6,359E-17	4,527E-17	0,012192	-0,000075
360	COMB1	Combination	0,019002	-2,681E-17	-6,258E-17	-1,877E-18	0,012402	-0,000074
361	COMB1	Combination	0,020265	-2,440E-17	-6,108E-17	-4,467E-17	0,012594	-0,000068
362	COMB1	Combination	0,021546	-1,880E-17	-5,963E-17	-6,294E-17	0,012767	-0,000059
363	COMB1	Combination	0,022843	-1,240E-17	-6,031E-17	-6,400E-17	0,012923	-0,000046
364	COMB1	Combination	0,024155	-6,506E-18	-6,309E-17	-5,544E-17	0,013049	-0,000029
365	COMB1	Combination	0,025478	-1,827E-18	-6,451E-17	-3,470E-17	0,013168	-0,000013
366	COMB1	Combination	0,028146	-3,678E-18	-7,492E-17	6,224E-17	0,013314	-1,808E-06
367	COMB1	Combination	0,029488	-1,127E-17	-7,404E-17	8,422E-17	0,013392	-7,082E-06
368	COMB1	Combination	0,030837	-1,954E-17	-7,549E-17	7,720E-17	0,013450	-0,000013
369	COMB1	Combination	0,032191	-2,598E-17	-7,239E-17	5,053E-17	0,013508	-0,000015
370	COMB1	Combination	0,033551	-2,990E-17	-6,713E-17	3,240E-17	0,013562	-0,000013
371	COMB1	Combination	0,034915	-3,299E-17	-6,230E-17	2,371E-17	0,013600	-5,308E-06
372	COMB1	Combination	0,036284	-3,288E-17	-6,098E-17	-3,284E-17	0,013647	0,000011
373	COMB1	Combination	0,037656	-2,495E-17	-6,971E-17	-1,170E-16	0,013649	0,000031
374	COMB1	Combination	0,039028	-1,112E-17	-7,203E-17	-1,554E-16	0,013659	0,000066
375	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
376	COMB1	Combination	0,000066	-0,000014	-0,000082	0,000199	0,001022	-0,000187
377	COMB1	Combination	0,000238	-0,000029	-0,000168	0,000082	0,001961	-0,000291
378	COMB1	Combination	0,000495	-0,000033	-0,000250	-4,568E-06	0,002730	-0,000310
379	COMB1	Combination	0,000831	-0,000032	-0,000327	-0,000024	0,003512	-0,000305
380	COMB1	Combination	0,001241	-0,000030	-0,000401	-0,000026	0,004238	-0,000292
381	COMB1	Combination	0,001724	-0,000028	-0,000471	-0,000024	0,004944	-0,000277
382	COMB1	Combination	0,002275	-0,000026	-0,000538	-0,000025	0,005610	-0,000263
383	COMB1	Combination	0,002891	-0,000024	-0,000601	-0,000031	0,006247	-0,000249
384	COMB1	Combination	0,003568	-0,000020	-0,000662	-0,000044	0,006839	-0,000227
385	COMB1	Combination	0,004302	-0,000017	-0,000719	-0,000018	0,007400	-0,000253
386	COMB1	Combination	0,005088	-0,000018	-0,000773	8,997E-06	0,007931	-0,000201
387	COMB1	Combination	0,005926	-0,000019	-0,000824	-4,346E-06	0,008431	-0,000197
388	COMB1	Combination	0,006812	-0,000018	-0,000872	-0,000011	0,008914	-0,000187
389	COMB1	Combination	0,007745	-0,000017	-0,000917	-0,000014	0,009367	-0,000176
390	COMB1	Combination	0,008723	-0,000016	-0,000960	-0,000016	0,009795	-0,000165
391	COMB1	Combination	0,009742	-0,000015	-0,001000	-0,000018	0,010196	-0,000155
392	COMB1	Combination	0,010799	-0,000013	-0,001037	-0,000021	0,010566	-0,000144
393	COMB1	Combination	0,011892	-0,000012	-0,001071	-0,000025	0,010908	-0,000132
394	COMB1	Combination	0,013016	-9,331E-06	-0,001103	-0,000028	0,011209	-0,000118
395	COMB1	Combination	0,014168	-7,294E-06	-0,001132	-0,000013	0,011483	-0,000122
396	COMB1	Combination	0,015343	-7,436E-06	-0,001159	2,333E-06	0,011734	-0,000098
397	COMB1	Combination	0,016541	-7,855E-06	-0,001184	-7,194E-07	0,011966	-0,000095
398	COMB1	Combination	0,017762	-7,905E-06	-0,001207	-4,401E-06	0,012193	-0,000088
399	COMB1	Combination	0,019004	-7,597E-06	-0,001228	-7,603E-06	0,012401	-0,000080
400	COMB1	Combination	0,020267	-6,999E-06	-0,001247	-0,000010	0,012594	-0,000073
401	COMB1	Combination	0,021548	-6,151E-06	-0,001264	-0,000013	0,012769	-0,000066
402	COMB1	Combination	0,022845	-5,042E-06	-0,001279	-0,000015	0,012923	-0,000059
403	COMB1	Combination	0,024157	-3,679E-06	-0,001293	-0,000017	0,013058	-0,000052
404	COMB1	Combination	0,025480	-2,274E-06	-0,001305	-0,000015	0,013162	-0,000043
405	COMB1	Combination	0,026811	-1,324E-06	-0,001315	-7,921E-06	0,013248	-0,000037

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
406	COMB1	Combination	0,028148	-1,147E-06	-0,001324	-5,242E-07	0,013320	-0,000032
407	COMB1	Combination	0,029489	-1,445E-06	-0,001332	1,843E-06	0,013383	-0,000029
408	COMB1	Combination	0,030837	-1,727E-06	-0,001339	1,651E-07	0,013450	-0,000026
409	COMB1	Combination	0,032191	-1,746E-06	-0,001345	-2,821E-06	0,013508	-0,000022
410	COMB1	Combination	0,033551	-1,452E-06	-0,001350	-6,140E-06	0,013559	-0,000017
411	COMB1	Combination	0,034915	-7,853E-07	-0,001354	-0,000011	0,013606	-0,000013
412	COMB1	Combination	0,036284	4,012E-07	-0,001357	-0,000017	0,013633	-9,113E-06
413	COMB1	Combination	0,037656	2,072E-06	-0,001359	-0,000018	0,013676	-5,909E-06
414	COMB1	Combination	0,039030	3,384E-06	-0,001360	-7,098E-06	0,013657	-6,446E-06
415	COMB1	Combination	0,040399	3,855E-06	-0,001361	-0,000012	0,013648	0,000011
416	COMB1	Combination	0,000083	-0,000033	-0,000184	0,000380	0,001391	-0,000115
417	COMB1	Combination	0,000261	-0,000055	-0,000351	0,000124	0,002139	-0,000189
418	COMB1	Combination	0,000518	-0,000061	-0,000510	0,000042	0,002934	-0,000249
419	COMB1	Combination	0,000853	-0,000061	-0,000663	5,349E-06	0,003694	-0,000277
420	COMB1	Combination	0,001263	-0,000058	-0,000809	-4,387E-06	0,004429	-0,000284
421	COMB1	Combination	0,001744	-0,000056	-0,000950	-4,845E-06	0,005130	-0,000282
422	COMB1	Combination	0,002294	-0,000053	-0,001084	-3,313E-06	0,005801	-0,000282
423	COMB1	Combination	0,002910	-0,000050	-0,001211	-5,161E-06	0,006436	-0,000291
424	COMB1	Combination	0,003586	-0,000048	-0,001331	-9,352E-06	0,007025	-0,000311
425	COMB1	Combination	0,004319	-0,000045	-0,001445	-5,906E-06	0,007568	-0,000313
426	COMB1	Combination	0,005105	-0,000042	-0,001553	-4,508E-06	0,008085	-0,000283
427	COMB1	Combination	0,005941	-0,000040	-0,001654	-4,750E-06	0,008584	-0,000237
428	COMB1	Combination	0,006826	-0,000038	-0,001751	-5,920E-06	0,009065	-0,000205
429	COMB1	Combination	0,007759	-0,000035	-0,001842	-5,125E-06	0,009522	-0,000184
430	COMB1	Combination	0,008735	-0,000033	-0,001927	-3,648E-06	0,009950	-0,000171
431	COMB1	Combination	0,009753	-0,000031	-0,002007	-1,571E-06	0,010351	-0,000166
432	COMB1	Combination	0,010810	-0,000029	-0,002082	1,275E-06	0,010725	-0,000173
433	COMB1	Combination	0,011902	-0,000028	-0,002150	2,612E-06	0,011068	-0,000196
434	COMB1	Combination	0,013027	-0,000026	-0,002213	-4,516E-07	0,011364	-0,000232
435	COMB1	Combination	0,014178	-0,000025	-0,002270	-4,121E-06	0,011610	-0,000243
436	COMB1	Combination	0,015353	-0,000022	-0,002323	-8,855E-06	0,011835	-0,000211
437	COMB1	Combination	0,016549	-0,000020	-0,002372	-9,577E-06	0,012062	-0,000157
438	COMB1	Combination	0,017769	-0,000018	-0,002417	-7,568E-06	0,012290	-0,000116
439	COMB1	Combination	0,019010	-0,000016	-0,002459	-4,924E-06	0,012503	-0,000092
440	COMB1	Combination	0,020272	-0,000015	-0,002498	-2,669E-06	0,012696	-0,000080
441	COMB1	Combination	0,021552	-0,000013	-0,002533	-2,920E-07	0,012872	-0,000078
442	COMB1	Combination	0,022849	-0,000012	-0,002564	2,904E-06	0,013030	-0,000087
443	COMB1	Combination	0,024161	-0,000012	-0,002591	5,644E-06	0,013166	-0,000113
444	COMB1	Combination	0,025485	-0,000011	-0,002614	3,541E-06	0,013265	-0,000149
445	COMB1	Combination	0,026816	-0,000010	-0,002634	-2,512E-06	0,013323	-0,000162
446	COMB1	Combination	0,028152	-8,814E-06	-0,002651	-9,329E-06	0,013369	-0,000137
447	COMB1	Combination	0,029492	-7,087E-06	-0,002666	-9,906E-06	0,013427	-0,000089
448	COMB1	Combination	0,030839	-5,603E-06	-0,002680	-6,947E-06	0,013496	-0,000053
449	COMB1	Combination	0,032193	-4,444E-06	-0,002691	-4,398E-06	0,013558	-0,000032
450	COMB1	Combination	0,033552	-3,494E-06	-0,002702	-2,700E-06	0,013610	-0,000022
451	COMB1	Combination	0,034916	-2,710E-06	-0,002710	-3,553E-07	0,013653	-0,000023
452	COMB1	Combination	0,036285	-2,291E-06	-0,002717	5,655E-06	0,013693	-0,000042
453	COMB1	Combination	0,037656	-2,971E-06	-0,002722	0,000023	0,013721	-0,000098
454	COMB1	Combination	0,039031	-6,031E-06	-0,002725	0,000049	0,013767	-0,000213
455	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
456	COMB1	Combination	0,000078	0,000012	0,000159	-0,000121	0,001434	0,000094
457	COMB1	Combination	0,000267	0,000025	0,000324	-0,000176	0,002305	0,000022
458	COMB1	Combination	0,000533	0,000030	0,000485	-0,000110	0,003040	-0,000073
459	COMB1	Combination	0,000873	0,000030	0,000640	-0,000093	0,003763	-0,000121
460	COMB1	Combination	0,001284	0,000029	0,000788	-0,000085	0,004476	-0,000138
461	COMB1	Combination	0,001766	0,000028	0,000929	-0,000082	0,005175	-0,000145
462	COMB1	Combination	0,002316	0,000027	0,001063	-0,000081	0,005853	-0,000154

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
463	COMB1	Combination	0,002934	0,000025	0,001191	-0,000080	0,006504	-0,000175
464	COMB1	Combination	0,003614	0,000024	0,001312	-0,000077	0,007095	-0,000214
465	COMB1	Combination	0,004348	0,000023	0,001426	-0,000063	0,007598	-0,000248
466	COMB1	Combination	0,005130	0,000021	0,001535	-0,000069	0,008066	-0,000194
467	COMB1	Combination	0,005961	0,000020	0,001637	-0,000068	0,008573	-0,000145
468	COMB1	Combination	0,006843	0,000019	0,001734	-0,000067	0,009072	-0,000114
469	COMB1	Combination	0,007773	0,000018	0,001825	-0,000067	0,009540	-0,000097
470	COMB1	Combination	0,008748	0,000017	0,001910	-0,000068	0,009978	-0,000089
471	COMB1	Combination	0,009766	0,000016	0,001990	-0,000069	0,010391	-0,000091
472	COMB1	Combination	0,010824	0,000015	0,002064	-0,000069	0,010783	-0,000107
473	COMB1	Combination	0,011920	0,000014	0,002133	-0,000068	0,011154	-0,000145
474	COMB1	Combination	0,013051	0,000013	0,002197	-0,000063	0,011456	-0,000216
475	COMB1	Combination	0,014206	0,000013	0,002256	-0,000050	0,011632	-0,000285
476	COMB1	Combination	0,015375	0,000011	0,002310	-0,000047	0,011782	-0,000203
477	COMB1	Combination	0,016564	0,000010	0,002360	-0,000043	0,012020	-0,000124
478	COMB1	Combination	0,017779	9,099E-06	0,002406	-0,000043	0,012276	-0,000078
479	COMB1	Combination	0,019018	8,144E-06	0,002448	-0,000043	0,012507	-0,000054
480	COMB1	Combination	0,020278	7,348E-06	0,002486	-0,000044	0,012713	-0,000044
481	COMB1	Combination	0,021559	6,701E-06	0,002521	-0,000046	0,012901	-0,000046
482	COMB1	Combination	0,022857	6,240E-06	0,002552	-0,000047	0,013078	-0,000063
483	COMB1	Combination	0,024173	5,999E-06	0,002580	-0,000046	0,013241	-0,000102
484	COMB1	Combination	0,025503	5,862E-06	0,002604	-0,000041	0,013348	-0,000175
485	COMB1	Combination	0,026838	5,404E-06	0,002626	-0,000029	0,013336	-0,000247
486	COMB1	Combination	0,028169	4,593E-06	0,002644	-0,000025	0,013310	-0,000167
487	COMB1	Combination	0,029502	3,698E-06	0,002660	-0,000020	0,013378	-0,000089
488	COMB1	Combination	0,030844	2,862E-06	0,002674	-0,000019	0,013473	-0,000045
489	COMB1	Combination	0,032196	2,216E-06	0,002686	-0,000020	0,013552	-0,000022
490	COMB1	Combination	0,033554	1,701E-06	0,002696	-0,000022	0,013617	-0,000013
491	COMB1	Combination	0,034918	1,284E-06	0,002704	-0,000024	0,013677	-0,000016
492	COMB1	Combination	0,036289	1,112E-06	0,002710	-0,000029	0,013747	-0,000041
493	COMB1	Combination	0,037668	1,636E-06	0,002714	-0,000035	0,013853	-0,000114
494	COMB1	Combination	0,039060	3,000E-06	0,002717	-0,000039	0,013986	-0,000291
495	COMB1	Combination	0,040463	6,507E-06	0,002719	-0,000058	0,014068	-0,000613
496	COMB1	Combination	0,000074	1,288E-19	0,000155	7,688E-19	0,001397	-4,925E-18
497	COMB1	Combination	0,000265	1,471E-19	0,000315	6,473E-19	0,002344	-1,171E-17
498	COMB1	Combination	0,000536	0,000000	0,000476	6,541E-18	0,003069	-1,566E-17
499	COMB1	Combination	0,000879	-6,405E-20	0,000631	-1,028E-18	0,003766	-2,203E-17
500	COMB1	Combination	0,001291	1,325E-19	0,000780	-2,683E-19	0,004469	-2,549E-17
501	COMB1	Combination	0,001773	3,565E-19	0,000921	-1,946E-18	0,005165	-3,193E-17
502	COMB1	Combination	0,002324	8,174E-19	0,001056	-3,472E-18	0,005848	-4,775E-18
503	COMB1	Combination	0,002943	1,296E-18	0,001183	-7,229E-18	0,006506	-1,256E-17
504	COMB1	Combination	0,003625	1,884E-18	0,001305	1,021E-17	0,007127	-2,598E-17
505	COMB1	Combination	0,005140	6,722E-18	0,001528	-4,604E-17	0,008012	2,314E-17
506	COMB1	Combination	0,005968	1,058E-17	0,001631	-2,404E-19	0,008541	4,066E-17
507	COMB1	Combination	0,006848	1,405E-17	0,001727	-1,165E-17	0,009048	6,684E-17
508	COMB1	Combination	0,007778	1,630E-17	0,001818	1,739E-17	0,009522	-1,923E-17
509	COMB1	Combination	0,008753	1,746E-17	0,001904	2,126E-17	0,009965	-6,785E-17
510	COMB1	Combination	0,009771	1,749E-17	0,001984	2,257E-17	0,010384	-1,398E-16
511	COMB1	Combination	0,010830	1,588E-17	0,002058	6,342E-17	0,010786	-2,111E-16
512	COMB1	Combination	0,011928	1,257E-17	0,002127	3,274E-17	0,011171	-2,697E-16
513	COMB1	Combination	0,013063	8,335E-18	0,002192	1,050E-16	0,011522	-4,406E-16
514	COMB1	Combination	0,015387	2,733E-18	0,002306	2,428E-17	0,011698	-5,926E-16
515	COMB1	Combination	0,016571	1,042E-18	0,002356	2,146E-17	0,011980	-5,549E-16
516	COMB1	Combination	0,017783	-6,314E-19	0,002402	9,826E-18	0,012250	-6,301E-16
517	COMB1	Combination	0,019020	-2,619E-18	0,002444	7,804E-19	0,012491	-7,444E-16
518	COMB1	Combination	0,020281	-4,020E-18	0,002482	-2,163E-17	0,012704	-7,820E-16
519	COMB1	Combination	0,021561	-4,298E-18	0,002517	-1,487E-17	0,012899	-8,230E-16

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
520	COMB1	Combination	0,022861	-1,759E-18	0,002548	-9,157E-17	0,013085	-6,608E-16
521	COMB1	Combination	0,024178	4,142E-19	0,002576	-1,752E-17	0,013263	-2,374E-16
522	COMB1	Combination	0,025513	2,855E-18	0,002601	-5,484E-17	0,013418	-4,562E-17
523	COMB1	Combination	0,028178	9,908E-18	0,002642	-1,254E-16	0,013229	-4,950E-17
524	COMB1	Combination	0,029507	1,573E-17	0,002658	-3,052E-17	0,013343	4,251E-17
525	COMB1	Combination	0,030847	2,077E-17	0,002672	-6,370E-17	0,013451	4,663E-16
526	COMB1	Combination	0,032197	2,320E-17	0,002684	2,720E-18	0,013540	5,411E-16
527	COMB1	Combination	0,033555	2,150E-17	0,002694	2,844E-17	0,013611	4,628E-16
528	COMB1	Combination	0,034919	1,645E-17	0,002702	5,900E-17	0,013679	1,115E-16
529	COMB1	Combination	0,036291	8,863E-18	0,002708	5,900E-17	0,013768	-1,418E-16
530	COMB1	Combination	0,037675	1,075E-18	0,002712	1,058E-16	0,013910	-3,213E-16
531	COMB1	Combination	0,039077	-4,063E-18	0,002714	2,272E-17	0,014147	-6,319E-16
532	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
533	COMB1	Combination	0,000078	-0,000012	0,000159	0,000121	0,001434	-0,000094
534	COMB1	Combination	0,000267	-0,000025	0,000324	0,000176	0,002305	-0,000022
535	COMB1	Combination	0,000533	-0,000030	0,000485	0,000110	0,003040	0,000073
536	COMB1	Combination	0,000873	-0,000030	0,000640	0,000093	0,003763	0,000121
537	COMB1	Combination	0,001284	-0,000029	0,000788	0,000085	0,004476	0,000138
538	COMB1	Combination	0,001766	-0,000028	0,000929	0,000082	0,005175	0,000145
539	COMB1	Combination	0,002316	-0,000027	0,001063	0,000081	0,005853	0,000154
540	COMB1	Combination	0,002934	-0,000025	0,001191	0,000080	0,006504	0,000175
541	COMB1	Combination	0,003614	-0,000024	0,001312	0,000077	0,007095	0,000214
542	COMB1	Combination	0,004348	-0,000023	0,001426	0,000063	0,007598	0,000248
543	COMB1	Combination	0,005130	-0,000021	0,001535	0,000069	0,008066	0,000194
544	COMB1	Combination	0,005961	-0,000020	0,001637	0,000068	0,008573	0,000145
545	COMB1	Combination	0,006843	-0,000019	0,001734	0,000067	0,009072	0,000114
546	COMB1	Combination	0,007773	-0,000018	0,001825	0,000067	0,009540	0,000097
547	COMB1	Combination	0,008748	-0,000017	0,001910	0,000068	0,009978	0,000089
548	COMB1	Combination	0,009766	-0,000016	0,001990	0,000069	0,010391	0,000091
549	COMB1	Combination	0,010824	-0,000015	0,002064	0,000069	0,010783	0,000107
550	COMB1	Combination	0,011920	-0,000014	0,002133	0,000068	0,011154	0,000145
551	COMB1	Combination	0,013051	-0,000013	0,002197	0,000063	0,011456	0,000216
552	COMB1	Combination	0,014206	-0,000013	0,002256	0,000050	0,011632	0,000285
553	COMB1	Combination	0,015375	-0,000011	0,002310	0,000047	0,011782	0,000203
554	COMB1	Combination	0,016564	-0,000010	0,002360	0,000043	0,012020	0,000124
555	COMB1	Combination	0,017779	-9,099E-06	0,002406	0,000043	0,012276	0,000078
556	COMB1	Combination	0,019018	-8,144E-06	0,002448	0,000043	0,012507	0,000054
557	COMB1	Combination	0,020278	-7,348E-06	0,002486	0,000044	0,012713	0,000044
558	COMB1	Combination	0,021559	-6,701E-06	0,002521	0,000046	0,012901	0,000046
559	COMB1	Combination	0,022857	-6,240E-06	0,002552	0,000047	0,013078	0,000063
560	COMB1	Combination	0,024173	-5,999E-06	0,002580	0,000046	0,013241	0,000102
561	COMB1	Combination	0,025503	-5,862E-06	0,002604	0,000041	0,013348	0,000175
562	COMB1	Combination	0,026838	-5,404E-06	0,002626	0,000029	0,013336	0,000247
563	COMB1	Combination	0,028169	-4,593E-06	0,002644	0,000025	0,013310	0,000167
564	COMB1	Combination	0,029502	-3,698E-06	0,002660	0,000020	0,013378	0,000089
565	COMB1	Combination	0,030844	-2,862E-06	0,002674	0,000019	0,013473	0,000045
566	COMB1	Combination	0,032196	-2,216E-06	0,002686	0,000020	0,013552	0,000022
567	COMB1	Combination	0,033554	-1,701E-06	0,002696	0,000022	0,013617	0,000013
568	COMB1	Combination	0,034918	-1,284E-06	0,002704	0,000024	0,013677	0,000016
569	COMB1	Combination	0,036289	-1,112E-06	0,002710	0,000029	0,013747	0,000041
570	COMB1	Combination	0,037668	-1,636E-06	0,002714	0,000035	0,013853	0,000114
571	COMB1	Combination	0,039060	-3,000E-06	0,002717	0,000039	0,013986	0,000291
572	COMB1	Combination	0,040463	-6,507E-06	0,002719	0,000058	0,014068	0,000613
573	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
574	COMB1	Combination	0,000078	-0,000012	-0,000159	0,000121	0,001434	0,000094
575	COMB1	Combination	0,000267	-0,000025	-0,000324	0,000176	0,002305	0,000022
576	COMB1	Combination	0,000533	-0,000030	-0,000485	0,000110	0,003040	-0,000073

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
577	COMB1	Combination	0,000873	-0,000030	-0,000640	0,000093	0,003763	-0,000121
578	COMB1	Combination	0,001284	-0,000029	-0,000788	0,000085	0,004476	-0,000138
579	COMB1	Combination	0,001766	-0,000028	-0,000929	0,000082	0,005175	-0,000145
580	COMB1	Combination	0,002316	-0,000027	-0,001063	0,000081	0,005853	-0,000154
581	COMB1	Combination	0,002934	-0,000025	-0,001191	0,000080	0,006504	-0,000175
582	COMB1	Combination	0,003614	-0,000024	-0,001312	0,000077	0,007095	-0,000214
583	COMB1	Combination	0,004348	-0,000023	-0,001426	0,000063	0,007598	-0,000248
584	COMB1	Combination	0,005130	-0,000021	-0,001535	0,000069	0,008066	-0,000194
585	COMB1	Combination	0,005961	-0,000020	-0,001637	0,000068	0,008573	-0,000145
586	COMB1	Combination	0,006843	-0,000019	-0,001734	0,000067	0,009072	-0,000114
587	COMB1	Combination	0,007773	-0,000018	-0,001825	0,000067	0,009540	-0,000097
588	COMB1	Combination	0,008748	-0,000017	-0,001910	0,000068	0,009978	-0,000089
589	COMB1	Combination	0,009766	-0,000016	-0,001990	0,000069	0,010391	-0,000091
590	COMB1	Combination	0,010824	-0,000015	-0,002064	0,000069	0,010783	-0,000107
591	COMB1	Combination	0,011920	-0,000014	-0,002133	0,000068	0,011154	-0,000145
592	COMB1	Combination	0,013051	-0,000013	-0,002197	0,000063	0,011456	-0,000216
593	COMB1	Combination	0,014206	-0,000013	-0,002256	0,000050	0,011632	-0,000285
594	COMB1	Combination	0,015375	-0,000011	-0,002310	0,000047	0,011782	-0,000203
595	COMB1	Combination	0,016564	-0,000010	-0,002360	0,000043	0,012020	-0,000124
596	COMB1	Combination	0,017779	-9,099E-06	-0,002406	0,000043	0,012276	-0,000078
597	COMB1	Combination	0,019018	-8,144E-06	-0,002448	0,000043	0,012507	-0,000054
598	COMB1	Combination	0,020278	-7,348E-06	-0,002486	0,000044	0,012713	-0,000044
599	COMB1	Combination	0,021559	-6,701E-06	-0,002521	0,000046	0,012901	-0,000046
600	COMB1	Combination	0,022857	-6,240E-06	-0,002552	0,000047	0,013078	-0,000063
601	COMB1	Combination	0,024173	-5,999E-06	-0,002580	0,000046	0,013241	-0,000102
602	COMB1	Combination	0,025503	-5,862E-06	-0,002604	0,000041	0,013348	-0,000175
603	COMB1	Combination	0,026838	-5,404E-06	-0,002626	0,000029	0,013336	-0,000247
604	COMB1	Combination	0,028169	-4,593E-06	-0,002644	0,000025	0,013310	-0,000167
605	COMB1	Combination	0,029502	-3,698E-06	-0,002660	0,000020	0,013378	-0,000089
606	COMB1	Combination	0,030844	-2,862E-06	-0,002674	0,000019	0,013473	-0,000045
607	COMB1	Combination	0,032196	-2,216E-06	-0,002686	0,000020	0,013552	-0,000022
608	COMB1	Combination	0,033554	-1,701E-06	-0,002696	0,000022	0,013617	-0,000013
609	COMB1	Combination	0,034918	-1,284E-06	-0,002704	0,000024	0,013677	-0,000016
610	COMB1	Combination	0,036289	-1,112E-06	-0,002710	0,000029	0,013747	-0,000041
611	COMB1	Combination	0,037668	-1,636E-06	-0,002714	0,000035	0,013853	-0,000114
612	COMB1	Combination	0,039060	-3,000E-06	-0,002717	0,000039	0,013986	-0,000291
613	COMB1	Combination	0,040463	-6,507E-06	-0,002719	0,000058	0,014068	-0,000613
614	COMB1	Combination	0,000074	-5,476E-20	-0,000155	-1,489E-18	0,001397	-5,402E-18
615	COMB1	Combination	0,000265	-3,278E-20	-0,000315	-8,431E-19	0,002344	-1,661E-17
616	COMB1	Combination	0,000536	2,518E-19	-0,000476	-7,762E-18	0,003069	-3,081E-17
617	COMB1	Combination	0,000879	4,966E-19	-0,000631	-3,573E-18	0,003766	-4,264E-17
618	COMB1	Combination	0,001291	4,570E-19	-0,000780	3,258E-19	0,004469	-2,180E-17
619	COMB1	Combination	0,001773	7,770E-20	-0,000921	4,957E-18	0,005165	-1,604E-17
620	COMB1	Combination	0,002324	-3,922E-19	-0,001056	-2,985E-18	0,005848	-1,096E-17
621	COMB1	Combination	0,002943	-1,085E-18	-0,001183	1,298E-17	0,006506	-9,814E-18
622	COMB1	Combination	0,003625	-1,814E-18	-0,001305	-7,870E-18	0,007127	8,366E-18
623	COMB1	Combination	0,005140	-6,520E-18	-0,001528	4,783E-17	0,008012	4,379E-17
624	COMB1	Combination	0,005968	-1,047E-17	-0,001631	1,743E-17	0,008541	4,380E-17
625	COMB1	Combination	0,006848	-1,424E-17	-0,001727	8,039E-18	0,009048	1,252E-16
626	COMB1	Combination	0,007778	-1,729E-17	-0,001818	1,152E-17	0,009522	9,787E-17
627	COMB1	Combination	0,008753	-1,907E-17	-0,001904	-2,639E-17	0,009965	-2,778E-17
628	COMB1	Combination	0,009771	-1,925E-17	-0,001984	-9,689E-18	0,010384	-2,124E-17
629	COMB1	Combination	0,010830	-1,782E-17	-0,002058	-5,901E-17	0,010786	-8,303E-17
630	COMB1	Combination	0,011928	-1,427E-17	-0,002127	-2,305E-17	0,011171	-2,416E-16
631	COMB1	Combination	0,013063	-9,600E-18	-0,002192	-1,124E-16	0,011522	-4,566E-16
632	COMB1	Combination	0,015387	-3,504E-18	-0,002306	-9,035E-18	0,011698	-5,600E-16
633	COMB1	Combination	0,016571	-2,227E-18	-0,002356	-1,968E-17	0,011980	-5,543E-16

Universitas Indonesia

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
634	COMB1	Combination	0,017783	-8,408E-19	-0,002402	-2,560E-17	0,012250	-6,432E-16
635	COMB1	Combination	0,019020	4,943E-19	-0,002444	-8,317E-18	0,012491	-6,379E-16
636	COMB1	Combination	0,020281	2,042E-18	-0,002482	-6,241E-18	0,012704	-4,089E-16
637	COMB1	Combination	0,021561	2,782E-18	-0,002517	1,308E-17	0,012899	-5,528E-16
638	COMB1	Combination	0,022861	2,127E-18	-0,002548	5,105E-17	0,013085	-2,288E-16
639	COMB1	Combination	0,024178	3,690E-19	-0,002576	3,770E-17	0,013263	-3,900E-16
640	COMB1	Combination	0,025513	-2,044E-18	-0,002601	5,043E-17	0,013418	-4,855E-17
641	COMB1	Combination	0,028178	-1,088E-17	-0,002642	1,302E-16	0,013229	2,067E-16
642	COMB1	Combination	0,029507	-1,868E-17	-0,002658	5,757E-17	0,013343	7,567E-17
643	COMB1	Combination	0,030847	-2,545E-17	-0,002672	6,636E-17	0,013451	4,818E-16
644	COMB1	Combination	0,032197	-2,911E-17	-0,002684	-1,791E-17	0,013540	4,783E-16
645	COMB1	Combination	0,033555	-2,952E-17	-0,002694	-1,131E-17	0,013611	1,667E-16
646	COMB1	Combination	0,034919	-2,741E-17	-0,002702	-6,787E-17	0,013679	1,985E-16
647	COMB1	Combination	0,036291	-2,158E-17	-0,002708	-8,329E-17	0,013768	1,865E-16
648	COMB1	Combination	0,037675	-1,185E-17	-0,002712	-1,708E-16	0,013910	8,678E-17
649	COMB1	Combination	0,039077	-1,068E-19	-0,002714	-9,059E-17	0,014147	-4,485E-16
650	COMB1	Combination	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
651	COMB1	Combination	0,000078	0,000012	-0,000159	-0,000121	0,001434	-0,000094
652	COMB1	Combination	0,000267	0,000025	-0,000324	-0,000176	0,002305	-0,000022
653	COMB1	Combination	0,000533	0,000030	-0,000485	-0,000110	0,003040	0,000073
654	COMB1	Combination	0,000873	0,000030	-0,000640	-0,000093	0,003763	0,000121
655	COMB1	Combination	0,001284	0,000029	-0,000788	-0,000085	0,004476	0,000138
656	COMB1	Combination	0,001766	0,000028	-0,000929	-0,000082	0,005175	0,000145
657	COMB1	Combination	0,002316	0,000027	-0,001063	-0,000081	0,005853	0,000154
658	COMB1	Combination	0,002934	0,000025	-0,001191	-0,000080	0,006504	0,000175
659	COMB1	Combination	0,003614	0,000024	-0,001312	-0,000077	0,007095	0,000214
660	COMB1	Combination	0,004348	0,000023	-0,001426	-0,000063	0,007598	0,000248
661	COMB1	Combination	0,005130	0,000021	-0,001535	-0,000069	0,008066	0,000194
662	COMB1	Combination	0,005961	0,000020	-0,001637	-0,000068	0,008573	0,000145
663	COMB1	Combination	0,006843	0,000019	-0,001734	-0,000067	0,009072	0,000114
664	COMB1	Combination	0,007773	0,000018	-0,001825	-0,000067	0,009540	0,000097
665	COMB1	Combination	0,008748	0,000017	-0,001910	-0,000068	0,009978	0,000089
666	COMB1	Combination	0,009766	0,000016	-0,001990	-0,000069	0,010391	0,000091
667	COMB1	Combination	0,010824	0,000015	-0,002064	-0,000069	0,010783	0,000107
668	COMB1	Combination	0,011920	0,000014	-0,002133	-0,000068	0,011154	0,000145
669	COMB1	Combination	0,013051	0,000013	-0,002197	-0,000063	0,011456	0,000216
670	COMB1	Combination	0,014206	0,000013	-0,002256	-0,000050	0,011632	0,000285
671	COMB1	Combination	0,015375	0,000011	-0,002310	-0,000047	0,011782	0,000203
672	COMB1	Combination	0,016564	0,000010	-0,002360	-0,000043	0,012020	0,000124
673	COMB1	Combination	0,017779	9,099E-06	-0,002406	-0,000043	0,012276	0,000078
674	COMB1	Combination	0,019018	8,144E-06	-0,002448	-0,000043	0,012507	0,000054
675	COMB1	Combination	0,020278	7,348E-06	-0,002486	-0,000044	0,012713	0,000044
676	COMB1	Combination	0,021559	6,701E-06	-0,002521	-0,000046	0,012901	0,000046
677	COMB1	Combination	0,022857	6,240E-06	-0,002552	-0,000047	0,013078	0,000063
678	COMB1	Combination	0,024173	5,999E-06	-0,002580	-0,000046	0,013241	0,000102
679	COMB1	Combination	0,025503	5,862E-06	-0,002604	-0,000041	0,013348	0,000175
680	COMB1	Combination	0,026838	5,404E-06	-0,002626	-0,000029	0,013336	0,000247
681	COMB1	Combination	0,028169	4,593E-06	-0,002644	-0,000025	0,013310	0,000167
682	COMB1	Combination	0,029502	3,698E-06	-0,002660	-0,000020	0,013378	0,000089
683	COMB1	Combination	0,030844	2,862E-06	-0,002674	-0,000019	0,013473	0,000045
684	COMB1	Combination	0,032196	2,216E-06	-0,002686	-0,000020	0,013552	0,000022
685	COMB1	Combination	0,033554	1,701E-06	-0,002696	-0,000022	0,013617	0,000013
686	COMB1	Combination	0,034918	1,284E-06	-0,002704	-0,000024	0,013677	0,000016
687	COMB1	Combination	0,036289	1,112E-06	-0,002710	-0,000029	0,013747	0,000041
688	COMB1	Combination	0,037668	1,636E-06	-0,002714	-0,000035	0,013853	0,000114
689	COMB1	Combination	0,039060	3,000E-06	-0,002717	-0,000039	0,013986	0,000291

Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	m	m	m	Radians	Radians	Radians
690	COMB1	Combination	0,040463	6,507E-06	-0,002719	-0,000058	0,014068	0,000613



Universitas Indonesia