



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI
DENGAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM**

SKRIPSI

**DIAN PRAMITARINI KASIHBUDI
0706266203**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI
DENGAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM**

SKRIPSI

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

**DIAN PRAMITARINI KASIHBUDI
0706266203**

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

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dian Pramitarini Kasihbudi

NPM : 0706266203

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dian Pramitarini Kasihbudi
NPM : 0706266203
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Dinding Bata yang Diperbaiki dengan Plester dan Kawat Anyam

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA ()
Penguji : Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D ()
Penguji : Ir. Sjahril A. Rahim, M. Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 21 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan 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) Allah SWT Tuhan yang Maha Kuasa, saya sungguh tak sanggup lagi berterima kasih dengan kata.
- (2) Bapak Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (3) Bapak Ir. Sjahril A. Rahim, M. Eng dan ibu Ir. Essy Ariyuni, M.Sc, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan saran tambahan yang kemudian menyempurnakan penelitian ini.
- (4) Kedua orang tua, yang tak henti menyampaikan doa dan memberikan dukungan baik moral maupun material untuk kelancaran skripsi ini.
- (5) Bapak Ir. Herr Soeryantono, Msc, PhD selaku pembimbing akademis yang telah memberi banyak saran selama perkuliahan.
- (6) Adikku, serta seluruh keluarga yang juga selalu memberi dukungan dan perhatian selama pengerjaan skripsi.
- (7) Gregory F. Saragih, Rais Pamungkas dan Christy Natalia selaku teman satu tim dalam penelitian ini yang telah bekerja sama dengan baik.
- (8) Bapak Agus dan bapak Pri, Laboran yang selalu membantu selama melakukan pengujian material.
- (9) Mas Yanto, yang membatu persiapan sampel untuk pengujian material.

(10) Teman-teman Sipil & Lingkungan 2007, yang senantiasa mendampingi dalam masa 4 tahun perkuliahan

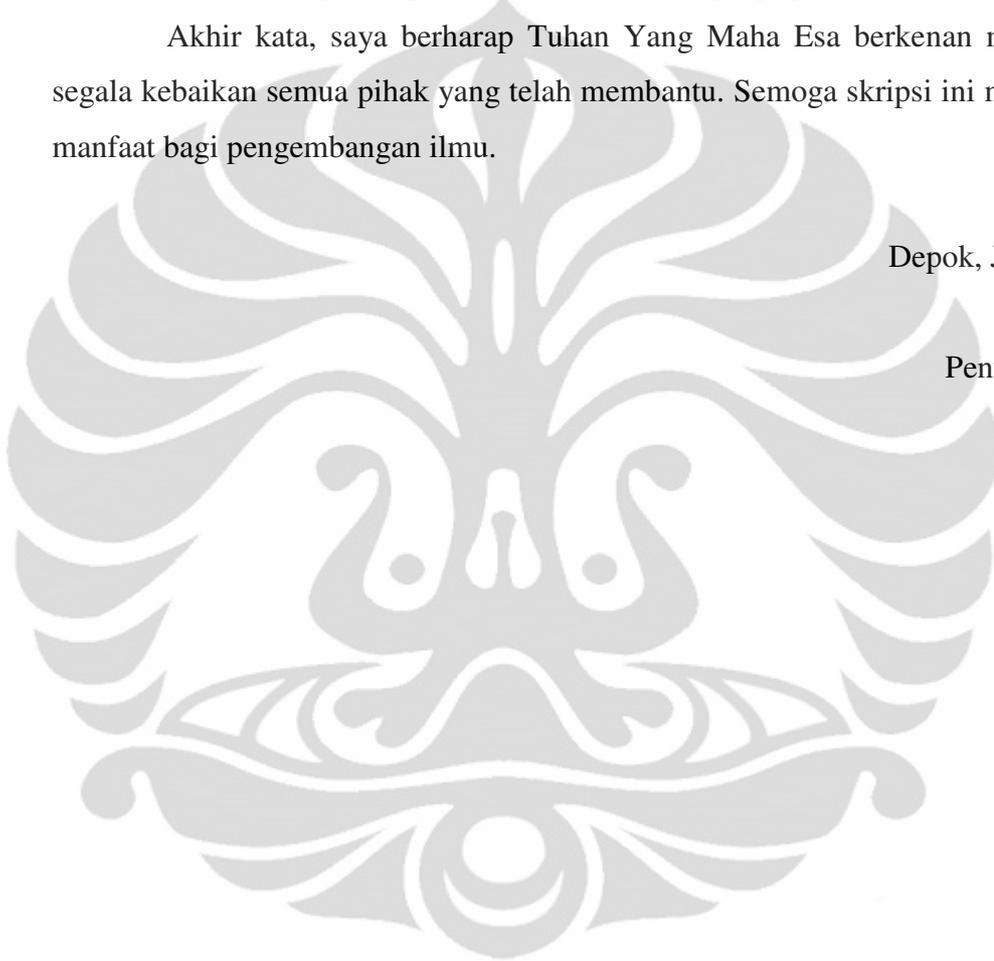
(11) Teman-teman struktur 2007 yang telah menjadi keluarga dalam setahun terakhir dan memberikan dukungan serta bantuan yang luar biasa.

(12) Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang telah memfasilitasi segala kepentingan dalam melengkapi penelitian 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, Juni 2011

Penulis



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

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

Nama : Dian Pramitarini Kasihbudi
NPM : 0706266203
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 tugas akhir saya yang berjudul:

Analisis Kinerja Dinding Bata yang Diperbaiki dengan Plester dan Kawat Anyam

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

Demikia pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 21 Juni 2011

Yang menyatakan



Dian Pramitarini Kasihbudi

ABSTRAK

Nama : Dian Pramitarini Kasihbudi
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Analisis Kinerja Dinding Bata yang Diperbaiki dengan Plester dan Kawat Anyam

Perbaikan dinding bata yang retak dengan kawat anyam semakin banyak digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas metode perbaikan dinding bata yang retak dengan menggunakan kawat anyam dan plester. Analisis dilakukan dengan cara memodelkan dinding bata dengan *continuum model* pada perangkat lunak SAP2000 v14.1. Struktur yang dimodelkan yaitu satu panel dinding dan ruko 3-lantai-3-bentang. Koneksi panel dinding dengan portal dimodelkan dengan *rigid link*. Kedua model dievaluasi dengan analisis statik linier. Satu panel dinding dikenakan beban lateral statik dan ruko 3-lantai-3-bentang dikenai beban gempa statik ekuivalen. Pada model satu panel dinding juga diamati perubahan distribusi tegangan pada portal akibat pelepasan link.

Untuk mengetahui peningkatan kekuatan, dilakukan analisis tegangan. Sedangkan untuk mengetahui perubahan kekakuan, dilakukan analisis terhadap karakteristik dinamik. Analisis terhadap hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kawat anyam dalam perbaikan dinding bata meningkatkan kekuatan atau kapasitas dinding namun tidak signifikan pengaruhnya terhadap kekakuan.

Kata kunci: dinding bata, kawat anyam, plester, beban lateral, *Continuum model*

ABSTRACT

Name : Dian Pramitarini Kasihbudi
Study Program : Civil Engineering
Title : Analysis of Performance of Masonry Wall Retrofitted with Plaster and Low-grade Wire Mesh

Repairing cracked masonry wall with low-grade wire mesh is increasingly being used. This study aims to determine the effectiveness of the retrofitting method for cracked masonry wall using both low-grade wire mesh and plaster. The analysis was performed by modeling the masonry wall with continuum model using SAP2000 v14.1. The modeling was carried out on both a single panel of masonry wall structure and a 3-bays-3-stories store-house building (ruko) structure. The connection between panel and frames was modeled as a rigid link. Both models were then evaluated by linear static analysis. A single panel structure models were subjected to static lateral loads. The 3-bays-3-stories store-house building models were imposed by static equivalent load based on nominal earthquake load. The change of stress distribution in frames due to the releasing of link was also observed on the single panel models.

To determine the increasing on strength, the stress analysis was performed. However, to evaluate the stiffness changes, the analysis of the dynamic properties was done. The analysis of the results indicated that the addition of low-grade wire mesh in retrofitting masonry walls increases the strength of the structure but does not significantly influence its stiffness.

Keywords: Masonry walls, low-grade wire mesh, plaster, lateral load, Continuum model

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Batasan Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Dinding Bata.....	6
2.1.1 Batu Bata.....	6
2.1.1.1 Definisi	6
2.1.1.2 Karakteristik Material.....	6
2.1.2 Kegagalan dan Pola Retak pada Dinding Bata	8
2.1.3 Perbaikan Dinding Bata	10
2.1.4 Pemodelan Dinding Bata.....	13
2.2 Metode Elemen Hingga.....	14

2.2.1	Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga.....	15
2.2.2	Metode Elemen Hingga untuk elemen <i>Frame</i>	15
2.2.3	Metode Elemen Hingga untuk perilaku <i>plane stress</i>	16
2.2.3.1	Regangan dan Tegangan	17
2.2.3.2	Stress Averaging.....	18
2.3	Analisis Tegangan	19
2.3.1	Perilaku Material.....	19
2.3.2	Hukum Hooke	20
2.3.3	Poisson's Ratio.....	20
2.3.4	Transformasi Tegangan.....	21
2.3.5	Tegangan Utama	22
2.4	Dinamika Struktur	23
2.4.1	Persamaan Dinamik akibat Gempa	23
2.4.2	Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Geratan Bebas.....	23
2.4.3	Analisis Statik Ekuivalen	25
BAB 3 Metodologi Penelitian.....		28
3.1	Pengetesan Karakteristik Material.....	29
3.2	Definisi Properti Material.....	32
3.2.1	Dinding Bata	32
3.2.2	Plester	33
3.2.3	Kawat	34
3.3	Parameter Penelitian dan Variasi Permodelan.....	34
3.3.1	Parameter Penelitian.....	35
3.3.2	Variasi Permodelan	35
3.4	Definisi Beban	37
3.4.1	Satu Panel Dinding.....	37
3.4.2	Ruko 3 lantai – 3 bentang.....	38
3.5	Permodelan	41
3.5.1	Modelisasi Satu Panel Dinding Bata.....	41
3.5.2	Modelisasi Ruko Tiga Lantai Tiga Bentang	45
3.6	Prosedur Analisis.....	48
3.6.1	Satu Panel Dinding Bata	49

3.6.2	Ruko 3 bay - 3 story	49
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS	51
4.1	Satu Panel Dinding	51
4.1.1	Gaya Dalam Elemen	51
4.1.1.1	Elemen Dinding Bata	51
4.1.1.2	Elemen Plester	58
4.1.1.3	Elemen Kawat	64
4.1.2	Distribusi Tegangan pada Sisi Panel Akibat Pelepasan Link	65
4.2	Ruko Tiga Bentang 3 Lantai	73
4.2.1	Periode Natural dan Gaya Geser Dasar	73
4.2.2	Proporsi Gaya Geser Dasar Pada Portal dan Panel Dinding	78
4.2.3	Simpangan dan Kekakuan	81
4.2.4	Panel Dinding	86
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	89
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	90
DAFTAR REFENSI		91
LAMPIRAN		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.Peta Zonasi Gempa Indonesia	1
Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial Clay Brick Masonry P.A Hidalgo And C. Luders	7
Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Tekan Concrete Masonry	7
Gambar 2.3 Sliding Failure Dan Shear Failure	9
Gambar 2.4 Model <i>knee-braced frame</i> pada <i>Sliding shear failure</i>	9
Gambar 2.5 Material Yang Digunakan Dalam <i>Ferrocement</i>	11
Gambar 2.6 Dimensi Tipikal Dari <i>Reinforced Plaster</i>	11
Gambar 2.7 Aplikasi <i>Shotcrete</i> Untuk Tes Specimen	12
Gambar 2.8 Kurva specimen sebelum dan sesudah perbaikan dengan menggunakan <i>shotcrete</i>	12
Gambar 2.9 Elemen <i>Frame</i>	16
Gambar 2.10 Beban <i>In-Plane</i>	17
Gambar 2.11 Elemen <i>Plane</i> dan Tegangan pada Elemen <i>Plane</i>	17
Gambar 2.12 Tegangan pada <i>Gauss Points</i> diekstrapolasi ke sisi tepi elemen	19
Gambar 2.13 Transformasi Tegangan	22
Gambar 2.14 Tegangan Utama	22
Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	28
Gambar 3.2 Gambar kerja uji kuat geser plester	30
Gambar 3.3 Gambar kerja uji kuat geser plester dan kawat	30
Gambar 3.4 Gambar Kerja Uji Kawat	31
Gambar 3.5 <i>Setting</i> Alat Untuk Pengujian Kawat	31
Gambar 3.6 Penggantung Beban	31
Gambar 3.7 Beban Yang Digunakan	32
Gambar 3.8 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 1 grid	36
Gambar 3.9 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 2 grid	36
Gambar 3.10 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 3 grid	36
Gambar 3.11 Beban Terpusat <i>in-plane</i>	38
Gambar 3.12 Daerah Pembebanan Lantai	39
Gambar 3.13 Ilustrasi pembebanan titik akibat balok pada arah ortogonal portal	39

Gambar 3.14 Pemodelan satu panel dinding bata	43
Gambar 3.15 Tampak Atas Ruko.....	45
Gambar 3.16 Portal yang Ditinjau	46
Gambar 3.17 Pemodelan Ruko	47
Gambar 3.18 Alur Proses Analisis	48
Gambar 4.1 Gambar Elemen dinding bata nomor 13	52
Gambar 4.2 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik dinding bata terhadap jenis panel dinding	53
Gambar 4.3 Elemen dinding Bata nomor 883.....	55
Gambar 4.4 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tekan dinding bata terhadap jenis panel dinding	56
Gambar 4.5 Elemen plester nomor 379.....	59
Gambar 4.6 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik plester terhadap jenis panel dinding.....	60
Gambar 4.7 Elemen plester nomor 671.....	62
Gambar 4.8 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tekan plester terhadap jenis panel dinding	64
Gambar 4.9 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik kawat terhadap variasi penggunaan kawat	65
Gambar 4.10 Sisi panel yang akan ditinjau.....	66
Gambar 4.11 Ilustrasi pergerakan tegangan maksimum dan minimum.....	67
Gambar 4.12 Grafik Distribusi tegangan pada sisi A (sisi vertikal)	68
Gambar 4.13 Grafik Distribusi tegangan pada sisi B (sisi horisontal).....	69
Gambar 4.14 Grafik Distribusi tegangan pada sisi C (sisi vertikal)	69
Gambar 4.15 Grafik Distribusi tegangan pada sisi D (sisi horisontal)	70
Gambar 4.16 Gambar Ringkasan grafik hasil pelepasan link pada sisi panel	70
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan periode natural tiap model	74
Gambar 4.18 Grafik Perbandingan periode natural antarkondisi panel.....	75
4.19 Grafik Perbandingan gaya geser dasar tiap variasi	77
4.20 Grafik Perbandingan gaya geser dasar antarkondisi panel	78
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan prosentase gaya geser dasar portal pada masing-masing variasi berbagai kondisi panel	80

Gambar 4.22 Grafik Perbandingan prosentase gaya geser dasar portal pada berbagai kondisi panel.....	81
Gambar 4.23 Grafik Perbandingan angka kekakuan tiap variasi.....	84
Gambar 4.24 Grafik Perbandingan angka kekakuan antarkondisi panel	84
Gambar 4.25 Grafik perbandingan kekakuan tiap lantai variasi model.....	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah	6
Tabel 2.2 Kuat Tekan Pasangan Bata Merah	7
Tabel 2.3 Perbandingan <i>Diagonal Compression Strut</i> Dengan <i>Continuum Model</i>	14
Tabel 3.1 Beban putus kawat	32
Tabel 3.2 Tegangan Putus Kawat.....	34
Tabel 3.3 Tabel Variasi parameter : lebar kawat anyam.....	35
Tabel 3.4 Variasi Permodelan	37
Tabel 3.5 Tabel Pembebanan Portal.....	40
Tabel 3.6 Tabel Berat Bangunan.....	41
Tabel 4.1 Tegangan maksimum elemen dinding bata dan gaya yang menyebabkan kegagalan tarik	52
Tabel 4.2 Ilustrasi tegangan utama paada elemen acuan	54
Tabel 4.3 Tegangan minimum elemen dinding bata dan gaya yang menyebabkan kegagalan tekan.....	56
Tabel 4.4 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan	58
Tabel 4.5 Tegangan maksimum elemen plester dan gaya yang menyebabkan kegagalan tarik	59
Tabel 4.6 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan	60
Tabel 4.7 Tegangan minimum elemen plester dan gaya yang menyebabkan kegagalan tekan.....	62
Tabel 4.8 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan	63
Tabel 4.9 Tegangan maksimum kawat pada dinding bata sesuai dengan variasi .	64
Tabel 4.10 Tegangan maksimum-minimum akibat pelepasan link	66
Tabel 4.11 Gaya dalam lintang dan momen pada pelepasan <i>link</i>	71
Tabel 4.12 Periode natural model acuan	73
Tabel 4.13 Periode natural variasi model.....	74
Tabel 4.14 Gaya geser dasar model acuan	76
Tabel 4.15 Gaya geser dasar model acuan	76

Tabel 4.16 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi model acuan	78
Tabel 4.17 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model sebelum diperbaiki	79
Tabel 4.18 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model setelah perbaikan dengan plester.....	79
Tabel 4.19 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model setelah perbaikan dengan plester dan kawat	80
Tabel 4.20 Simpangan puncak model acuan.....	82
Tabel 4.21 Simpangan puncak variasi model	82
Tabel 4.22 kekakuan model acuan	83
Tabel 4.23 kekakuan variasi model.....	83
Tabel 4.24 kekakuan tiap lantai model acuan	85
Tabel 4.25 kekakuan tiap lantai variasi model.....	85
Tabel 4.26 Tegangan Utama pada elemen plester	87
Tabel 4.27 Tegangan maksimum pada elemen Dinding Bata.....	87
Tabel 4.28 Tegangan maksimum pada kawat anyam	88

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Faktor C sesuai SNI 03-1736-2002	93
Lampiran 2: Beban Gempa Nominal Setiap Lantai Sesuai SNI 03-1736-2002	94
Lampiran 3: Simpangan Tiap Lantai Masing-masing Variasi Model.....	95
Lampiran 4: Distribusi Tegangan Maksimum Model Satu Panel Dinding.....	96
Lampiran 5: Distribusi Tegangan Minimum Model Satu Panel Dinding.....	103
Lampiran 6: Arah Vektor Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding.....	109
Lampiran 7: Distribusi Tegangan Maksimum Model Ruko	127
Lampiran 8: Distribusi Tegangan Minimum Model Ruko	133

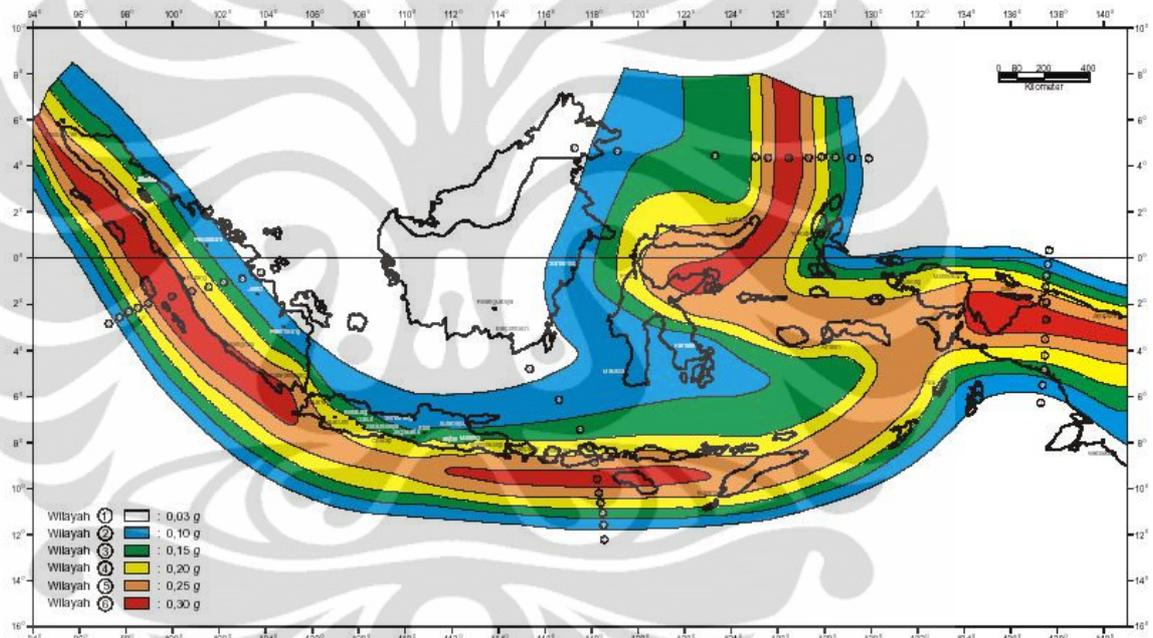


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia, kecuali Kalimantan, rawan terhadap bencana gempa. Dewasa ini, pergeseran lempeng bumi mengalami perubahan dan membentuk jalur gempa baru untuk wilayah Indonesia.



Gambar 1.1. Peta Zonasi Gempa Indonesia

Sumber : SNI 03-1726-2002

Setiap tahun, terjadi gempa-gempa berskala kecil maupun besar di berbagai penjuru Indonesia. Tidak sedikit gempa yang menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Beberapa kejadian gempa mencatat kerusakan atau keruntuhan bangunan yang menyebabkan timbulnya korban jiwa didominasi oleh kegagalan bangunan *non-engineered*. Bangunan *non-engineered* adalah bangunan yang dibangun secara swadaya oleh masyarakat tanpa melalui konsultasi dan perancangan oleh ahli struktur, biasanya rumah tinggal atau bangunan komersil sampai dua lantai. Di Indonesia, mayoritas bangunan yang dibangun secara

swadaya terhitung masih jauh dari standar sedangkan sekitar 80% penyediaan rumah tinggal dilakukan secara swadaya. Selain efek struktural yang tidak baik karena jauh dari standar, kerusakan bangunan *non-engineered* juga disebabkan dari penggunaan material. Mayoritas bangunan *non-engineered* menggunakan material bata merah sebagai dinding pengisi. Material bata menjadi pilihan masyarakat karena murah dan mudah didapatkan. Namun, di Indonesia batu bata dibuat dari tanah lempung yang diproduksi secara lokal tanpa adanya standar kualitas. Hal ini kemudian menambah kekhawatiran mengenai kekuatan dan ketahanan bangunan *non-engineered*. Oleh karena itu, bangunan *non-engineered* memiliki risiko tinggi bila terjadi gempa.

Kerusakan yang banyak terjadi pada bangunan *non-engineered* ketika terjadi gempa adalah retak pada dinding bata. Kerusakan ini tidak tergolong pada kegagalan struktur melainkan hanya berupa kerusakan non-struktural. Bangunan yang hanya mengalami kerusakan non-struktural pada dasarnya masih layak digunakan, tetapi membutuhkan perkuatan atau perbaikan untuk mengembalikan performa bangunan.

Metode perbaikan dinding bata yang retak lebih dari 5 mm pada umumnya dilakukan dengan mengisi retakan dengan plaster. Seiring dengan kemajuan zaman, kemudian mulai banyak digunakan kawat anyam untuk ‘mengikat’ retakan yang terjadi lalu dilapisi kembali plaster. Alternatif ini dipilih karena dinilai murah, mudah dilakukan dan memberikan efek perbaikan yang lebih bila dibandingkan dengan perbaikan retak yang hanya mengisi bagian retak dengan plester (Boen T. a., 2010).

Walaupun sudah banyak dilakukan, namun belum ada penelitian yang dilakukan khusus untuk mempelajari efektifitas penggunaan kawat anyam dan plesteran sebagai salah satu metode perbaikan dan perkuatan dinding bata yang retak lebih dari 5 mm serta bagaimana perilaku dari pasangan bata setelah diperbaiki jika gempa terjadi kembali.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu masyarakat untuk menentukan metode perbaikan dan perkuatan dinding bata yang tepat untuk mengatasi kerusakan non-struktural yang kerap terjadi ketika bangunan *non-engineered* diguncang gempa.

1.2 Perumusan Masalah

Kerusakan pada dinding berupa retak akibat gaya lateral semakin banyak terjadi di daerah Indonesia menyusul semakin sering terjadi gempa di wilayah-wilayah rawan. Beberapa metode perbaikan sudah sering diterapkan, terutama perbaikan dinding retak dengan plesteran biasa. Di beberapa tempat, perbaikan dinding bata yang retak akibat gaya lateral dengan menggunakan bantuan kawat anyam pun sudah pernah dilakukan. Namun secara ilmiah, perbaikan dinding bata yang retak akibat gaya lateral dengan menggunakan kawat anyam dan plesteran belum diketahui pasti akan dapat meningkatkan kekuatan dinding secara signifikan bila dibandingkan dengan perbaikan dinding bata yang hanya menggunakan plesteran biasa. Melalui penelitian ini, kemudian diharapkan dapat menjelaskan secara ilmiah sesuai dengan disiplin ilmu teknik sipil efek perbaikan dinding bata dengan kawat anyam dan plesteran.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar atau seberapa signifikan efek perbaikan dinding bata yang retak dengan menggunakan kawat anyam dan plester.

1.4 Hipotesis

Penggunaan kawat anyam akan meningkatkan kinerja dinding bata yang telah retak akibat gaya lateral *in-plane* yang berasal dari gempa. Peningkatan kekuatan dinding bata yang diperbaiki dengan kawat anyam dan plesteran akan lebih signifikan bila dibandingkan dengan kekuatan dinding bata yang diperbaiki hanya dengan plester saja.

1.5 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa metodologi, antara lain:

1. Studi Literatur

Melakukan eksplorasi terhadap literatur-literatur dalam negeri maupun luar negeri, baik berupa buku maupun jurnal penelitian.

2. Uji Eksperimental

Melakukan uji eksperimental untuk mendapatkan karakteristik material yang akan digunakan dalam pemodelan.

3. Pemodelan

Memodelkan panel dinding bata dan dinding bata pada bangunan Ruko menggunakan elemen hingga dengan software SAP 2000 v14.1

4. Analisa dan komparasi hasil

Menganalisis hasil untuk mengambil kesimpulan.

1.6 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada analisis kinerja dinding bata dengan menggunakan analisis statik linier atau analisis statik ekuivalen untuk merepresentasikan beban gempa. Beban gempa yang digunakan adalah Gempa Rencana Wilayah 3 untuk tanah lunak ($PGA = 0,30g$) yang diatur dalam berdasarkan SNI 03-1726-2002. Beban gempa diberikan kepada struktur sebagai beban lateral *in-plane* statik ekuivalen dengan distribusi mengikuti distribusi pola getar pertama fundamental.

Model struktur yang digunakan adalah model struktur panel berupa dinding bata 3m x 3m dan model aplikasi struktur berupa ruko 3 lantai – 3 bentang. Material yang digunakan untuk portal adalah beton bertulang dan panel pengisi dinding adalah bata industri rumah. Kawat Anyam yang digunakan adalah ukuran 1 inchi x 1 inchi.

Modelisasi dan analisis dilakukan dengan perangkat lunak *Structural Analysis Program* SAP2000 v14.1 Struktur dimodelkan sebagai *continuum model* portal beton dengan dinding pengisi dua dimensi sehingga dapat dianalisis perilaku tarik dari dinding bata yang ditinjau.

1.7 Sistematika Penulisan

1. Bab I Pendahuluan

Bab satu menjabarkan latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian, hipotesa dan sistematika penulisan.

2. Bab II Landasan Teori

Bab dua menjabarkan teori-teori terkait yang mendukung penelitian baik dalam menentukan input penelitian serta dalam menganalisis hasil penelitian. Adapun teori terkait yang akan dibahas antara lain konsep

dinamika struktur, properti material yang digunakan dalam penelitian, pembebanan serta permodelan.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab tiga menjabarkan tentang bagaimana penelitian akan dilakukan dan apa saja yang akan dilakukan. Dalam bab ini disertakan pula sekema penelitian dan variasi parametrik dalam permodelan serta permodelan yang dilakukan untuk kebutuhan analisis data.

4. Bab IV Analisis Hasil Penelitian

Bab empat menjabarkan analisis hasil *running* dari struktur yang telah dimodelkan pada bab empat. Dalam menganalisis untuk menjawab tujuan, data yang diamati adalah deformasi, gaya-gaya dalam serta periode getar dari masing-masing model.

5. Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab enam berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan pada bab lima. Kesimpulan yang dibuat merupakan jawaban dari tujuan penelitian dan pembuktian hipotesis.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Dinding Bata

2.1.1 Batu Bata

2.1.1.1 Definisi

Bata merah (clay brick) adalah bahan bangunan yang digunakan untuk pembuatan konstruksi bangunan, dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lainnya yang dibentuk persegi panjang, dibakar pada suhu yang tinggi hingga tidak dapat jancur lagi bila direndam dalam air (Nasional, Bata Merah Pejal, 1991). Bata merah yang berlubang kurang dari 15 % luas potongan datarnya, termasuk lingkup standar ini.

2.1.1.2 Karakteristik Material

a. Modulus Elastisitas

Berdasarkan penelitian di Indonesia (hasil penelitian laboratorium bahan Universitas Indonesia) untuk kalangan sendiri, didapatkan modulus elastisitas bata merah berdasarkan penggunaan plesteran dan kamprot pada pasangan bata merah

Tabel 2.1 Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah

No	Jenis pasangan	Modulus Elastisitas (Mpa)
1.	Tanpa plesteran	2237.50
2.	Dengan plesteran	3201.86
3.	Dengan kamprot + plesteran	2135.80

Sumber : Penelitian (Case Study) Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia

b. Kuat Tarik

Berdasarkan penelitian di Indonesia (hasil penelitian di laboratorium bahan universitas Indonesia) untuk kalangan sendiri

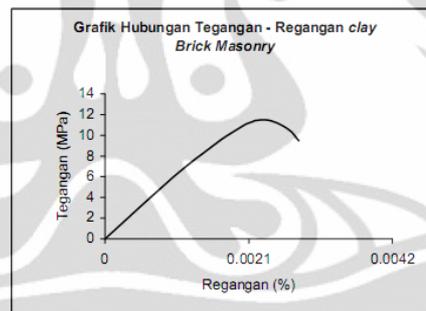
Tabel 2.2 Kuat Tekan Pasangan Bata Merah

No	Jenis Pasangan	Kuat tekan (Mpa)
1	Tanpa plesteran	10.91
2	Dengan plesteran	11.05
3	Dengan kamprot +plesteran	10.88

Sumber : Penelitian (Case Study) Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia

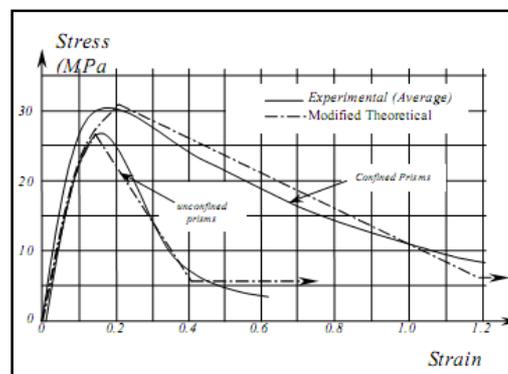
c. Kuat Tarik

Dikarenakan tidak didapatkannya nilai kuat tarik yang pasti, maka untuk mengetahui nilai kuat tarik dilakukan pendekatan rumus beton, dimana pada beton nilai kuat tarik berkisar 8-15% dari kuat tekan beton (MacGregor, 2006). Hal ini didasari oleh hubungan tegangan-regangan elemen pasangan bata yang mempunyai perilaku yang sama dengan beton namun kuat tekannya lebih rendah seperti yang diperlihatkan oleh gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial Clay Brick Masonry P.A Hidalgo And C. Luders

sumber : Hidalgo, P. A. & Luders, C.1984



Gambar 2.2 Kurva Tegangan-Regangan Tekan Concrete Masonry

sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992

2.1.2 Kegagalan dan Pola Retak pada Dinding Bata

Kegagalan pada dinding bata terjadi karena dinding tersebut menerima gaya yang melebihi kapasitas pengisi dinding bata (Paulay, 1990). Ada dua jenis kegagalan pada dinding bata yang berkaitan dengan arah gaya yang bekerja.

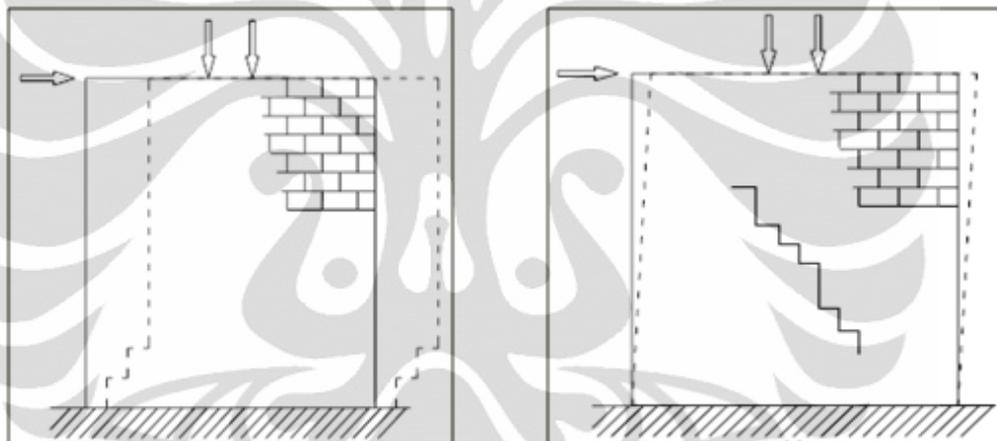
- a. *Out-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus pada bidang dinding. Dinding bata akan mengalami keruntuhan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*
- b. *In-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja sejajar pada bidang dinding. Keruntuhan ini terjadi karena pada tingkat kekuatan gaya lateral yang relatif rendah, struktur portal dan dinding pengisi akan bekerja bersama sebagai struktur komposit. Ketika deformasi lateral meningkat, struktur akan mengalami perilaku yang kompleks dimana struktur portal akan mengalami deformasi dalam *flexural mode* sedangkan dinding pengisi mengalami deformasi dalam *shear mode*. Akibat dari perilaku ini, maka akan terjadi pemisahan antara portal dan dinding pengisi pada ujung-ujung tarik dan perubahan pada *diagonal compression strut*. Pemisahan ini akan menurunkan 50% sampai 70% kapasitas geser lateral dan akan mengecilkan lebar efektif dari *diagonal compression strut*. Ada beberapa tipe kegagalan pada dinding bata akibat gaya lateral (*in-plane load*), seperti:

- *Tension Failure Mode*: Kegagalan tarik dari kolom yang tidak kuat menahan tarik akibat momen
- *Sliding shear failure*: Kegagalan geser pada dinding sepanjang arah horizontal dekat atau tepat pada setengah ketinggian panel dinding pengisi
- *Diagonal Tensile Cracking*: Retak sepanjang diagonal dinding bata karena tarik
- *Compression failure of the diagonal strut*
- *Flexural or shear failure of the columns*

Dari kelima bentuk kegagalan di atas yang paling dominan terjadi adalah *Sliding shear failure* dan *Compression failure of the diagonal strut*. Berikut akan dijelaskan lebih lanjut mengenai kedua moda kegagalan tersebut.

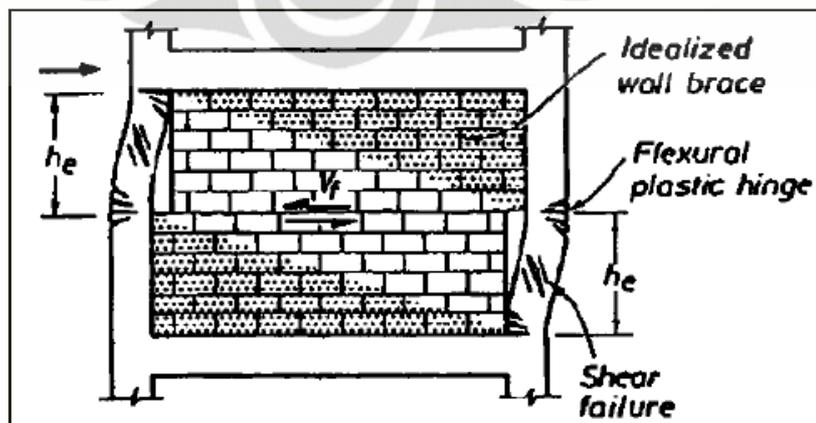
- Sliding shear failure

Kegagalan ini terjadi ketika ada gaya lateral yang besar pada struktur yang menyebabkan adanya perpindahan yang besar pada ujung atas dinding bata. Jika moda kegagalan ini terjadi, mekanisme kesetimbangan struktur berubah dari *diagonally braced pin-jointed* menjadi *knee-braced frame*. Perkuatan yang disumbangkan oleh dinding pengisis bata memberikan gaya pada kolom sehingga terjadi sendi plastis pada sekitar setengah ketinggian panel dinding yang dapat menyebabkan kegagalan geser pada kolom. Pada mulanya, semua gaya geser akan ditanggung oleh dinding bata, namun ketika *Sliding shear failure* terjadi, penambahan deformasi menyebabkan terjadinya momen dan geser pada kolom. Hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran antara dinding bagian atas dan bagian bawah yang kemudian menimbulkan pergeseran horisontal.



Gambar 2.3 Sliding Failure Dan Shear Failure

sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992



Gambar 2.4 Model *knee-braced frame* pada *Sliding shear failure*

sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992

- Compression Failure Of The Diagonal Strut

Kegagalan ini terjadi ketika strut diagonal tidak mampu menahan tekan sementara diagonal lainnya mengalami tarik. Hal ini akan menyebabkan pemisahan diagonal akan didahului oleh keretakan pada diagonal. Dalam siklus inelastis, kapasitas dari strut diagonal mengalami penurunan dan perilaku dinding dengan portal akan mendekati *knee-braced frame*.

Dari ulasan di atas, kemudian direkomendasikan untuk mendisain portal dengan dinding pengisi bata pada moda kegagalan geser atau moda kegagalan *diagonal compression* untuk dapat menahan gaya lateral sesuai dengan respon elastis dari level disain gempa.

2.1.3 Perbaikan Dinding Bata

Ada beberapa cara teknik konvensional yang kerap digunakan dalam perbaikan dan perkuatan *un-reinforced masonry* (URM) terhadap gaya seismik. Salah satunya adalah metode pelapisan permukaan dinding (*surface treatment*). Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan dan terus berkembang. Pelapisan permukaan dinding dibedakan dalam beberapa metode seperti *ferrocement*, *reinforced plaster* dan *shotcrete* (El Gawadi, 2004).

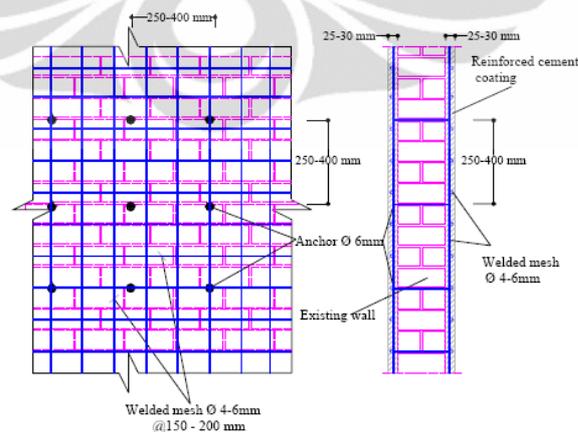
Ferrocement adalah metode perbaikan dengan menggunakan *mesh* yang dilapisi dengan plaster. Properti mekanik dari *ferrocement* bergantung kepada properti *mesh* yang digunakan. *Ferrocement* idela diterapkan untuk perbaikan rumah tinggal karena terbilang murah dan mudah sehingga dapat dikerjakan oleh *unskilled workers*. Metode ini dapat meningkatkan perilaku dinding baik secara *in-plane* maupun *out-plane*. *Mesh* yang digunakan membantu menahan unit-unit bata setelah mengalami retak sehingga meningkatkan kapasitas deformasi elastis dalam arah *in-plane*. Dalam *static cyclic tests* (Abrams and Lynch 2001), metode ini dapat meningkatkan resistansi lateral dinding dalam arah *in-plane* dengan faktor 1.5. sedangkan dalam arah *out-plane*, metode ini dapat meningkatkan stabilitas *out-of-plane* karena meningkatkan rasio *height-to-thickness* dari dinding bata.



Gambar 2.5 Material Yang Digunakan Dalam *Ferrocement*

sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001

Reinforced plaster adalah metode perbaikan dengan pelapisan tipis semen di atas *high strength steel reinforcement* (Sheppard and Tercelej 1980). Dalam *diagonal tension test* dan *static cyclic tests*, metode ini terbukti dapat meningkatkan resistansi dinding bata terhadap gaya *in-plane* dengan faktor 1.25-3 (Jabarov et al. 1980, Sheppard and Tercelej 1980). Peningkatan kekuatan dinding bata sangat dependen terhadap tebal lapisan semen, kekuatan plaster semen, kualitas *steel reinforcement*, ikatan *steel reinforcement* terhadap dinding bata yang diperbaiki dan tingkat kerusakan dinding bata.



Gambar 2.6 Dimensi Tipikal Dari *Reinforced Plaster*

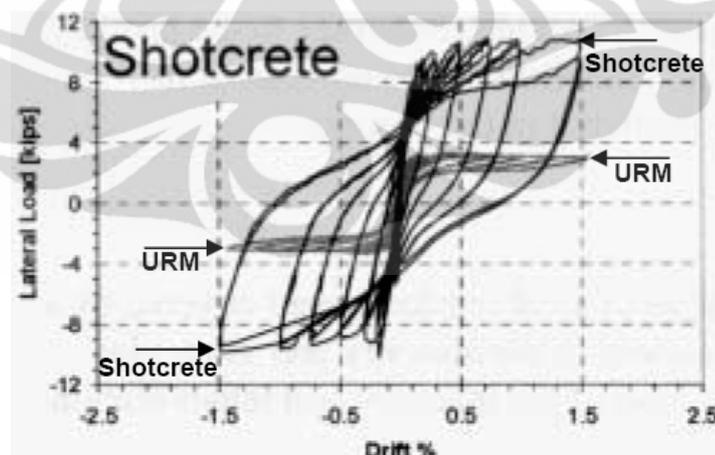
sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001

Shotcrete adalah metode perbaikan dinding dengan mennyemprotkan beton pada *mesh* yang telah dipasang pada dinding bata yang rusak. Ketebalan dari *shotcrete* dapat disesuaikan dengan perencanaan gempa. Secara signifikan, metode *shotcrete* dapat meningkatkan kekuatan ultimate dinding. Dengan menggunakan *shotcrete* setebal 90 mm, dalam *diagonal tension test* (Kahn 1984) dapat meningkatkan gaya ultimate pada URM panel dengan faktor 6-25. Sedangkan dalam *static cyclic test* (Abrams and Lynch 2001), dapat meningkatkan gaya ultimate pada dinding yang telah diperbaiki dengan faktor 3.



Gambar 2.7 Aplikasi *Shotcrete* Untuk Tes Specimen

sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001



Gambar 2.8 Kurva specimen sebelum dan sesudah perbaikan dengan menggunakan *shotcrete*

sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001

2.1.4 Pemodelan Dinding Bata

untuk mensimulasikan perilaku dari *infilled frame*, terdapat 2 metode yang telah dikembangkan, yakni model mikro dan model makro. Metode *Micro modelling* adalah *continuum* mode dimana elemen frame, kerja dinding bata, hubungan permukaan, dan gap/separasi dimodelkan untuk mendapatkan hasil. Sedangkan Metode *Macro modelling* atau disebut Diagonal Tekan Ekuivalen metode ini menggunakan satu atau lebih strut untuk mewakili dinding pengisi (Arief, 2010).

a. Diagonal Tekan Ekuivalen

Diagonal Tekan Ekuivalen atau Equivalent Diagonal Strut adalah suatu metode pemodelan dinding bata yang memodelkan kekakuan ekuivalen non-linier dari dinding pengisi dengan menggunakan batang tekan diagonal. Pada pemodelan ini, portal isi dianggap sebagai portal tidak bergoyang, dimana dinding pengisi akan berfungsi sebagai diagonal tekan ekuivalen. Dengan memasukkan properti mekanik (A_d dan E_d), lalu portal isi dianalisis sebagai “portal terbuka dengan diagonal tekan ekuivalen”. Dikarenakan diagonal tekan isi hanya kuat terhadap tekan, maka diagonal ditempatkan sedemikian rupa sehingga hanya mengalami tekan saja. Properti mekanik yang dicari dengan metode tersebut didasarkan pada kondisi keruntuhan yang bersifat non-linier sehingga diperoleh resistensi atau kuat nominal dari diagonal tekan ekuivalen. Dengan konsep perencanaan berbasis kuat batas atau beban terfaktor, selanjutnya portal berpenopang ekuivalen (equivalent braced frame) dapat dianalisis dengan cara manual atau komputer sebagai portal berpenopang biasa (ordinary braced frame). Gaya-gaya pada diagonal tekan ekuivalen hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan kuat nominal yang dipunyainya dan dievaluasi, bila perlu dapat dilakukan perubahan geometri dan dianalisis ulang. Demikian seterusnya sampai diperoleh konfigurasi yang baik.

b. Continuum Mode

Continuum Mode adalah suatu metode pemodelan dimana komponen struktural di diskritisasi menjadi ukuran kecil, dengan mempertahankan sifat material dan kondisi batas dengan tujuan

meningkatkan keakuratan data. Konsep dasar metode ini adalah bahwa struktur kontinu dapat dimodelkan secara diskritisasi menjadi struktur diskrit dengan perilaku yang sama dengan perilaku struktur kontinu. perilaku masing-masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang dapat mewakili peralihan dan tegangan.

Berikut adalah Perbandingan kelemahan dan kelebihan tiap pemodelan :

Tabel 2.3 Perbandingan *Diagonal Compression Strut* Dengan *Continuum Model*

	<i>Diagonal Compression Strut</i>	<i>Continuum Mode</i>
Kelebihan	Mempermudah analisa perhitungan	Sangat efektif dalam memodelkan bukaan pada dinding dan untuk analisis kemampuan tarik
Kekurangan	Tidak efektif untuk memodelkan bukaan pada dinding pengisi dan mengabaikan kemampuan tarik dinding	Memerlukan bantuan metode elemen hingga sehingga analisa perhitungan menjadi lebih sukar

2.2 Metode Elemen Hingga

Pada dasarnya, semua permasalahan di dunia dapat disimplifikasi dalam persamaan differensial. Persamaan differensial pun memiliki derajat bervariasi berdasarkan kompleksitas masalahnya. Untuk dapat menyelesaikan persamaan differensial yang harus diselesaikan secara numerik, seringkali persamaan tersebut ditransformasi menjadi persamaan simultan yang dapat lebih mudah diselesaikan. Mentransformasi persamaan differensial yang tanpa batas menjadi persamaan simultan dengan berbagai batasan dan asumsi inilah yang menjadi dasar terbentuknya metode elemen hingga.

Metode elemen hingga adalah metode pendekatan fungsi solusi terhadap persamaan differensial dan integral yang bentuk persamaan akhirnya adalah persamaan matriks. Dalam permasalahan struktural, persamaan matriks hadir dalam persamaan kekakuan elemen-elemen struktural yang pada akhirnya

disuperposisi menjadi persamaan kekakuan struktur untuk kemudian dianalisis deformasi, gaya-gaya dalam serta reaksi perletakan (Katili, 2008).

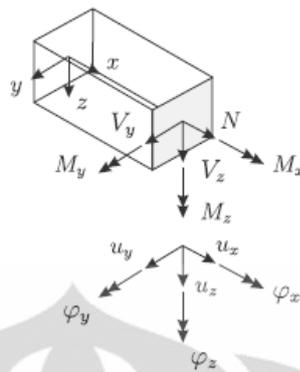
2.2.1 Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga

Menganalisa struktur dengan metode elemen hingga pada dasarnya adalah membatasi (*constraining*) struktur hingga menjadi sesuai dengan bentuk-bentuk (*shapes*) yang ditunjukkan oleh fungsi-fungsi bentuk (*shape functions*). Akurasi metode elemen hingga sangat bergantung pada bagaimana program (yang digunakan) dapat mengaproksimasi fungsi-fungsi untuk tegangan atau perpindahan. Semakin fleksibel suatu struktur elemen hingga, semakin tinggi kemampuan reaksinya terhadap (misalnya) beban titik, maka akurasi solusi elemen hingga semakin tinggi (Hartman & Katz, 2007).

2.2.2 Metode Elemen Hingga untuk elemen *Frame*

Dalam analisa elemen *frame* (portal), elemen (garis) tidak hanya berorientasi pada sumbu horisontal, tetapi juga dapat ke arah mana saja dalam bidang dua dimensi. Elemen ini dapat mengalami gaya aksial, gaya transversal, dan momen lentur (atau dengan kata lain gabungan elemen rangka dan elemen balok), namun analisis *frame* biasanya mengabaikan efek deformasi aksial ($EA = \infty$) maupun deformasi geser ($GA = \infty$).

Keuntungan menggunakan analisis 1D terletak pada representasinya yang jelas dan deskriptif terhadap struktur karena hasilnya yang langsung ditampilkan pada bentuk integral, namun semakin banyak efek yang harus ditinjau dalam analisis maka semakin analisis 1D tidak dapat diandalkan (Hartman & Katz, 2007).

Gambar 2.9 Elemen *Frame*

Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

Dengan menggabungkan elemen rangka dan elemen balok, maka akan dihasilkan elemen balok aksial-lentur atau elemen *frame* (Katili, 2008). Persamaan kekakuan untuk elemen ini (bidang xy) pada koordinat lokal adalah:

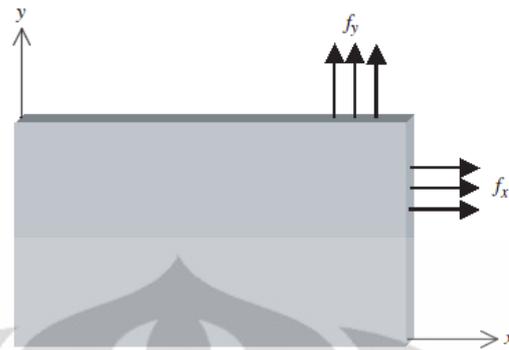
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix}^{BNE} \quad (2.1)$$

dimana BNE adalah Beban Nodal Ekvivalen. Dengan kata lain, secara simbolik persamaan tersebut dapat ditunjukkan sebagai:

$$\{f_n\}_{lokal} = [k]_{lokal}\{u_n\}_{lokal} - \{f_n\}_{lokal}^{BNE} \quad (2.2)$$

2.2.3 Metode Elemen Hingga untuk perilaku *plane stress*

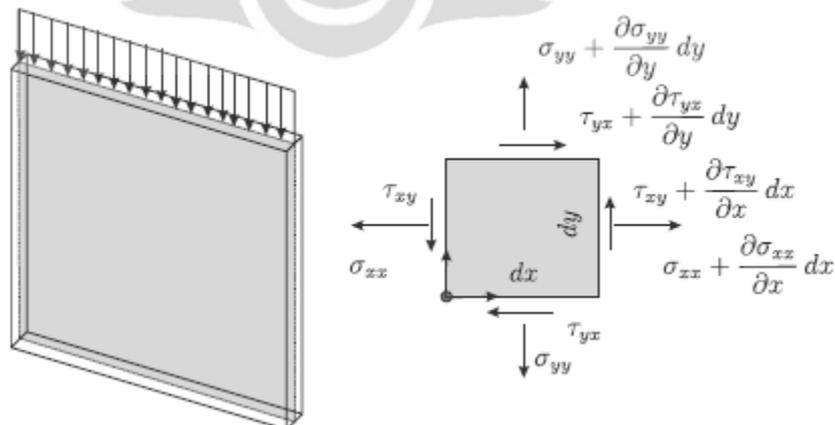
Plane stress adalah kondisi dimana salah satu dari tiga tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) bernilai nol. *Plane stress* biasanya terjadi pada elemen struktur dimana dimensi salah satu sumbunya bernilai sangat kecil dibandingkan dua sumbu lainnya (elemennya rata atau tipis). Pada kondisi ini, tegangan sumbu tipis tersebut dapat diabaikan (biasanya sumbu tipis ini adalah muka *out-of-plane* elemen) karena sangat kecil dibandingkan tegangan dua sumbu lainnya (muka *in-plane*). Dengan demikian, dengan mengambil sumbu tipis tersebut sebagai sumbu ketebalan elemen, maka muka *out-of-plane* elemen tidak bekerja dan elemen dapat dianalisa sebagai elemen dua dimensi dengan beban *in-plane*.

Gambar 2.10 Beban *In-Plane*

Kondisi *plane stress* biasanya diaplikasikan pada struktur dengan ketebalan yang relatif kecil dibandingkan dengan dimensi lainnya. Tegangan normalnya dapat diabaikan sehingga situasi *plane stress* didapatkan.

Membran dengan perilaku *plane stress* dapat berupa segitiga, segiempat, atau kuadrilateral dengan bentuk sisi yang lurus maupun kurva. Elemen yang sering digunakan dalam praktek rekayasa adalah linear. Pada *plane stress*, ketebalan dapat merupakan parameter penting untuk mendapatkan matriks kekakuan dan tegangan. Untuk struktur dengan ketebalan berbeda, harus dibagi menjadi elemen yang lebih kecil dengan ketebalan yang seragam (Hartman & Katz, 2007).

2.2.3.1 Regangan dan Tegangan

Gambar 2.11 Elemen *Plane* dan Tegangan pada Elemen *Plane*

Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

Deformasi pada sebuah pelat dideskripsikan dengan vektor perpindahan:

$$\mathbf{u}(x, y) = \begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{perpindahan horisontal} \\ \text{perpindahan vertikal} \end{array} \quad (2.3)$$

pada setiap titik. Tegangan pada pelat tidak proporsional terhadap besarnya perpindahan, tetapi terhadap perubahan perpindahan per satuan panjang, yang merupakan gradien (regangan) dari bidang perpindahan.

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} \quad (2.4)$$

Pada kondisi *plane stress*, dimana $\sigma_{zz} = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0$, dirumuskan:

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

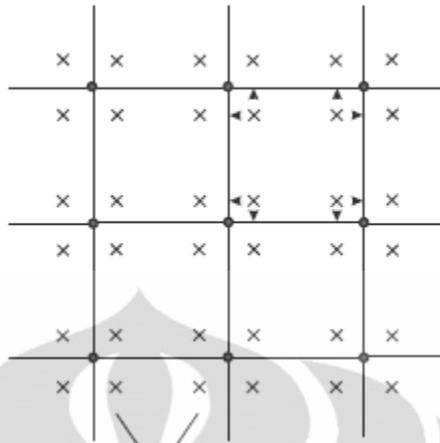
sehingga untuk mendapatkan regangan dari tegangan, digunakan perumusan:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & 0 \\ -\nu/E & 1/E & 0 \\ 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

dimana $G = 0,5 E/(1+\nu)$ atau modulus geser material yang digunakan. Dengan transformasi tegangan dapat ditentukan tegangan utama (tegangan geser bernilai nol) atau tegangan geser maksimum (Hartman & Katz, 2007).

2.2.3.2 Stress Averaging

Jika distribusi tegangan linear, tegangan diskontinyu pada sisi tepi elemen. Hal ini dapat diluruskan dengan men-interpolasi tegangan pada tengah elemen, dimana hasilnya dapat diterima. Perilaku ini dapat ditunjukkan dengan melihat *gauss points*.



Gambar 2.12 Tegangan pada *Gauss Points* diekstrapolasi ke sisi tepi elemen

Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

Tegangan pada sisi tepi elemen tidak dapat diandalkan, dan biasanya digantikan dengan nilai tegangan yang diekstrapolasi dari *gauss points* ke sisi tepi elemen. Hal berikutnya adalah melakukan *stress averaging* (mengambil nilai rata-rata tegangan) antara (sisi tepi) elemen lalu pada nodal untuk meningkatkan keakuratan hasil. Hasil dari *stress averaging* diambil sebagai hasil analisis (Hartman & Katz, 2007).

2.3 Analisis Tegangan

2.3.1 Perilaku Material

Apabila dilihat dari karakteristik tegangan-regangan, material diklasifikasikan menjadi material ductile dan brittle.

1. Material *Ductile*

Material ductile yaitu material yang dapat meregang dengan besar sebelum material tersebut gagal. Material ini dapat menyerap energi kejut, dan jika beban yang diberikan sudah berlebih, material ini akan menunjukkan deformasi yang besar sebelum gagal.

2. Material *Brittle*

Material brittle yaitu material yang sedikit atau bahkan tidak terjadi leleh sebelum material tersebut gagal. Munculnya awal retak pada material ini sangat acak, material brittle tidak dapat didefinisikan dengan baik gagalnya

akibat tegangan tarik. Jika dibandingkan dengan sifat tariknya, material ini menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi untuk tekanan aksialnya.

2.3.2 Hukum Hooke

Diagram tegangan-regangan pada kebanyakan material untuk desain menunjukkan hubungan yang linier antara tegangan dan regangan pada daerah elastisnya. Dengan demikian peningkatan tegangan akan menyebabkan peningkatan regangan secara proporsional. Hubungan antara tegangan dan regangan tersebut dapat dituliskan dengan persamaan berikut.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.7)$$

Nilai E merupakan modulus elastisitas yang merepresentasikan perbandingan tegangan dan regangan yang konstan. Modulus elastisitas merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan pada daerah elastisnya. Persamaan di atas merepresentasikan persamaan dari awal garis lurus pada diagram tegangan-regangan sampai batas proporsionalnya. Modulus elastisitas merupakan properti mekanik yang mengindikasikan kekakuan. Semakin kaku material, angka modulus elastisitasnya semakin besar. Modulus elastisitas hanya dapat digunakan ketika material berperilaku linear-elastis dan ketika tegangan pada material lebih besar dari batas proporsional, diagram tegangan-regangan berhenti menjadi garis lurus dan persamaan di atas tidak berlaku lagi (Hibbeler, 2008).

2.3.3 Poisson's Ratio

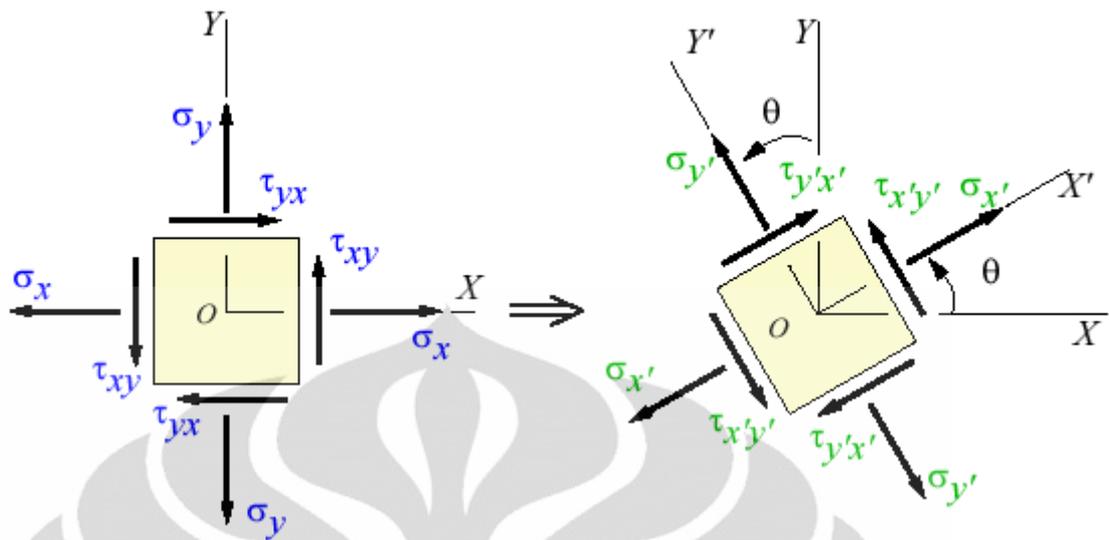
Ketika material dikenai gaya aksial, material tidak hanya mengalami deformasi yang searah dengan gayanya (longitudinal), tetapi akan berdeformasi pada arah lateralnya juga. Pada daerah elastisnya, perbandingan regangan lateral dan longitudinalnya selalu konstan karena regangan lateral dan longitudinalnya proporsional. Perbandingan regangan arah lateral dengan regangan arah longitudinalnya ini disebut Poisson's ratio. Dalam persamaan matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\nu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad (2.8)$$

Perbandingan ini selalu bernilai negatif karena arah pergerakan longitudinal dan lateralnya selalu berlawanan. Ini hanya berlaku apabila gaya yang dikenakan ke material pada arah longitudinal saja, tidak ada gaya atau tegangan yang bekerja pada arah lateralnya.

2.3.4 Transformasi Tegangan

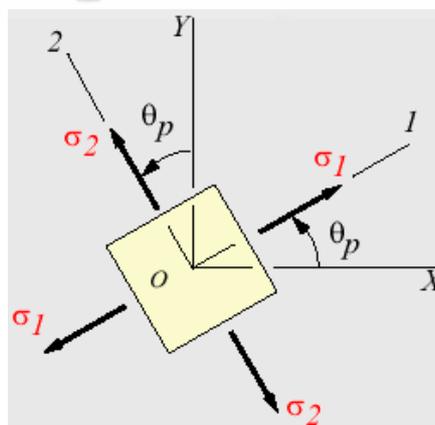
Pada kondisi umum tegangan pada suatu titik dicirikan dengan enam tegangan normal independen dan tegangan geser. Keadaan tegangan seperti ini tidak sering ditemukan dalam praktiknya. Oleh karena itu dilakukan perkiraan atau simplifikasi beban pada material dalam rangka bahwa tegangan yang dihasilkan pada struktur dapat dianalisis pada bidang tunggal. Pada keadaan ini, material dikatakan mengalami *plane stress*. Keadaan umum dari *plane stress* pada partikel direpresentasikan oleh dua komponen tegangan normal (σ_x dan σ_y) dan sebuah tegangan geser (τ_{xy}), yang mana bekerja pada empat permukaan dari suatu elemen. Tegangan normal dan geser ini merupakan tegangan-tegangan yang bekerja pada bidang x-y. Apabila tegangan-tegangan ini ditentukan pada kondisi elemen yang memiliki orientasi berbeda, maka tiga komponen tegangan ini didefinisikan sebagai σ_x , σ_y , dan τ_{xy} . Dengan kata lain, keadaan dari *plane stress* pada suatu titik ini unik yang direpresentasikan oleh dua komponen tegangan normal dan sebuah komponen tegangan geser yang bekerja pada elemen yang memiliki orientasi khusus pada titik tersebut. Komponen tegangan yang memiliki satu orientasi dari suatu elemen dapat ditransformasi ke elemen yang memiliki orientasi berbeda. Transformasi tegangan ini harus memperhitungkan besar dan arah dari masing-masing komponen tegangan dan orientasi dari area pada masing-masing komponen.



Gambar 2.13 Transformasi Tegangan

2.3.5 Tegangan Utama

Dalam melakukan transformasi tegangan, orientasi bidang miring pada komponen tegangan normal dan geser harus ditentukan, yang mana harus ditentukan dengan menggunakan sudut θ . Pada praktiknya ini sering kali menjadi hal penting dalam menentukan orientasi pada bidang yang dapat menyebabkan tegangan normal bernilai maksimum dan minimum dan juga orientasi dari bidang dapat menyebabkan nilai tegangan gesernya maksimum. Apabila sudut θ diputar sedemikian rupa sehingga didapatkan tegangan maksimum dan minimum, hal ini disebut dengan *principal stress*, dan bidang yang sesuai di mana mereka bekerja disebut *principal planes*. Pada saat *principal stress* ini terjadi maka tidak ada gaya geser yang bekerja pada *principal planes*.



Gambar 2.14 Tegangan Utama

2.4 Dinamika Struktur

2.4.1 Persamaan Dinamik akibat Gempa

Sesuai persamaan dinamik berdasarkan prinsip D'Alembert's, dengan selalu mengikutsertakan gaya inersia dalam analisis, sistem dinamik akan selalu berada pada keadaan setimbang (Chopra, 1995). Gaya inersia selalu hadir berpasangan pada arah berlawanan dengan deformasi horizontal. Dalam suatu struktur yang memiliki redaman, massa dan kekakuan tertentu, ketika dikenai eksitasi dinamik akan menimbulkan reaksi berupa gaya inersia (f_I) untuk melawan massa sebesar $f_I = m \cdot \ddot{u}$, gaya gesek (f_s) untuk melawan kekakuan sebesar $f_s = k \cdot u$ dan gaya redaman (f_d) untuk melawan redaman sebesar $f_d = c \cdot \dot{u}$. Berikut ini adalah persamaan dinamik secara general akibat getaran bebas:

$$[m] \{\ddot{u}\} + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.9)$$

$[m]$ adalah matriks massa, $[c]$ adalah matriks redaman dan $[k]$ adalah matriks kekakuan. Nilai \dot{u} dan u adalah nilai kecepatan dan deformasi struktur, sedangkan nilai \ddot{u} adalah nilai percepatan total dari percepatan struktur dan percepatan tanah yang biasanya diakibatkan oleh gempa. Sehingga bila diuraikan berdasarkan persamaan dinamik secara general akibat getaran bebas menjadi:

$$[m] (\{\ddot{u}\} + \{\ddot{u}_g\}) + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.10)$$

dengan melakukan penyetaraan, ruas kiri akibat pergerakan struktur dan ruas kanan akibat pergerakan tanah, maka didapat persamaan berikut:

$$[m] \{\ddot{u}\} + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = -[m] \{\ddot{u}_g\} \quad (2.11)$$

$\{\ddot{U}_g\}$ adalah matriks percepatan gempa yang terjadi. Dengan menggunakan hubungan *orthogonality* antara matriks $\{\ddot{u}_g\}$ dan matriks $\{u\}$, matriks $\{\ddot{u}_g\}$ kemudian dapat didefinisikan menjadi:

$$\{\ddot{u}_g\} = \{i\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.12)$$

dimana $\ddot{u}_g(t)$ adalah percepatan gempa dalam fungsi waktu dan $\{i\}$ adalah matriks identitas yang berperan sebagai *influence factor*.

2.4.2 Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Geratan Bebas

Struktur dikatakan mengalami getaran bebas ketika struktur tersebut diganggu dari kesetimbangan statisnya dan kemudian diizinkan untuk bergetar

tanpa eksitasi dinamik eksternal. Kondisi ini biasa digunakan untuk mendefinisikan karakteristik dinamik dari struktur, yaitu frekuensi alami dan pola ragam getar.

Struktur *multy degree of freedom* (MDOF) memiliki frekuensi dan pola ragam getar sejumlah DOF yang dimiliki. Frekuensi adalah jumlah getaran per detik yang terjadi ketika struktur mengalami getaran bebas. Sedangkan pola ragam getar adalah sketsa bentuk deformasi struktur akibat getaran bebas. Oleh sebabnya, kedua karakteristik tersebut selalu hadir berpasangan. Frekuensi alami dan pola ragam getar sangatlah bergantung pada massa, kekakuan dan redaman dari struktur.

Struktur tak teredam akan mengalami gerak harmonik sederhana tanpa perubahan bentuk defleksi walaupun dalam hal ini getaran bebas diakibatkan oleh distribusi yang tepat dari simpangan pada tiap-tiap DOF. Untuk mendapatkan bentuk defleksi, diberikan satu unit simpangan pada salah satu DOF dan membiarkan simpangan pada DOF lain bernilai nol. Oleh sebab itu, jumlah dari bentuk defleksi bergantung pada jumlah DOF dari struktur. Bentuk-bentuk defleksi tersebut adalah pola ragam getar.

Periode natural dari sistem MDOF adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus gerak harmonik sederhana dari masing-masing pola ragam getar. Frekuensi alami bersesuaian dengan periode naturalnya. Nilai frekuensi alami yang paling kecil menunjukkan nilai ω_1 dan seterusnya.

Untuk mendapatkan nilai dari frekuensi alami dan pola ragam getar, dilakukan pendekatan pada sistem tanpa redaman

$$[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.13)$$

$$\{u\}(t) = q_n(t) \Phi_n \quad (2.14)$$

Nilai Φ_n sebagai fungsi bentuk tidak bervariasi berdasarkan waktu. Variasi waktu berpengaruh pada nilai *displacement* yang dideskripsikan dalam fungsi harmonik sederhana.

$$q_n(t) = A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t \quad (2.15)$$

jika dikombinasikan dengan persamaan sebelumnya, maka akan menghasilkan persamaan:

$$\{u\}(t) = \Phi_n (A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t) \quad (2.16)$$

Karena $A_n \cos \omega t$ adalah komponen redaman, maka untuk struktur tanpa redaman nilai $A_n \cos \omega t = 0$, sehingga

$$\{u\}(t) = \{\Phi_n\} \sin \omega t \quad (2.17)$$

$$\{\ddot{u}\}(t) = -\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t \quad (2.18)$$

Untuk mengetahui nilai Φ_n dan ω , persamaan di atas disubstitusi ke dalam persamaan dinamik general.

$$[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.19)$$

$$[m](-\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t) + [k] \{\Phi_n\} \sin \omega t = 0 \quad (2.20)$$

$$([k] - \omega^2 [m]) \{\Phi_n\} \sin \omega t = 0 \quad (2.21)$$

Dengan menggunakan persamaan eigen, maka kemudian dapat diketahui nilai daripada frekuensi natural (ω_n) dan pola ragam getar (Φ_n) dari setiap mode yang dimiliki oleh suatu struktur.

Karena nilai $\sin \omega t \neq 0$, maka persamaan eigennya menjadi:

$$([k] - \omega_n^2 [m]) \{\Phi_n\} = 0 \quad (2.22)$$

Memiliki solusi nontrivial, sehingga:

$$\det ([k] - \omega_n^2 [m]) = 0 \quad (2.23)$$

dengan ω_n^2 sebagai *eigen value* menunjukkan frekuensi natural dari struktur dan $\{\Phi_n\}$ sebagai *eigen vector* menunjukkan pola ragam getar struktur.

2.4.3 Analisis Statik Ekuivalen

Untuk mendisain struktur agar mampu menahan gempa, gaya yang dikenakan pada struktur harus ditentukan. Hal ini dikarenakan kita tidak dapat memrediksi gaya yang akan membebani selama struktur itu berdiri. Estimasi gaya yang realistis sangatlah penting untuk menjaga efisiensi dari pembiayaan dan keamanan struktur. Gaya gempa pada struktur bergantung pada beberapa faktor, seperti ukuran, karakteristik gempa, jarak dari sumber gempa, kondisi tanah dan tipe sistem struktur. faktor-faktor tersebut harus diikutkan dalam pertimbangan disain gaya gempa.

Dalam analisis statik ekuivalen, gempa rencana dapat ditampilkan sebagai beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada

pusat massa lantai-lantai tingkat berdasarkan rumus empiris (SNI 03-1726-2002). Rumus empiris tersebut tidak secara langsung menghitung karakteristik dinamik dari struktur yang didisain atau dianalisis. Namun, rumus tersebut cukup dapat merepresentasikan perilaku dinamik dari struktur-struktur yang masuk dalam kategori beraturan yang memiliki distribusi massa dan kekakuan hampir seragam. Untuk struktur semacam ini, analisis dinamik menggunakan gaya statik ekuivalen paling sering digunakan.

Gaya statik ekuivalen digunakan untuk menganalisis struktur dengan orde pertama. Seperti disebutkan sebelumnya, penerapan gaya ini hanya efektif dilakukan pada struktur yang beraturan. Hal ini disebabkan pada struktur yang beraturan, partisipasi massa mode pertama sangat besar bila dibandingkan dengan mode lainnya. Oleh karena itu, sesuai dengan SNI 03-1726-2002 yang mengizinkan analisis dilakukan pada mode yang mencapai sekurang-kurangnya 90% partisipasi masa, analisis statik ekuivalen dapat digunakan.

Berikut ini adalah besarnya gaya geser dasar nominal statik ekuivalen yang terjadi di tingkat dasar berdasarkan SNI 03-1726- 2002 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.24)$$

Dimana C_1 adalah nilai faktor respons gempa yang didapat dari spektrum respons gempa rencana untuk waktu getar alami fundamental T_1 , sedangkan W_t adalah berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Nilai C_1 merepresentasikan percepatan tanah pada daerah tempat struktur berdiri dalam satuan grafitasi dan dependen terhadap nilai periode natural struktur. Periode natural struktur (T_1) adalah periode ketika struktur mengalami getaran bebas. Nilai tersebut sangat bergantung pada massa dan kekakuan dari struktur. Berat total bangunan (W_t) adalah penjumlahan berat sendiri struktur, beban mati yang bekerja dan juga beban hidup dikalikan faktor yang bersesuaian bergantung pada kegunaan struktur.

Gaya geser dasar nominal tersebut kemudian dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang

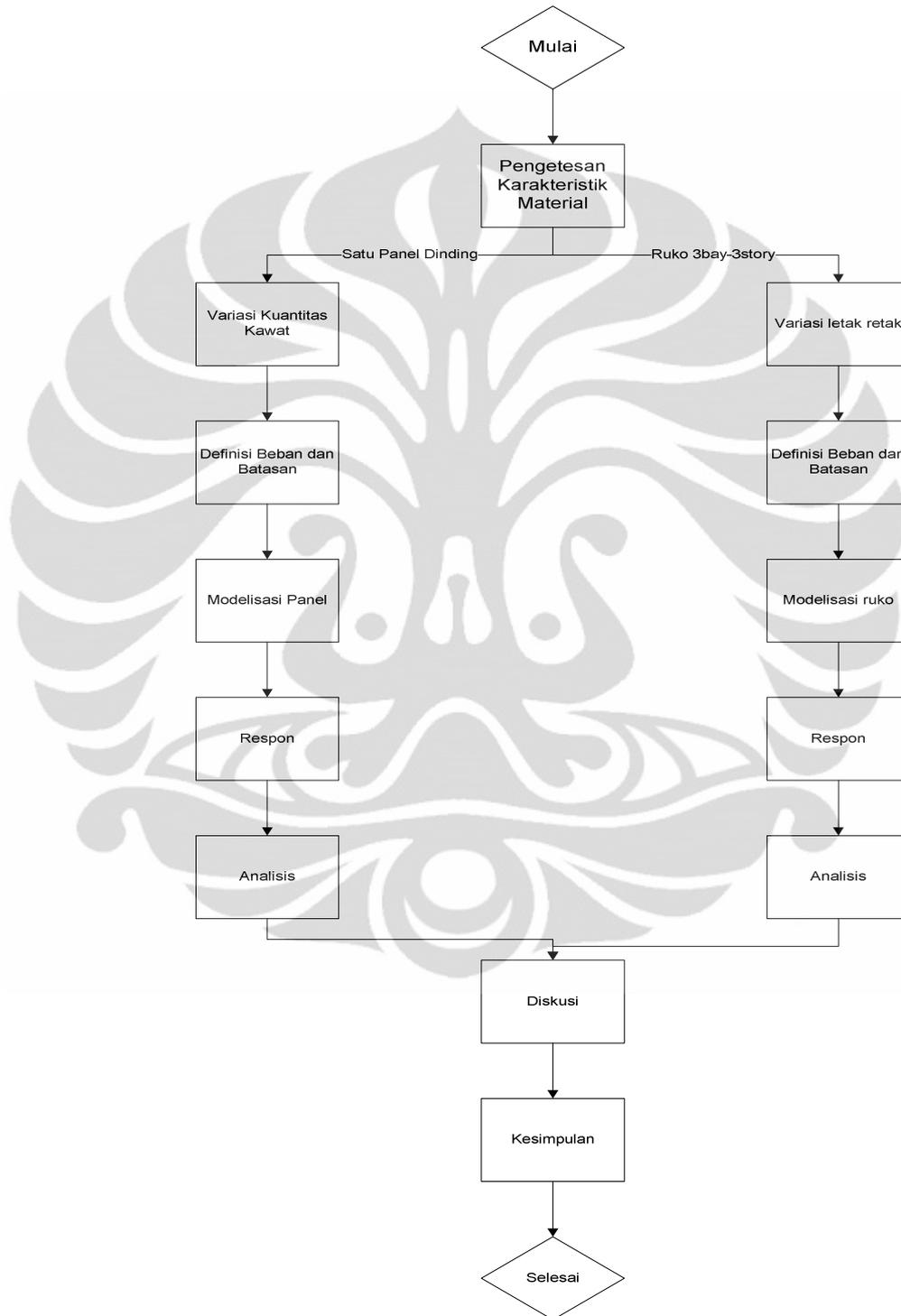
menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i mengikuti bentuk dari pola ragam getar mode pertama.

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2.25)$$

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi tiga, maka $0,1V$ harus dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai tingkat paling atas, sedangkan $0,9V$ sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal static ekuivalen menurut persamaan di atas (Nasional, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, 2002).

Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama dengan efektifitas 30%.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Sebelum melakukan modelisasi dan menganalisa efek perbaikan, terlebih dahulu perlu didefinisikan karakteristik material beserta propertinya sebagai input data dalam software yang digunakan. Sebagian besar data material didapatkan dari berbagai sumber, baik standard nasional, jurnal internasional, maupun penelitian-penelitian dalam negeri. Namun, adapula beberapa data material yang belum tersedia dan harus dilakukan pengujian secara mandiri untuk mendapatkannya.

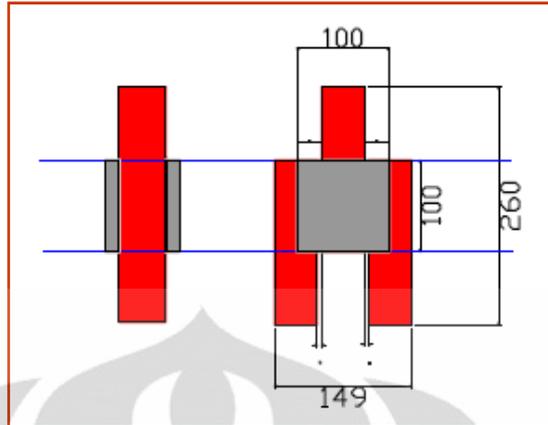
Ada dua macam uji material yang dilakukan di Laboratorium Material dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian pertama adalah untuk mendapatkan kekuatan geser dari lapisan perbaikan terhadap dinding bata, yaitu lapisan plester sebagai acuan dan lapisan plester dengan kawat. Pengujian kedua adalah pengujian tegangan putus kawat anyam yang digunakan sebagai bahan perbaikan dinding bata

Setelah itu, dilakukan pendefinisian material, parameter analisis, variasi model serta beban yang akan dikenai pada model. Lalu pemodelan dilakukan metode analisis dengan *continuum model*. Dengan menggunakan *continuum model*. Hasil yang didapat dari pemodelan kemudian dianalisis dan ditarik kesimpulan.

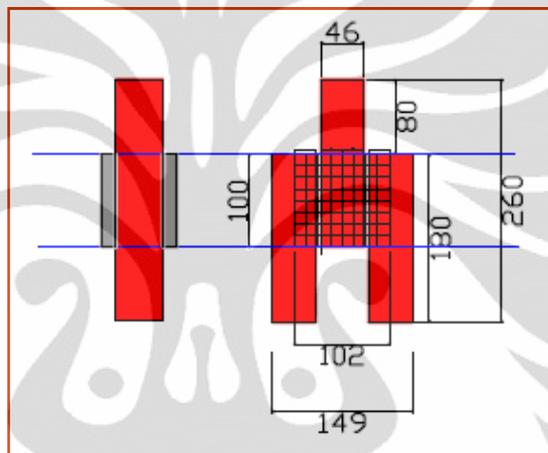
3.1 Pengetesan Karakteristik Material

a. Kuat Geser Dinding Bata

Untuk mendapatkan kuat geser dinding bata yang direpresentasikan dalam tegangan geser dinding bata, perlu dilakukan eksperimen pada sampel panel-panel dinding bata. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui besarnya gaya lateral yang bekerja pada saat dinding bata tepat mengalami retak. Berikut adalah rencana gambar kerja dari pengujian kuat geser yang akan dilakukan:



Gambar 3.2 Gambar kerja uji kuat geser plester

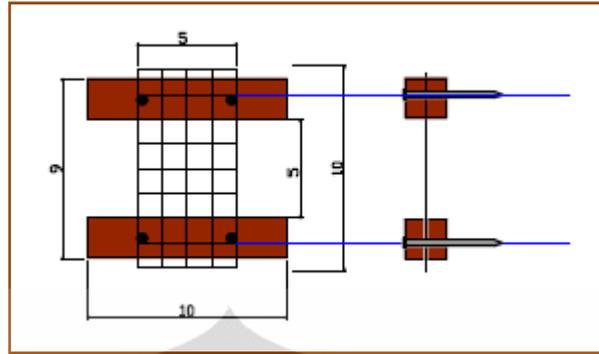


Gambar 3.3 Gambar kerja uji kuat geser plester dan kawat

b. Tegangan Leleh Kawat Anyam Ukuran $1,25 \times 1,25 \text{ cm}^2$

Tegangan putus kawat diperlukan sebagai dasar bahan analisis untuk mengetahui seberapa besar gaya lateral yang akan menyebabkannya putus. Pengujian ini perlu dilakukan secara mandiri untuk mengetahui persis karakteristik kawat anyam yang berada dipasaran dan kemungkinan besar dipilih menjadi bahan perbaikan dinding bata yang retak.

Berikut ini adalah rencana gambar kerja dari pengujian kawat yang dilakukan di Laboratorium Material dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



Gambar 3.4 Gambar Kerja Uji Kawat

Empat grid kawat anyam sepanjang 10 cm diapit oleh 2 batang kayu kaso pada bagian atas dan bawahnya. Bagian bawah kawat ini kemudian dibebani secara berkala hingga kawat putus.



Gambar 3.5 *Setting* Alat Untuk Pengujian Kawat



Gambar 3.6 Penggantung Beban



Gambar 3.7 Beban Yang Digunakan

Berikut adalah data hasil pengujian kawat yang didapat dari tiga sampel yang diuji:

Tabel 3.1 Beban putus kawat

Sampel	Beban Putus (kg)
1	90
2	80
3	100

3.2 Definisi Properti Material

Pada subbab ini akan dipaparkan penjabaran properti material yang digunakan dalam pemodelan. Selain itu, akan dijelaskan pula pendekatan rumus beserta asumsi-asumsi yang digunakan. Semua data properti material yang dimuat dalam subbab ini kemudian dimasukkan sebagai input data pemodelan dalam software SAP 2000 v.10.

3.2.1 Dinding Bata

- Modulus Elastisitas : 3201,86 MPa
- *Poisson's Ratio* : 0,19 (Asteris, 2008)
- Massa Jenis : 1700 kg/m³
- Kuat Tekan : 11,05 MPa
- Kuat Tarik : 0,219 MPa

Mengetahui bahwa material bata dan beton sama-sama bersifat getas, maka untuk mendapatkan kuat tarik dinding bata dilakukan komparasi material bata dengan beton.

Modulus elastisitas proporsional dengan $\sqrt{f_c'}$

$$E_{\text{Beton}} = \beta_c \sqrt{f_c'} \quad E_{\text{Bata}} = \beta_b \sqrt{f_b'}$$

Kuat tarik proporsional dengan $\sqrt{f_c'}$

$$f_{t\text{Beton}} = \alpha_c \sqrt{f_c'} \quad f_{t\text{Bata}} = \alpha_b \sqrt{f_b'}$$

Bila dibandingkan, rasio antara modulus elastisitas dengan kuat tarik adalah sebagai berikut:

$$\frac{\beta_c}{\beta_b} = \frac{\alpha_c}{\alpha_b}$$

Jika,

$$f_c' = f_b'$$

$$E_{\text{Beton}} = 4700 \sqrt{f_c'}$$

Maka diperoleh

$$\frac{E_c}{E_b} = \frac{f_{tc}}{f_{tb}} = 0,2$$

Dengan demikian, kuat tarik bata senilai dengan 0,2 f_t beton

$$f_{t\text{Beton}} = 0,33\lambda\sqrt{f_c'} \quad (\text{Collins, 1991})$$

$$f_{t\text{Bata}} = 0,2 (0,33\lambda\sqrt{f_b'})$$

3.2.2 Plester

- Modulus Elastisitas : 5130.58MPa
- *Poisson's Ratio* : 0,2
- Massa Jenis : 105 kg/m³
- Kuat Tekan : 17.64 MPa
- Kuat Tarik : 0.360 MPa

Pendefinisian kuat tarik plester dilakukan dengan komparasi yang sama dengan kuat tarik dinding bata.

Maka diperoleh

$$\frac{E_c}{E_p} = \frac{f_{tc}}{f_{tp}} = 0,259$$

Dengan demikian, kuat tarik bata senilai dengan $0,259 f_t$ beton

$$f_{t_{Beton}} = 0,33\lambda\sqrt{f_c'} \quad (\text{Collins, 1991})$$

$$f_{t_{plester}} = 0,259 (0,33\lambda\sqrt{f_b'})$$

3.2.3 Kawat

- Modulus Elastisitas : 2×10^5 MPa
- *Poisson's Ratio* : 0,3
- Massa Jenis : $800,38 \text{ kg/m}^3$
- Tegangan putus : $358,2802548$ MPa

Tegangan putus kawat diperoleh dari hasil pengolahan data pengujian kawat yang terangkum dalam tabel di bawah ini

Tabel 3.2 Tegangan Putus Kawat

Sampel	P (kg)	P/btg (kg)	Luas kawat (mm ²)	Tegangan putus (MPa)
1	90	18	0.5024	358.2802548
2	80	16	0.5024	318.4713376
3	100	20	0.5024	398.089172
			avg	358.2802548

Tegangan putus didapatkan dengan membagi gaya yang diterima tiap batang kawat dengan luasan masing-masing batang. Gaya yang diterima tiap batang adalah gaya keseluruhan yang membuat kawat putus dibagi lima (empat grid kawat terdiri dari lima batang). Luas kawat didapat dari rumus luas silinder biasa ($1/4\pi d^2$) dengan diketahui diameter kawat adalah 0,8 mm.

3.3 Parameter Penelitian dan Variasi Pemodelan

3.3.1 Parameter Penelitian

Berikut ini adalah parameter-parameter yang akan digunakan untuk mencapai tujuan penelitian:

- Periode Natural
- Deformasi
- Kekakuan
- Gaya Geser Dasar
- Gaya dalam pada portal
- Gaya dalam pada dinding bata
- Tegangan pada dinding bata

3.3.2 Variasi Permodelan

a. Satu Panel Dinding

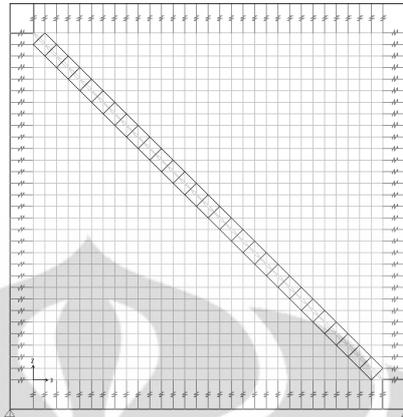
Pada tahap permodelan satu panel dinding bata, ditentukan parameter karakteristik dinding bata dan material yang dianggap berpengaruh besar terhadap efek perkuatan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam.

Kawat anyam divariasikan berdasarkan kuantitasnya dalam pemodelan dinding bata guna mengetahui efek penambahannya terhadap peningkatan kekuatan baik tarik maupun tekan dari dinding bata yang ditinjau. Berikut adalah bentuk variasi kawat anyam pada pemodelan dinding.

Tabel 3.3 Tabel Variasi parameter : lebar kawat anyam

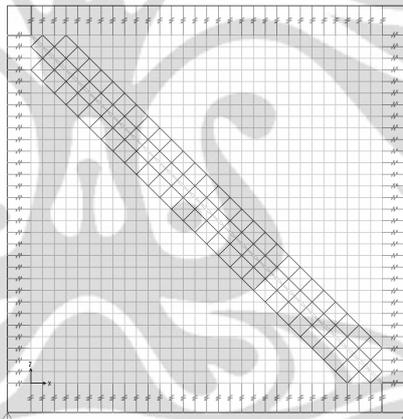
Variasi	Grid	Lebar Kawat (cm)
1	1 grid	14
2	3 grid	42
3	5 grid	63

- Lebar kawat 1 grid



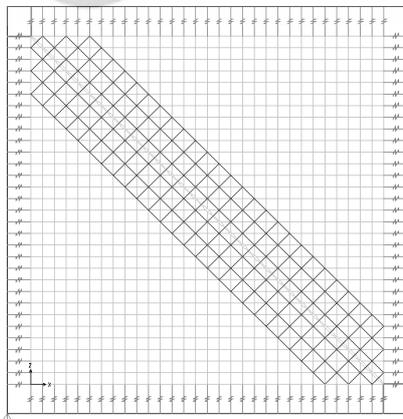
Gambar 3.8 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 1 grid

- Lebar kawat 3 grid



Gambar 3.9 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 2 grid

- Lebar kawat 5 grid



Gambar 3.10 Pemodelan satu panel dinding bata dengan variasi kawat 3 grid

b. Ruko Tiga Lantai Tiga Bentang

Pada tahap permodelan satu portal ruko 3-B-3-S, ditentukan variasi permodelan berdasarkan letak retakan pada portal. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan perilaku dinding bata setelah diperbaiki dengan kawat anyam dan plesteran berkaitan dengan kekakuan portal.

Selain itu divariasikan pula kuantitas kawat yang digunakan sebagai bahan perbaikan dinding bata yang retak. Hal ini dimaksudkan untuk kembali mempertegas pengaruh kuantitas kawat anyam yang digunakan dalam tinjauan struktur yang lebih besar. Untuk lebih jelasnya, variasi akan dijabarkan dalam tabel 3.4

Dari variasi diatas akan dibandingkan efek kekakuan portal secara horizontal dan vertikal pada perilaku bata yang diperbaiki dengan menggunakan kawat anyam dan plesteran.

Tabel 3.4 Variasi Permodelan

Model	Letak Retak						Kawat		
	bay 1	bay 2	bay 3	story 1	story 2	story 3	1 grid	2 grid	3 grid
1	√			√	√	√		√	
2		√		√	√	√		√	
3			√	√	√	√		√	
4	√	√		√	√	√		√	
5	√	√	√	√				√	
6	√	√	√		√			√	
7	√	√	√			√		√	
8	√	√	√	√	√			√	
9	√	√	√	√	√	√		√	
10	√	√	√	√	√	√	√		
11	√	√	√	√	√	√			√

3.4 Definisi Beban

3.4.1 Satu Panel Dinding

Dalam permodelan satu panel dinding bata pada langkah awal untuk mengetahui efektifitas perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam dan plesteran, beban yang akan bekerja adalah beban terpusat P sejajar dinding (*in-plane*) sebesar 500 kN.



Gambar 3.11 Beban Terpusat *in-plane*

3.4.2 Ruko 3 lantai – 3 bentang

Berikut ini adalah nilai satuan beban-beban yang akan dikenai pada struktur.

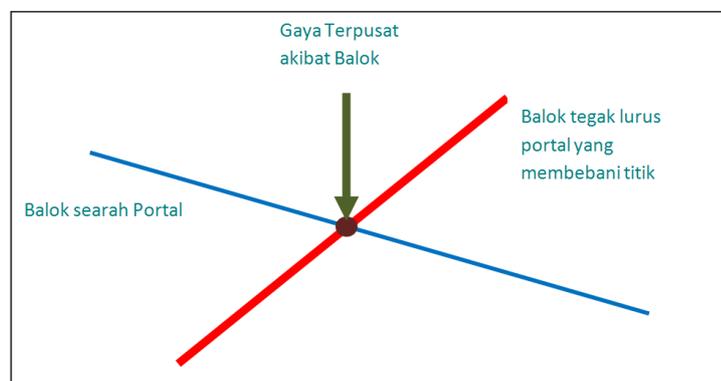
- Beban Hidup
 - LL lantai : 250 kg/m²
 - LL atap : 100 kg/m²
- Beban Mati
 - Bata : 250 kg/m²
 - Screed + Finishing : 1,1 kN/m²
 - Screed + Waterproofing : 1,5 kN/m²
 - Beton : 24 kN/m²
 - Plafond + Electrical : 0,15 kN/m²
 - Beban mati lantai : 2,88 kN/m²

Pembebanan yang dikenakan pada frame, sesuai dengan yang telah ditentukan, adalah beban-beban mati tambahan serta beban hidup yang bersesuaian. Di bawah ini adalah ilustrasi daerah pembebanan setiap lantai dengan lebar pembebanan arah ortogonal sejarak 5 m seperti yang digambarkan sebelumnya.



Gambar 3.12 Daerah Pembebanan Lantai

Beban-beban yang diperhitungkan dalam pembebanan portal selain beban-beban mati tambahan yang telah tersebut sebelumnya (dinding bata, *screed*, *waterproofing*, plafond, *electrical*, berat sendiri pelat) dan beban hidup yang dikenai pada sisi bidang portal, ada pula beban-beban titik tambahan yang datang dari arah ortogonal portal. Pada masing-masing titik, sesuai dengan lokasinya, akan menerima beban balok dan dinding bata yang bersesuaian dengan daerah pembebanan. Titik yang menerima beban dinding bata dari arah tegak lurus portalnya hanyalah titik-titik yang berada di luar, kecuali titik luar sebelah kanan pada lantai dasar karena terdapat bukaan. Sedangkan semua titik akan mendapat gaya tambahan dari balok arah tegak lurus portalnya. Berikut ini adalah ilustrasi pembebanan akibat balok arah ortogonal portal.



Gambar 3.13 Ilustrasi pembebanan titik akibat balok pada arah ortogonal portal

Dalam tabel-tabel di bawah ini akan dicantumkan nilai-nilai beban yang dikenai pada balok maupun titik di masing-masing lantai sesuai dengan penjelasan di atas. Secara garis besar, tabel dibagi menjadi 2, yaitu untuk pembebanan portal tanpa bata yang akan digunakan sebagai acuan dan portal dengan bata. Perbedaan nilainya ada pada besaran beban dinding bata yang diperhitungkan sebagai beban balok (tabel 3.5)

Selain nilai beban yang dikenai pada portal, dihitung pula berat bangunan untuk kepentingan penentuan beban gempa yang akan dikenai pada struktur portal yang ditinjau. Berikut ini akan disampaikan dalam tabel mengenai berat bangunan tiap lantai dan berat bangunan total (tabel 3.6)

Tabel 3.5 Tabel Pembebanan Portal

Lantai	Portal Tanpa Bata			Portal dengan Bata		
	Jenis Beban	Letak	Beban (kN;kN/m)	Jenis Beban	Letak	Beban (kN;kN/m)
Dasar	SDL	Balok	3.75	SDL	Balok	0
		Titik luar kanan	18		Titik luar kanan	18
		Titik Luar kiri	36.75		Titik Luar kiri	36.75
		Titik Dalam	18		Titik Dalam	18
	LL		0	LL		0
1 & 2	SDL	Balok	28.15	SDL	Balok	20.65
		Titik luar	55.5		Titik luar	55.5
		Titik Dalam	18		Titik Dalam	18
		LL		12.5	LL	
Atap	SDL	Balok	26.4	SDL	Balok	22.65
		Titik luar	36.75		Titik luar	36.75
		Titik Dalam	18		Titik Dalam	18
		LL		5	LL	

- **Beban Lateral In-plane**

struktur portal dikenakan gaya gempa dalam analisa mode pertama sebagai gaya statik ekuivalen, berdasarkan persamaan (2.25) dengan nilai V sesuai persamaan (2.24).

Ditentukan nilai I adalah 1 untuk peruntukan bangunan perniagaan, R adalah 5,5 untuk sistem pemikul momen khusus dan C_1 adalah nilai yang

didapat dari spektrum wilayah gempa 3 (percepatan tanah 0,15g), jenis tanah lunak dan periode natural ditentukan sebagai periode getaran bebas gedung.

Tabel 3.6 Tabel Berat Bangunan

Jenis Beban	Beban Satuan	Beban (Ton)		
		Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
DL				
Dinding Bata	2.5 kN/m ²	15.975	17.85	8.925
Balok	24 kN/m ³	9	9	9
Kolom	24 kN/m ³	5.376	5.376	2.688
screed + finishing	1.1 kN/m ²	8.25	8.25	11.25
Plafond + Electrical	0.15 kN/m ²	1.125	1.125	1.125
Beban mati lantai	2.88 kN/m ²	21.6	21.6	11.25
		61.326	63.201	44.238
LL				
lantai	2.5 kN/m ²	18.75	18.75	7.5
DL+αLL		66.951	68.826	46.488
TOTAL (Wt)		182.265 Ton		

3.5 Pemodelan

Dalam penelitian kali ini, akan digunakan metode analisis dengan *continuum model*. Dengan menggunakan *continuum model*, dapat digambarkan secara detail retakan yang akan ditinjau pada dinding bata. Selain itu, dalam penelitian kali ini akan ditinjau pula peningkatan kemampuan dinding bata dalam kekuatan tariknya akibat adanya penambahan material kawat anyam. Oleh sebab itu, dibutuhkan pemodelan *continuum* yang dapat menunjukkan kekuatan tarik dari dinding bata yang ditinjau, tidak seperti pada pemodelan *diagonal compression strut* yang mengabaikan kekuatan tarik dari dinding.

3.5.1 Modelisasi Satu Panel Dinding Bata

Sebelum berangkat pada pemodelan Ruko sebagai tinjauan struktur yang lebih kompleks, terlebih dahulu akan dimodelkan satu panel dinding bata

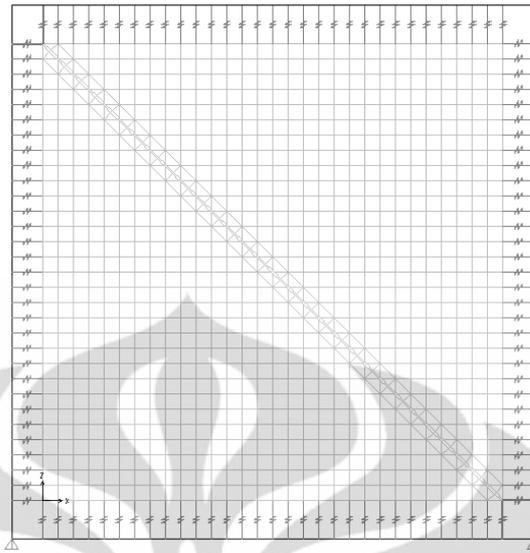
berukuran $3 \times 3 \text{ m}^2$. Penentuan dimensi bidang dinding bata adalah berdasarkan pendekatan lapangan untuk ukuran panel dinding yang tidak memerlukan kolom maupun balok praktis. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui efek perbaikan dinding bata dengan menggunakan plester dan kawat anyam. Dalam bagian ini, akan dibandingkan peningkatan kekuatan tarik maupun tekan dari masing-masing komponen struktur yang lebih mikro, yaitu dinding bata dan lapisan plester pada daerah retak. Adapun kondisi panel yang digunakan sebagai pembanding adalah panel dinding sebelum mengalami keretakan dan panel dinding retak yang telah diperbaiki dengan lapisan plester tanpa kawat anyam.

Selain itu, Kawat anyam sebagai komponen perbaikan yang ditinjau khusus dalam pembahasan ini, akan divariasikan menurut lebar lapisan kawat yang digunakan. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kuantitas kawat anyam dalam fungsinya sebagai komponen perbaikan dinding bata yang retak akibat gaya lateral.

Berikut ini adalah spesifikasi model satu panel dinding bata:

- Ukuran panel : $3.25 \times 3.4 \text{ m}^2$
- Ukuran dinding bata : $3 \times 3 \text{ m}^2$
- Mutu beton : K300 ($f_c' = 25 \text{ Mpa}$)
- Balok : $500 \times 300 \text{ mm}^2$
- Kolom : $400 \times 400 \text{ mm}^2$
- Elemen dinding bata : 10 cm tebal
- Elemen Plester : 5 cm tebal
- Elemen kawat : diameter 3,7523 mm

Dinding bata dan lapisan plester dimodelkan sebagai elemen *membrane* berdasarkan prinsip elemen hingga. Pemilihan elemen *membrane* dikarenakan analisis yang akan dilakukan hanyalah analisis pada bidang dinding saja. Dalam situsnya CSI (*computers & structures Inc.*) menjelaskan bahwa *Membrane* hanya memiliki kekakuan *in-plane* saja dan transfer gaya geser (bukan momen) terjadi seperti pada distribusi beban pada balok.



Gambar 3.14 Pemodelan satu panel dinding bata

Panel dinding dipartisi menjadi elemen-elemen persegi berukuran 10 cm x 10 cm. Pada bagian retak yang lebarnya 14 mm, elemen plester sebagai pengisi bagian retak dipartisi menjadi elemen-elemen bernodal tiga dan empat dengan bentuk persegi panjang, persegi maupun segitiga. Untuk menyambung ujung-ujung elemen pada daerah elemen retak, maka elemen-elemen persegi yang bedekatan dengan daerah retak harus dipartisi pula. Oleh karena itu, disekitar area retak terdapat elemen yang berbentuk trapesium.

Elemen kawat dimodelkan sebagai elemen rangka silinder pejal dengan diameter ekuivalen. Diameter ekuivalen digunakan untuk menyimplifikasi panjang elemen kawat. Kawat anyam yang sebenarnya memiliki ukuran grid 1,25 x 1,25 cm dalam pemodelan diperbesar mengikuti ukuran diagonal elemen dinding bata menjadi $10\sqrt{2}$ cm x $10\sqrt{2}$ cm. Berangkat dari simplifikasi tersebut, maka satu elemen kawat dalam permodelan sama dengan $10\sqrt{2}$ cm / 1,25 cm atau 11 kali. Diameter ekuivalen didapat dari luas penampang kawat ekuivalen yang sama dengan 11 kali luas penampang kawat sebenarnya dikalikan dua (dua sisi dinding). Berikut adalah perhitungan diameter ekuivalen dari kawat anyam yang dimodelkan.

- Luas Penampang kawat sebenarnya

$$A_{kawat} = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi 0,8^2 = 0,5026 \text{ mm}^2$$

- Luas Penampang Ekuivalen kawat dua sisi

$$A_{ekuivalen} = 2x(11x\frac{1}{4}\pi 0,8^2) = 11,0584 \text{ mm}^2$$

- Diameter Ekuivalen Kawat

$$d_{ekuivalen} = \sqrt{\frac{4 \times A_{ekuivalen}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 11,0584 \text{ mm}^2}{\pi}} = 3,7523 \text{ mm}^2$$

Dalam memodelkan elemen-elemen yang telah disebutkan diatas sebagai satu kesatuan panel dinding yang utuh, penempatan lapisan plester maupun kawat tidak diperhatikan melainkan ditumpuk secara langsung. Hal ini dimaksudkan untuk simplifikasi model dan diperkenankan karena gaya yang dikenakan pada panel dinding adalah gaya lateral *in-plane* saja. Ketika gaya lateral *in-plane* bekerja, maka susunan lapisan material maupun komponen struktur tidak mempengaruhi reaksi, kecuali ketika gaya lateral *out-of-plane* bekerja. Oleh karena itu, tebal elemen plester didefinisikan langsung 5 cm, sudah mewakili dua sisi dinding setebal masing-masing 2,5 cm.

Selain elemen-elemen tinjauan yang telah disebutkan sebelumnya, dimodelkan pula portal yang membatasi panel. Portal dimodelkan sebagai elemen batang dengan spesifikasi balok dan kolom seperti yang telah disebutkan. Sebagai pengubung portal dengan kesatuan dinding yang akan ditinjau, digunakan elemen link dengan properti yang sama seperti balok maupun kolom. Elemen link digunakan karena jika merubah *insertion point* pada *software* SAP2000 v14.1 dalam tujuan untuk menyatukan portal dengan panel dinding, akan memengaruhi perilaku distribusi tegangan pada portal. Hal ini telah terbukti secara teoritis (Dorji, 2009). Oleh karena itu, untuk menjaga sumbu portal tetap pada posisi *middle-center* dan untuk menjaga ukuran dari panel dinding pengisi tetap ideal akan ada *gap* antara portal dengan dinding pengisi. Disinilah elemen link berperan. Pertimbangan mendasar dalam penggunaan elemen link adalah untuk menghubungkan DOF pada portal beton dengan DOF pada panel dinding. Link elemen yang digunakan didefinisikan tak bermassa. Jadi, ketika titik pada portal dan panel dinding dihubungkan dengan link, DOFnya akan bersatu.

Selain itu, perletakan yang digunakan adalah perletakan sendi dengan adanya *tie-beam* pada dasar panel karena dinding bata berdiri di atas *tie-beam*.

Setelah semua elemen dimodelkan, dilakukan *constrain* pada semua titik dengan menghilangkan DOF UY, RZ dan RX dan juga mengurangi DOF yang sama pada analisis portal. Hal ini bertujuan untuk memastikan model hanya berperilaku *inplane* saja.

3.5.2 Modelisasi Ruko Tiga Lantai Tiga Bentang

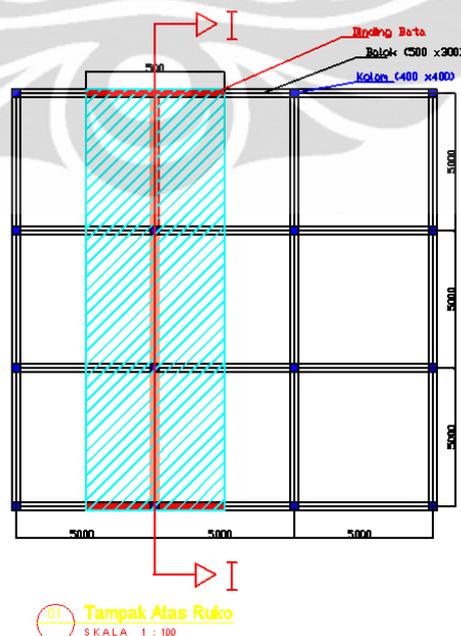
Pada bagian ini, yang menjadi objek tinjauan adalah struktur bangunan Ruko tiga lantai tiga bentang. Jika pada bagian sebelumnya, pembahasan satu panel dinding bata, telah ditunjukkan efek penambahan material kawat anyam sebagai bahan perbaikan dinding yang retak akibat gaya *inplane*, maka pada bagian ini akan ada beberapa hal lain yang ditinjau.

Hal yang akan dianalisis adalah bagaimana pengaruh dari efek penambahan material kawat anyam sebagai bahan perbaikan dinding yang retak terhadap kekakuan struktur. Akan dilihat pula bagaimana perubahan perilaku komponen struktur terhadap gaya gempa statik ekuivalen yang dikenai pada struktur.

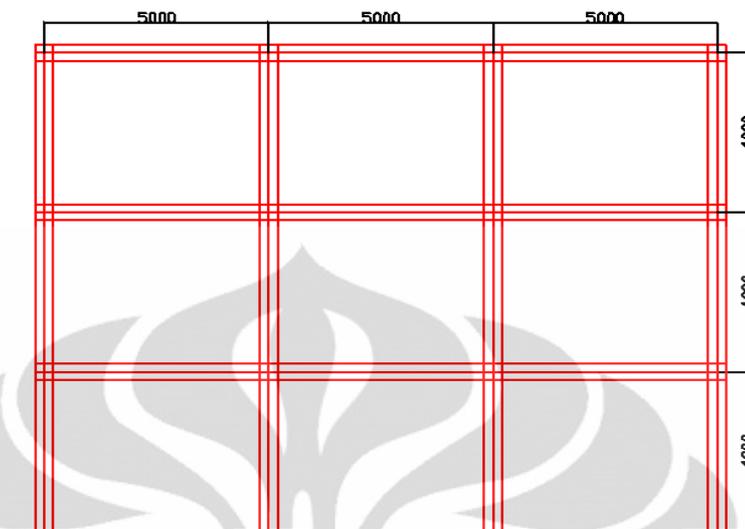
Adapun spesifikasi dari bangunan ruko yang akan dianalisis adalah sebagai berikut:

- a. Deskripsi bangunan ruko

Tipe Bangunan : Komersial



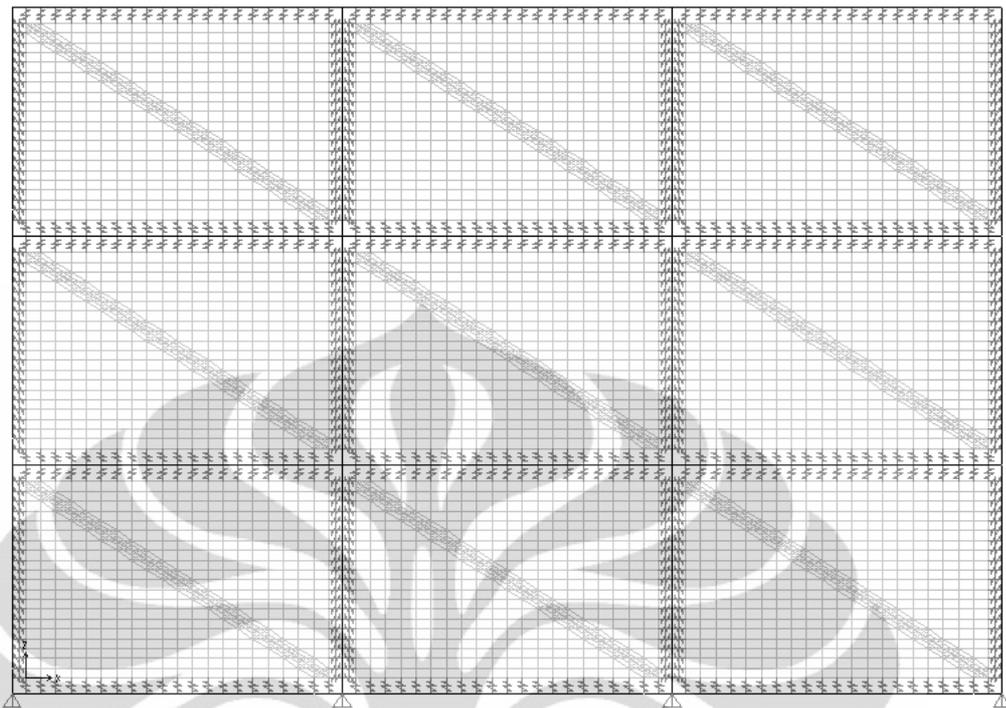
Gambar 3.15 Tampak Atas Ruko



02 Gambar Potongan I-I
SKALA 1 : 100

Gambar 3.16 Portal yang Ditinjau

- b. spesifikasi model ruko tiga lantai tiga bentang
- | | |
|---------------------|------------------------------------|
| Ukuran panel | : 4,6 x 3 m ² |
| Ukuran Ruko | : 15 m x 10,5 m |
| Mutu beton | : K300 (f _c ' = 25 Mpa) |
| Balok | : 500x300 mm ² |
| Kolom | : 400x 400 mm ² |
| Elemen dinding bata | : 10 cm tebal |
| Elemen Plester | : 5 cm tebal |
| Elemen kawat | : diameter 5,31 mm |
| Tebal pelat | : 12 cm |
| Mutu beton | : k-300 |
| F _c ' | : 25 Mpa |



Gambar 3.17 Pemodelan Ruko

Seperti pada pemodelan sebelumnya, dinding bata dan lapisan plester dimodelkan sebagai elemen *membrane* berdasarkan prinsip elemen hingga. Panel dinding dipartisi menjadi elemen-elemen persegi panjang berukuran 23 cm x 15 cm. penentuan ukuran ini didasarkan pada rasio panjang dan lebar panel. Pada bagian retak yang lebarnya 13,73 mm (penentuan lebar retak juga didasarkan pada rasio panjang dan lebar), elemen plester sebagai pengisi bagian retak dipartisi menjadi elemen-elemen bernodal tiga dan empat dengan bentuk persegi panjang, persegi maupun segitiga. Untuk menyambung ujung-ujung elemen pada daerah elemen retak, maka elemen-elemen persegi yang bedekatan dengan daerah retak harus dipartisi pula. Oleh karena itu, disekitar area retak terdapat elemen yang berbentuk trapesium.

Elemen kawat dimodelkan sebagai elemen rangka silinder pejal dengan diameter ekuivalen. Diameter ekuivalen digunakan untuk menyimplifikasi panjang elemen kawat. Kawat anyam yang sebenarnya memiliki ukuran grid 1,25 x 1,25 cm dalam pemodelan diperbesar mengikuti ukuran diagonal elemen dinding bata menjadi 27,459 cm x 27,459 cm. Berangkat dari simplifikasi tersebut, maka satu elemen kawat dalam permodelan sama dengan 27,459 cm/ 1,25 cm atau 22 kali. Diameter ekuivalen didapat dari luas penampang kawat

ekuivalen yang sama dengan 22 kali luas penampang kawat sebenarnya dikalikan dua (dua sisi dinding). Berikut adalah perhitungan diameter ekuivalen dari kawat anyam yang dimodelkan.

- Luas Penampang kawat sebenarnya

$$A_{kawat} = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi 0,8^2 = 0,5026 \text{ mm}^2$$

- Luas Penampang Ekuivalen kawat dua sisi

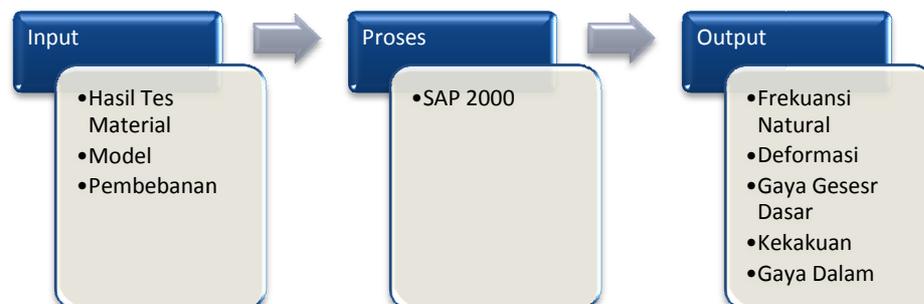
$$A_{ekuivalen} = 2x(22x\frac{1}{4}\pi 0,8^2) = 22,1168 \text{ mm}^2$$

- Diameter Ekuivalen Kawat

$$d_{ekuivalen} = \sqrt{\frac{4 \times A_{ekuivalen}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 22,1168 \text{ mm}^2}{\pi}} = 5,31 \text{ mm}^2$$

Selain elemen-elemen tinjauan yang telah disebutkan sebelumnya, dimodelkan pula portal yang membatasi panel. Portal dimodelkan sebagai elemen batang dengan spesifikasi balok dan kolom seperti yang telah disebutkan. Sebagai pengubung portal dengan kesatuan dinding yang akan ditinjau, digunakan elemen link dengan properti yang sama seperti balok maupun kolom. Pada bagian setiap pojok panel, diberikan pula elemen membran yang materialnya sama dengan material kolom. Selain itu, perletakan yang digunakan, sama seperti pada model satu panel, adalah perletakan sendi dengan adanya tie-beam pada dasar panel. Setelah semua elemen dimodelkan, dilakukan kembali *constrain* pada semua titik dengan menghilangkan DOF UY, RZ dan RX dan juga mengurangi DOF yang sama pada analisis portal.

3.6 Prosedur Analisis



Gambar 3.18 Alur Proses Analisis

3.6.1 Satu Panel Dinding Bata

Analisis yang akan dilakukan pada model satu panel dinding bata adalah membandingkan hasil variasi kuantitas kawat untuk mengetahui efek penambahan jumlah kawat pada metode perbaikan ini.

Dalam analisis, hasil tegangan dinding bata akan dibandingkan dengan tegangan ultimate yang didapat dari pengetesan karakteristik material sehingga didapatkan faktor α . Faktor α digunakan sebagai pengali reaksi struktur yang terjadi sehingga dapat diketahui reaksi struktur pada kondisi ultimate atau kondisi pada saat dinding bata mengalami retak.

3.6.2 Ruko 3 bay - 3 story

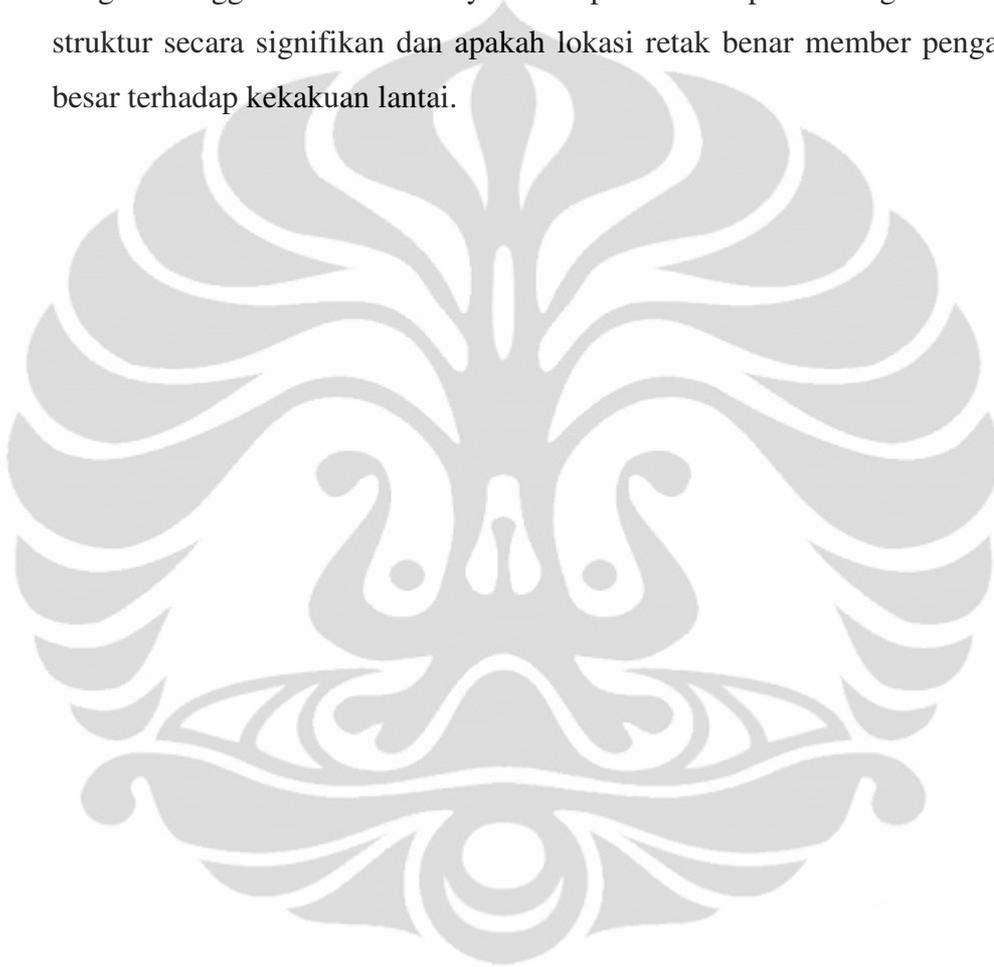
Analisis hasil perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam dan plesteran kemudian akan dibandingkan dengan hasil:

1. Analisis bata sebagai komponen non-struktural (sebagai beban)
2. Analisis bata tak retak sebagai komponen struktural
3. Analisis bata retak dengan perbaikan menggunakan plesteran.

Ada beberapa hal yang akan ditinjau dalam analisis efek perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam. Aspek tinjauan pertama adalah frekuensi alami struktur dan Gaya geser dasar. Masing-masing variasi model yang telah dibebani kemudian dijalankan analisis *modal* untuk mendapatkan karakteristik dinamik dari model tersebut. Dalam bagian tidak dicari kembali gaya yang membuat struktur mengalami kegagalan akan tetapi dilakukan pengecekan terhadap gaya geser yang ditanggung portal dan dinding bata. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar peranan dinding bata sebagai komponen struktural dalam menyerap gaya geser dasar akibat gempa yang dikenai (statik ekuivalen). Hasil dari masing-masing variasi model dalam penelitian ini juga akan dibandingkan dengan model dasar acuan yaitu model ketika dinding bata utuh dan dinding bata yang diperbaiki dengan plester saja. Dari hasil tinjauan tersebut dapat diketahui apakah perbaikan yang dilakukan terhadap dinding yang retak mampu meningkatkan kinerja dinding bata ketika dikenai gempa kembali.

Kedua adalah peninjauan peningkatan kekakuan dengan menghitung angka kekakuan struktur dan angka kekakuan tiap lantai. Angka kekakuan didapat

dengan membandingkan gaya geser dengan simpangan yang terjadi akibat pembebanan gempa nominal. Pada bagian ini akan dibandingkan bagaimana kekakuan struktur masing-masing variasi model ketika model retak belum diperbaiki, ketika diperbaiki dengan plester saja, dan ketika diperbaiki dengan plester dan kawat. Dari hasil ini dapat diketahui apakah perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam dan plesteran dapat meningkatkan kekakuan struktur secara signifikan dan apakah lokasi retak benar member pengaruh yang besar terhadap kekakuan lantai.



BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

4.1 Satu Panel Dinding

4.1.1 Gaya Dalam Elemen

Peninjauan gaya dalam masing-masing elemen bertujuan untuk mengetahui efek perbaikan dari dinding bata yang telah retak dan perbandingan kekuatannya terhadap dinding bata utuh. Dalam bagian ini, akan dipaparkan tegangan-tegangan maksimum maupun minimum yang terjadi akibat suatu nilai pembebanan *inplane* mengacu pada dinding bata utuh.

Analisis selanjutnya akan mengarah pada seberapa besar peningkatan kapasitas masing-masing elemen struktur yang ditinjau sesuai dengan batas-batas ijinnya. Kapasitas elemen ditentukan oleh senilai gaya yang menyebabkan elemen-elemen yang ditinjau mengalami kegagalan baik tarik maupun tekan. Gaya tersebut kemudian disebut sebagai P_{fail} pada analisis ini, yang besar nilainya sama dengan perkalian nilai gaya yang dikenakan dengan rasio tegangan ijin terhadap tegangan yang terjadi.

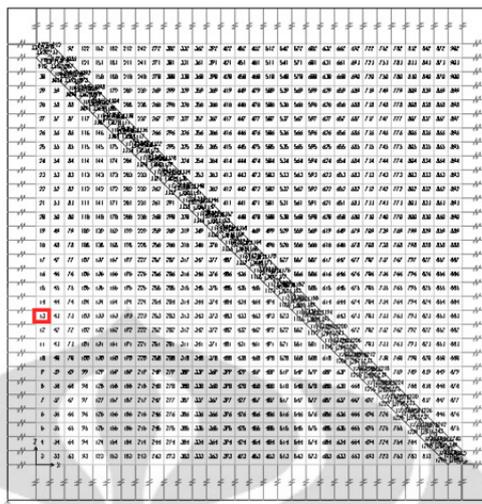
$$P_{\text{fail}} = P_x \frac{\bar{\sigma}}{\sigma} \quad (4.1)$$

Dalam setiap bagian, analisis terhadap efek penambahan kawat akan dibandingkan dengan kondisi awal saat dinding bata utuh, kondisi pada saat dinding retak serta kondisi pada saat panel diperbaiki dengan menggunakan plester tanpa kawat.

4.1.1.1 Elemen Dinding Bata

a. Elemen Tarik

Hasil analisis panel dinding bata utuh yang dikenai gaya *inplane* sebesar 500 kN pada ujung kiri atas panel menghasilkan tegangan maksimum pada nomor elemen 13. Elemen ini kemudian menjadi acuan untuk peninjauan panel-panel dinding lainnya. Berikut ini adalah tegangan-tegangan pada elemen nomor 13 masing-masing panel dinding yang ditinjau serta gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan tarik mengacu pada tegangan tarik ijin dinding bata.

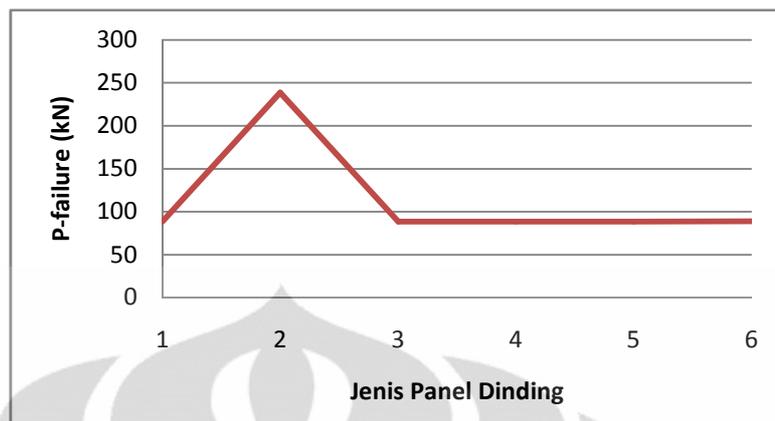


Gambar 4.1 Gambar Elemen dinding bata nomor 13

Tabel 4.1 Tegangan maksimum elemen dinding bata dan gaya yang menyebabkan kegagalan tarik

No.	Jenis Panel Dinding	Tegangan (MPa)	P(fail) (kN)	% terhadap dinding utuh
1	Dinding Bata Utuh	1.241	88.3941	100.00
2	Dinding Bata Retak	0.46	238.4719	269.78
3	Dinding Bata Perbaikan Plester	1.242	88.32	99.92
4	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	1.24	88.46532	100.08
5	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	1.239	88.53672	100.16
6	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	1.237	88.67987	100.32

Dari data yang tersaji, dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi pada elemen 13 menurun drastis pada kondisi dinding bata retak. Hal ini disebabkan retak yang dimodelkan pada daerah *strut* menghilangkan peranan *ties* pada panel dinding bata. Melihat letak elemen 13 dalam pemodelan relatif berada dalam daerah *ties*, oleh karena itu gaya dalam pada elemen ini bernilai kecil ketika terjadi retak yang seolah-olah menghilangkan peranan *ties*.



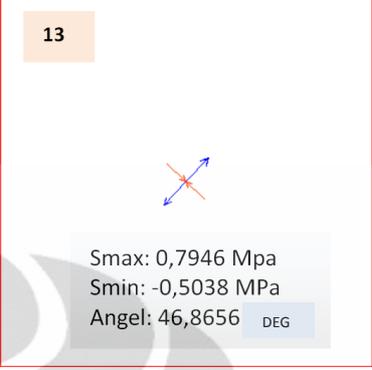
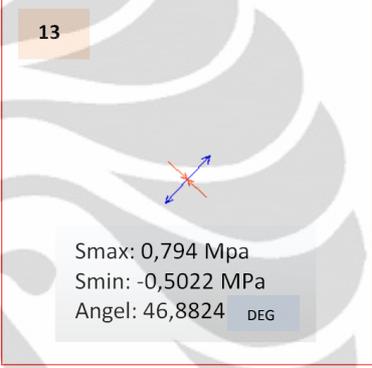
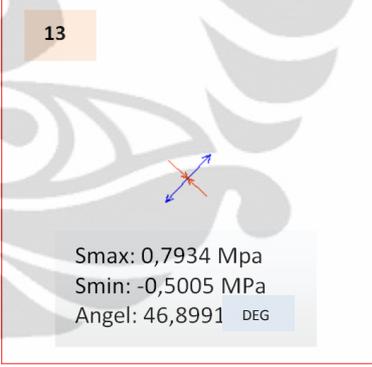
Gambar 4.2 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik dinding bata terhadap jenis panel dinding

Ketika dinding bata yang retak diperbaiki dengan plester, dapat terlihat peningkatan kembali tegangan di elemen 13 yang mendekati nilai tegangan pada kondisi dinding utuh. Hal ini menunjukkan bahwa dengan memperbaiki dinding bata yang retak dengan plester telah dapat mengembalikan kekakuan dinding seperti sedia kala. Peningkatan kekakuan dapat dilihat dari tegangan yang terjadi. Semakin besar kekakuan suatu elemen, maka akan semakin besar gaya yang masuk yang akan mengakibatkan terjadinya tegangan yang semakin besar pula.

Pengaruh penambahan kawat sebagai bahan perbaikan dinding terlihat pula dalam hasil yang tersaji. Dapat dilihat bahwa penambahan kawat menurunkan nilai tegangan yang terjadi pada elemen 13. Semakin banyak kawat yang digunakan, semakin menurun nilai tegangan yang terjadi. Hal ini disebabkan kawat yang dipasang pada daerah *strut* menambah kekakuan *strut* yang kemudian seiring dengan bertambahnya kekakuan maka gaya yang ditanggung oleh *strut* juga semakin besar. Dengan demikian, gaya yang ditanggung oleh *ties* cenderung berkurang sehingga tegangan yang terjadi pun ikut berkurang.

Berikut ini adalah ilustrasi arah vektor tegangan dan besarnya nilai tegangan yang terjadi pada elemen acuan nomor 13 pada kondisi dinding bata yang diperbaiki dengan kawat anyam.

Tabel 4.2 Ilustrasi tegangan utama paada elemen acuan

Jenis Panel Dinding	Tegangan utama pada elemen acuan
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	

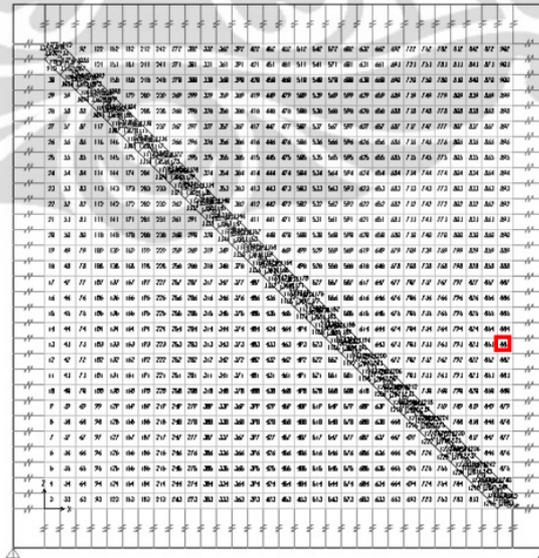
Selanjutnya, peninjauan peningkatan kapasitas struktur digambarkan pada gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan, dalam hal ini kegagalan tarik. Kapasitas struktur merupakan perbandingan dari kapasitas material dengan gaya dalam yang terjadi, dalam hal ini gaya dalam tarik. Dapat dilihat pada kondisi dinding bata yang retak, terjadi peningkatan kapasitas yang besar karena dengan material yang sama, elemen 13 menerima gaya dalam tarik yang kecil.

Ketika dinding bata yang retak kemudian diperbaiki dengan plester, seperti terlihat pada data, terjadi penurunan kapasitas struktur karena terjadi

peningkatan gaya dalam tarik. Dapat dilihat bahwa perbaikan dinding retak dengan menggunakan plester telah mengembalikan kapasitas struktur seperti ketika dinding bata utuh. Selanjutnya, penambahan kawat pada daerah *strut* dalam perbaikan dinding bata yang retak menambah kembali kapasitas struktur seiring dengan berkurangnya nilai tegangan pada elemen yang ditinjau. Semakin banyak kawat yang terpasang, dari variasi satu yang memasang satu grid sampai variasi tiga yang memasang tiga grid, semakin besar kapasitas strukturnya. Hasil ini secara teoritis membuktikan hipotesa awal bahwa penambahan elemen kawat sebagai bahan perbaikan dinding bata yang retak dapat meningkatkan kapasitas dinding secara struktural.

b. Elemen Tekan

Hasil analisis panel dinding bata utuh yang dikenai gaya *inplane* sebesar 500 kN pada ujung kiri atas panel menghasilkan tegangan minimum pada nomor elemen 883. Elemen ini kemudian menjadi acuan untuk peninjauan panel-panel dinding lainnya. Berikut ini adalah tegangan-tegangan pada elemen nomor 883 masing-masing panel dinding yang ditinjau serta gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan tekan mengacu pada tegangan tekan ijin dinding bata.

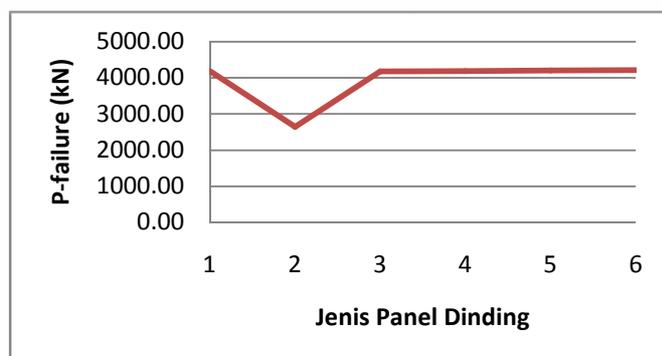


Gambar 4.3 Elemen dinding Bata nomor 883

Tabel 4.3 Tegangan minimum elemen dinding bata dan gaya yang menyebabkan kegagalan tekan

No.	Jenis Panel Dinding	Tegangan (MPa)	P(fail) (kN)	% terhadap dinding utuh
1	Dinding Bata Utuh	-1.321	4182.44	100.00
2	Dinding Bata Retak	-2.093	2639.75	63.12
3	Dinding Bata Perbaikan Plester	-1.324	4172.96	99.77
4	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	-1.32	4185.606	100.08
5	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	-1.316	4198.328	100.38
6	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	-1.311	4214.34	100.76

Dari data yang tersaji, dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi pada elemen 883 meningkat drastis pada kondisi dinding bata retak. Hal ini disebabkan retak yang dimodelkan pada daerah *strut* menghilangkan peranan *ties* pada panel dinding bata. Oleh karena itu, gaya dalam pada daerah *strut* bernilai besar ketika terjadi retak yang seolah-olah hanya menyisakan *strut* pada dinding bata sehingga gaya yang masuk besar. Melihat letak elemen 883 dalam pemodelan relatif berada dalam daerah *strut*, maka gaya dalam pada elemen ini pun bernilai besar.



Gambar 4.4 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tekan dinding bata terhadap jenis panel dinding

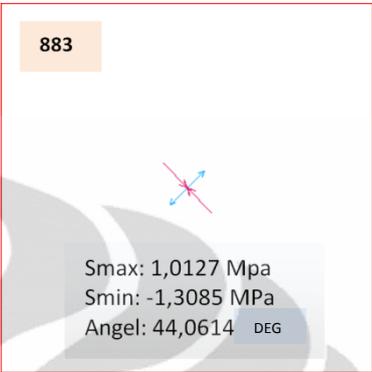
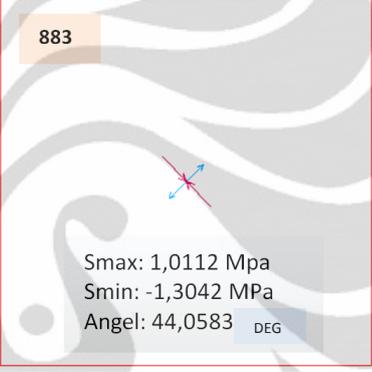
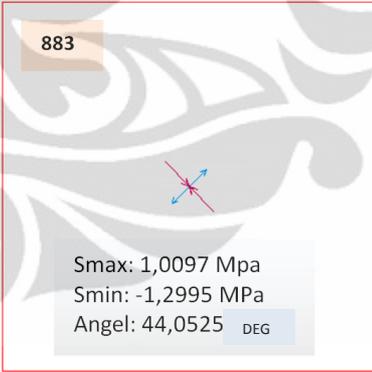
Ketika dinding bata yang retak diperbaiki dengan plester, dapat terlihat penurunan kembali tegangan di elemen 883 yang mendekati nilai tegangan pada kondisi dinding utuh. Hal ini disebabkan oleh peningkatan peranan *ties* akibat perbaikan daerah *strut*. Dengan menutup retak yang terjadi, artinya telah menyambung kembali *ties* yang terputus. Dengan demikian, gaya yang ditanggung daerah *strut* menjadi berkurang sehingga tegangan berkurang.

Penambahan kawat sebagai bahan perbaikan dinding retak dapat terlihat pula dari tegangan yang semakin berkurang. Hal ini disebabkan penambahan elemen kawat telah menambah kekakuan tarik pada daerah *strut*. Dengan demikian, penambahan kekakuan tarik akan meningkatkan tegangan tarik pada daerah *strut*. Oleh karena itu, secara tak langsung, dengan meningkatnya kemampuan tarik akan mengurangi gaya dalam tekan. Selanjutnya, peninjauan peningkatan kapasitas struktur digambarkan pada gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan, dalam hal ini kegagalan tekan. Kapasitas struktur merupakan perbandingan dari kapasitas material dengan gaya dalam yang terjadi, dalam hal ini gaya dalam tekan. Dapat dilihat pada kondisi dinding bata yang retak, terjadi penurunan kapasitas yang besar karena dengan material yang sama, elemen 883 menerima gaya dalam tekan yang besar.

Tabel 4.4 adalah ilustrasi arah vektor tegangan dan besarnya nilai tegangan yang terjadi pada elemen acuan nomor 883 pada kondisi dinding bata yang diperbaiki dengan kawat anyam.

Ketika dinding bata yang retak kemudian diperbaiki dengan plester, seperti terlihat pada data, terjadi peningkatan kapasitas struktur karena terjadi penurunan gaya dalam tekan. Dapat dilihat bahwa perbaikan dinding retak dengan menggunakan plester telah mengembalikan kapasitas struktur seperti ketika dinding bata utuh. Selanjutnya, penambahan kawat pada daerah *strut* dalam perbaikan dinding bata yang retak menambah kembali kapasitas struktur seiring dengan berkurangnya nilai tegangan pada elemen yang ditinjau.

Tabel 4.4 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan

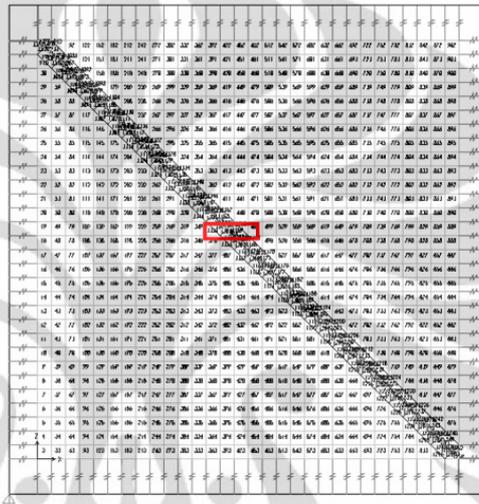
Jenis Panel Dinding	Tegangan utama pada elemen acuan
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	 <p>883</p> <p>Smax: 1,0127 Mpa Smin: -1,3085 MPa Angel: 44,0614 DEG</p>
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	 <p>883</p> <p>Smax: 1,0112 Mpa Smin: -1,3042 MPa Angel: 44,0583 DEG</p>
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	 <p>883</p> <p>Smax: 1,0097 Mpa Smin: -1,2995 MPa Angel: 44,0525 DEG</p>

Semakin banyak kawat yang terpasang, dari variasi satu yang memasang satu grid sampai variasi tiga yang memasang tiga grid, semakin besar kapasitas strukturnya. Hasil ini secara teoritis membuktikan hipotesa awal bahwa penambahan elemen kawat sebagai bahan perbaikan dinding bata yang retak dapat meningkatkan kapasitas dinding secara struktural.

4.1.1.2 Elemen Plester

a. Elemen Tarik

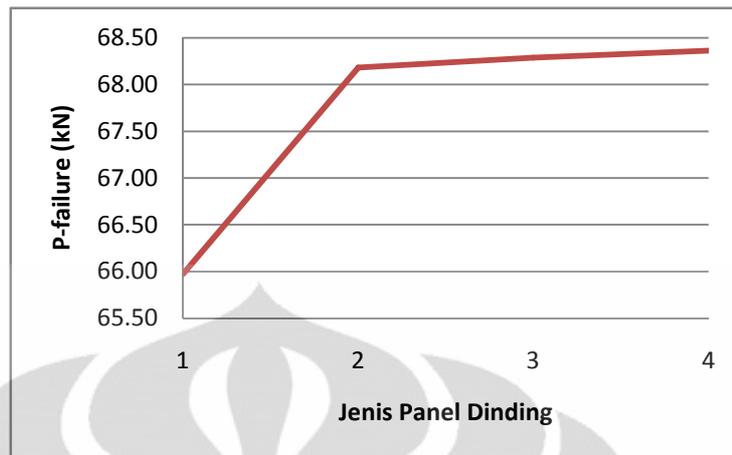
Hasil analisis panel dinding bata retak yang diperbaiki dengan plester dikenai gaya *inplane* sebesar 500 kN pada ujung kiri atas panel menghasilkan tegangan maksimum pada nomor elemen 379. Elemen ini kemudian menjadi acuan untuk peninjauan panel-panel dinding lainnya. Berikut ini adalah tegangan-tegangan pada elemen nomor 379 masing-masing panel dinding yang ditinjau serta gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan tekan mengacu pada tegangan tarik ijin plester.



Gambar 4.5 Elemen plester nomor 379

Tabel 4.5 Tegangan maksimum elemen plester dan gaya yang menyebabkan kegagalan tarik

No.	Jenis Panel Dinding	Tegangan (MPa)	P(fail) (kN)	% terhadap dinding utuh
1	Dinding Bata Perbaikan Plester	2.730	65.98	100.00
2	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	2.64	68.18182	103.34
3	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	2.636	68.28528	103.50
4	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	2.633	68.36308	103.62



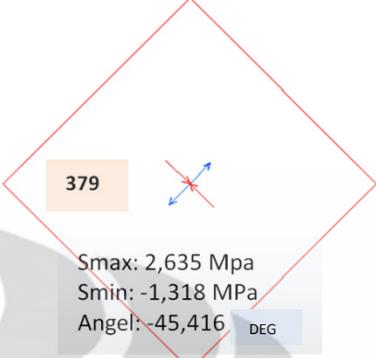
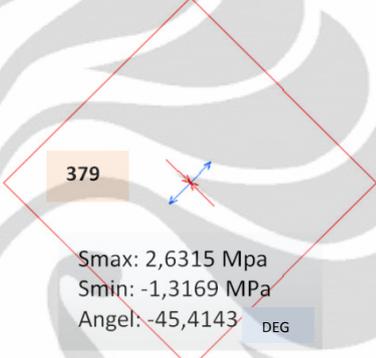
Gambar 4.6 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik plester terhadap jenis panel dinding

Dari data yang tersaji, dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi pada elemen 379 menurun seiring dengan penambahan elemen kawat sebagai bahan perbaikan dinding yang retak. Hal ini menunjukkan kehadiran kawat secara langsung mengambil alih peranan menahan tarik. Oleh karena itu, tegangan yang diterima oleh elemen plester semakin berkurang dengan penambahan kawat. Berkurangnya tegangan yang terjadi pada plester mengakibatkan meningkatnya kapasitas struktur terhadap tarik.

Tabel 4.6 adalah ilustrasi arah vektor tegangan dan besarnya nilai tegangan yang terjadi pada elemen acuan nomor 379 pada kondisi dinding bata yang diperbaiki dengan kawat anyam.

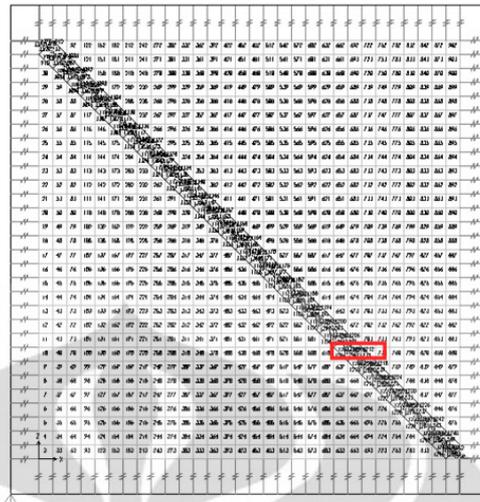
Tabel 4.6 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan

Jenis Panel Dinding	Tegangan utama pada elemen acuan
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	<p>379</p> <p>Smax: 2,6391 Mpa Smin: -1,3252 MPa Angel: -45,4157 DEG</p>

Jenis Panel Dinding	Tegangan utama pada elemen acuan
Dinding Bata Perbaiki Plester-Kawat V2	 <p>379</p> <p>Smax: 2,635 Mpa Smin: -1,318 MPa Angel: -45,416 DEG</p>
Dinding Bata Perbaiki Plester-Kawat V3	 <p>379</p> <p>Smax: 2,6315 Mpa Smin: -1,3169 MPa Angel: -45,4143 DEG</p>

b. Elemen Tekan

Hasil analisis panel dinding bata retak yang diperbaiki dengan plester dikenai gaya *inplane* sebesar 500 kN pada ujung kiri atas panel menghasilkan tegangan minimum pada nomor elemen 671. Elemen ini kemudian menjadi acuan untuk peninjauan panel-panel dinding lainnya. Berikut ini adalah tegangan-tegangan pada elemen nomor 671 masing-masing panel dinding yang ditinjau serta gaya yang menyebabkan terjadinya kegagalan tekan mengacu pada tegangan tekan ijin plester.



Gambar 4.7 Elemen plester nomor 671

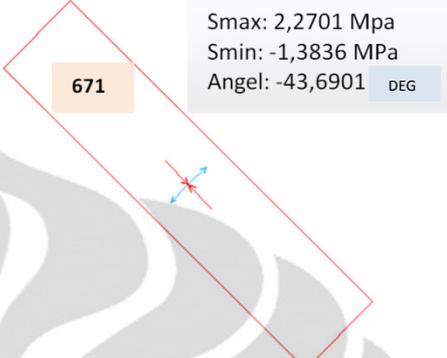
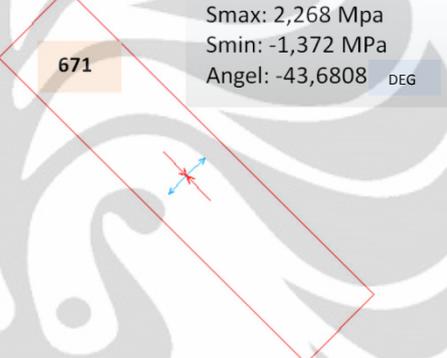
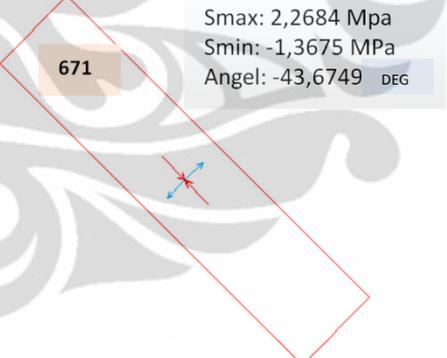
Tabel 4.7 Tegangan minimum elemen plester dan gaya yang menyebabkan kegagalan tekan

No.	Jenis Panel Dinding	Tegangan (MPa)	P(fail) (kN)	% terhadap dinding utuh
1	Dinding Bata Perbaikan Plester	-1.382	6382.05	100.00
2	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	-1.41	6255.319	98.01
3	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	-1.402	6291.013	98.57
4	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	-1.394	6327.116	99.14

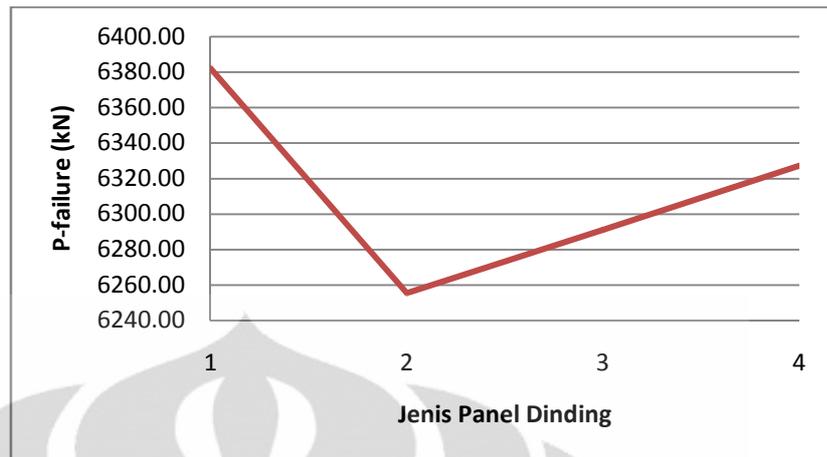
Tabel 4.8 adalah ilustrasi arah vektor tegangan dan besarnya nilai tegangan yang terjadi pada elemen acuan nomor 379 pada kondisi dinding bata yang diperbaiki dengan kawat anyam.

Dari data yang tersaji, dapat dilihat pada gambar 4.8 bahwa tegangan yang terjadi pada elemen 671 menurun dengan penambahan elemen kawat sebagai bahan perbaikan dinding yang retak. Hasil ini kemungkinan besar dikarenakan peninjauan elemen yang sama, mengacu pada letak elemen maksimum perbaikan yang menggunakan kawat saja, melewati nilai tegangan yang mungkin lebih besar pada elemen lain.

Tabel 4.8 Ilustrasi tegangan utama pada elemen acuan

Jenis Panel Dinding	Tegangan utama pada elemen acuan
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V1	 <p>Smax: 2,2701 Mpa Smin: -1,3836 MPa Angel: -43,6901 DEG</p>
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V2	 <p>Smax: 2,268 Mpa Smin: -1,372 MPa Angel: -43,6808 DEG</p>
Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat V3	 <p>Smax: 2,2684 Mpa Smin: -1,3675 MPa Angel: -43,6749 DEG</p>

Namun demikian, penambahan kuantitas kawat dapat meningkatkan kembali kapasitas tekan dari plester. Hal ini dikarenakan dengan penambahan kuantitas kawat, berarti menambah kekakuan tarik. oleh sebab itu, plester menerima tegangan tekan yang lebih kecil pada kuantitas kawat yang lebih banyak karena gaya luar yang masuk telah terserap oleh kekakuan tariknya.



Gambar 4.8 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tekan plester terhadap jenis panel dinding

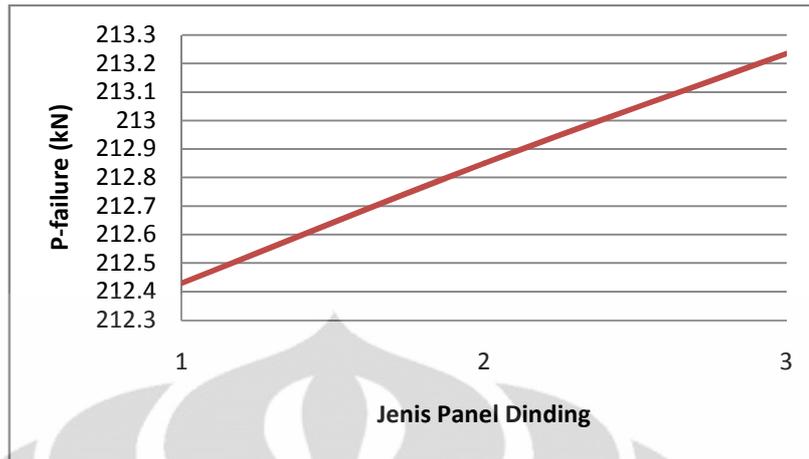
4.1.1.3 Elemen Kawat

Di bawah ini adalah tegangan maksimum kawat pada masing-masing panel dinding bata yang telah diperbaiki dengan kuantitas kawat berbeda sesuai dengan variasi seperti telah disebutkan sebelumnya ketika dikenai gaya *inplane* sebesar 500 kN pada ujung kiri atas panel. Tegangan maksimum terjadi pada elemen kawat nomor 25. Perhitungan terhadap P_{fail} dihitung berdasarkan aksial leleh kawat, yaitu sebesar 70% dari aksial putusnya.

Tabel 4.9 Tegangan maksimum kawat pada dinding bata sesuai dengan variasi

No.	Jenis Panel Dinding	Tegangan MPa	P(fail) kN	% terhadap Var-1
1	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat Var-1	1176.86	212.4297	100
2	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat Var-2	1174.54	212.8493	100.1975241
3	Dinding Bata Perbaikan Plester-Kawat Var-3	1172.42	213.2342	100.3787039

Dari data yang tersaji dapat dilihat bahwa penambahan kuantitas kawat sebagai bahan perbaikan dinding bata yang retak meningkatkan kapasitas struktur. Hal ini terjadi karena dengan penambahan kuantitas kawat, tegangan yang tersalur ke dalam elemen kawat semakin kecil karena dengan gaya yang sama, kawat dengan kuantitas lebih banyak memiliki luas permukaan lebih banyak.



Gambar 4.9 Grafik Perubahan gaya peyebab kegagalan tarik kawat terhadap variasi penggunaan kawat

Oleh karena itu, tegangan yang terjadi semakin kecil (tegangan sama dengan gaya per satuan luas). Kapasitas struktur merupakan perbandingan dari kapasitas material dengan gaya dalam yang terjadi, sehingga dengan mengecilnya tegangan maka kapasitas struktur akan meningkat.

4.1.2 Distribusi Tegangan pada Sisi Panel Akibat Pelepasan Link

Dalam bagian ini akan ditinjau perubahan distribusi tegangan pada masing-masing sisi panel ketika dilakukan pelepasan link pada ujung-ujung daerah *ties*. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh pengurangan kemampuan tarik dari elemen dinding bata pada panel dinding terhadap distribusi tegangan maksimumnya. Yang dilakukan pada analisis ini adalah pelepasan elemen link satu per satu yang menghubungkan panel elemen-elemen panel dinding terhadap portal beton bertulang.

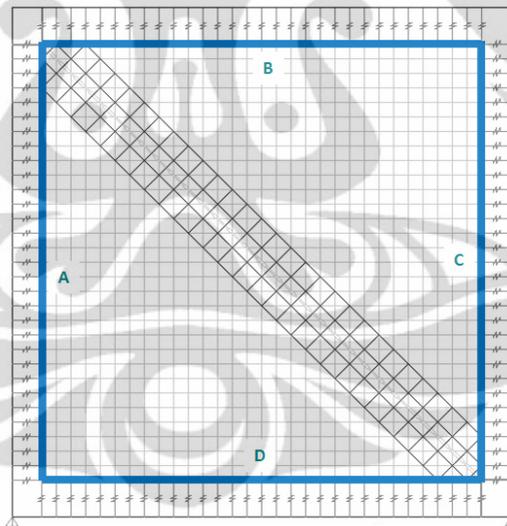
Di bawah ini adalah rangkuman data letak elemen maksimum pada sisi panel dinding hasil pelepasan link sampai pada link kelima pada masing-masing variasi kuantitas kawat yang digunakan.

Seperti dapat terlihat pada tabel 4.10, elemen maksimum pada masing-masing variasi untuk setiap pelepasan link terletak pada nomor elemen yang sama. Hal ini menunjukkan adanya persamaan perilaku panel dinding baik yang diperbaiki dengan variasi satu, dua maupun tiga.

Tabel 4.10 Tegangan maksimum-minimum akibat pelepasan link

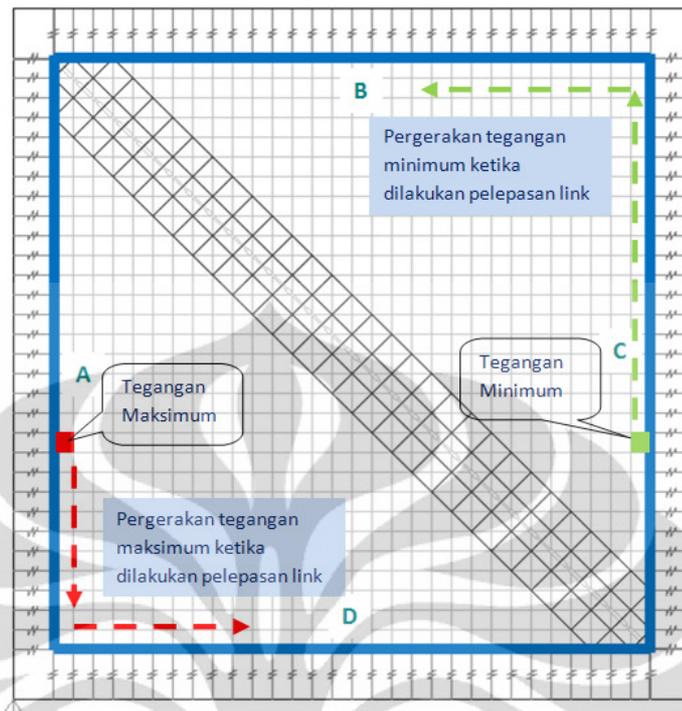
Link Terlepas	Variasi 1				Variasi 2				Variasi 3			
	Maksimum		Minimum		Maksimum		Minimum		Maksimum		Minimum	
	Teg	No	Teg	No	Teg	No	Teg	No	Teg	No	Teg	No
0	1.24	13	-1.32	883	1.239	13	-1.316	883	1.237	13	-1.311	883
1	1.401	3	-1.803	902	1.4	3	-1.801	902	1.399	3	-1.799	902
2	1.405	63	-1.622	901	1.404	63	-1.62	901	1.404	63	-1.618	901
3	1.727	93	-1.683	842	1.726	93	-1.681	842	1.725	93	-1.679	842
4	2.013	123	-1.912	7	2.011	123	-1.909	7	2.01	123	-1.907	7
5	2.265	153	-2.162	8	2.263	153	-2.159	8	2.261	153	-2.156	8

Oleh karena itu, untuk menyederhanakan analisis, akan dibahas perubahan distribusi tegangan pada bagian sisi-sisi panel dinding variasi kedua saja.



Gambar 4.10 Sisi panel yang akan ditinjau

Sebelum ditampilkan grafik distribusi tegangan, akan ditinjau terlebih dahulu kecenderungan tegangan pada masing-masing sisi untuk mempersempit analisis. Seperti dapat dilihat pada tabel sebelumnya yang menyajikan data tegangan beserta letak-letaknya ketika dilakukan pelepasan link, berikut ini adalah ilustrasi pergerakan elemen yang mengalami tegangan maksimum dan minimum pada masing-masing sisi.

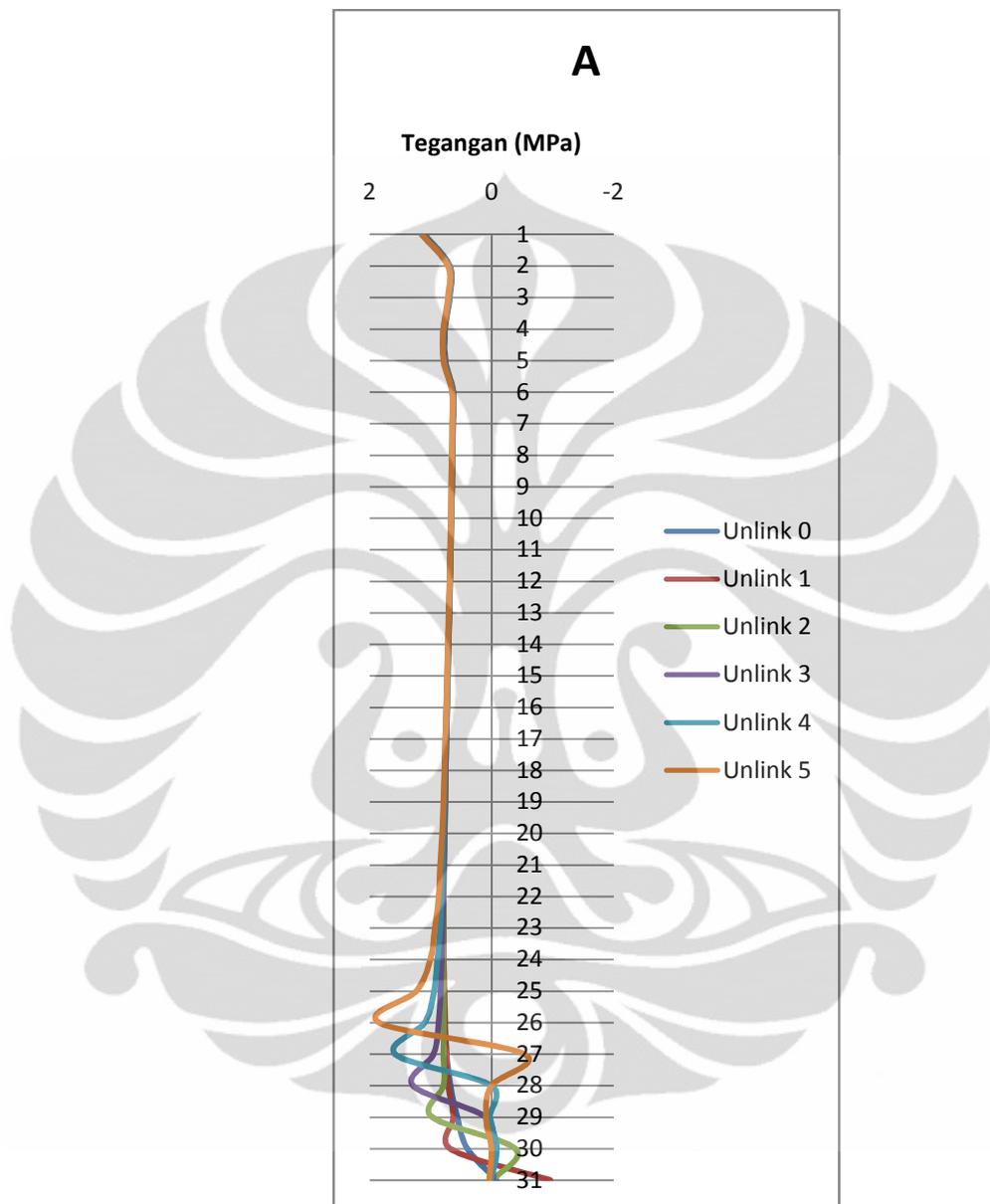


Gambar 4.11 Ilustrasi pergerakan tegangan maksimum dan minimum

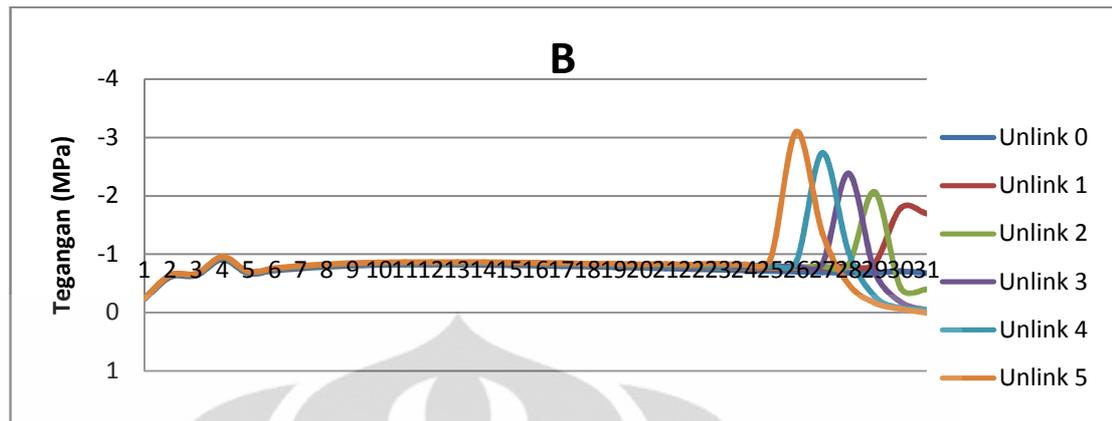
Di bawah ini akan disajikan grafik data distribusi tegangan di titik-titik yang menghubungkan panel dinding bata dengan portal pada masing-masing sisi A, B, C dan D seperti tergambar di atas. Sesuai dengan ilustrasi di atas, pada sisi A dan D yang disajikan adalah data tegangan maksimum sedangkan pada sisi B dan C adalah data tegangan minimum. Penomoran titik elemen dari 1 sampai 31 dalam grafik pada sisi-sisi vertikal adalah dari atas ke bawah dan pada sisi-sisi horizontal adalah dari kiri ke kanan.

Grafik-grafik berikut ini (gambar 4.12 - gambar4.15) menunjukkan konsentrasi tegangan yang cukup besar pada ujung-ujung diagonal tarik. Ketika dilakukan pelepasan link, terjadi peningkatan tegangan, baik maksimum maupun minimum. Selain terjadi peningkatan tegangan, pada sisi D, C dan B, terjadi pula pergeseran letak tegangan maksimum maupun minimum. Pada sisi C, tegangan minimum bergerak ke atas ketika 1 link dilepas dan bergeser lagi ke bawah ketika link-link selanjutnya dilepas sampai pada link kelima. Pada sisi D, seperti halnya sisi C, tegangan maksimum bergerak ke elemen paling kiri pada pelepasan link pertama dan bergerak ke kanan pada pelepasan link selanjutnya hingga link ke 5. Pada sisi B dan A, adanya pelepasan link juga memengaruhi nilai dan letak

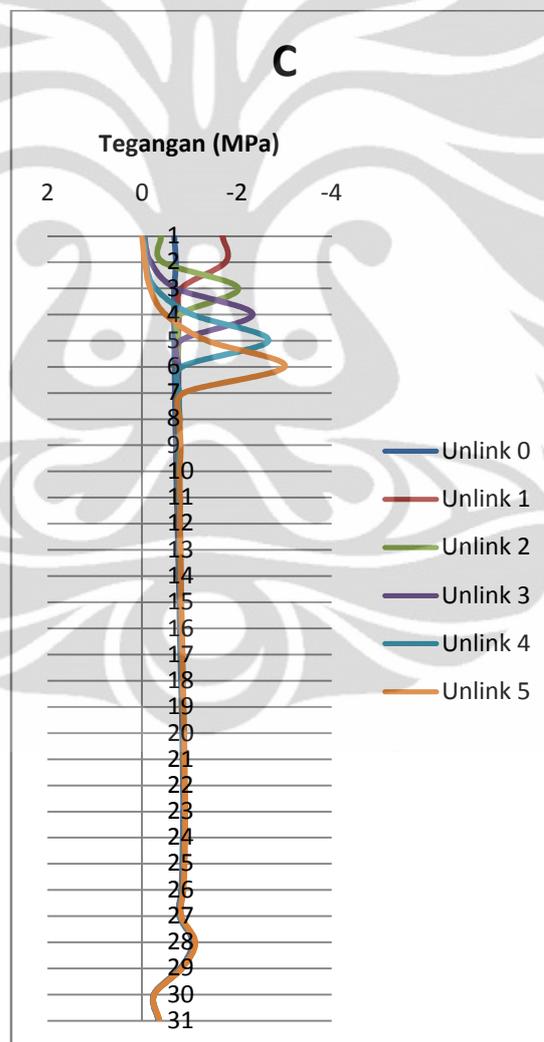
tegangan maksimum dan minimumnya. Namun demikian, tak seperti pada sisi C dan D, perubahan nilai serta letak tidak memiliki pola beraturan.



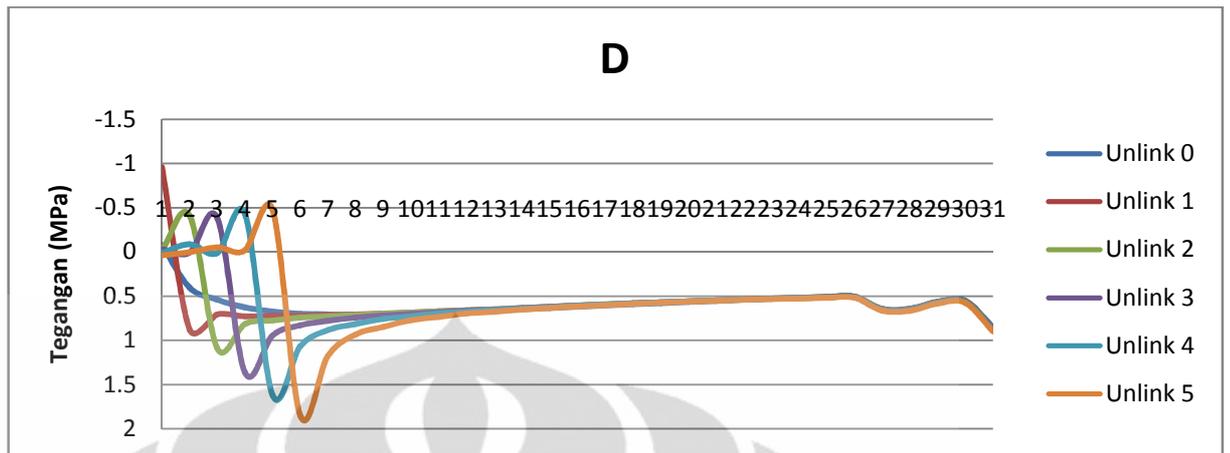
Gambar 4.12 Grafik Distribusi tegangan pada sisi A (sisi vertikal)



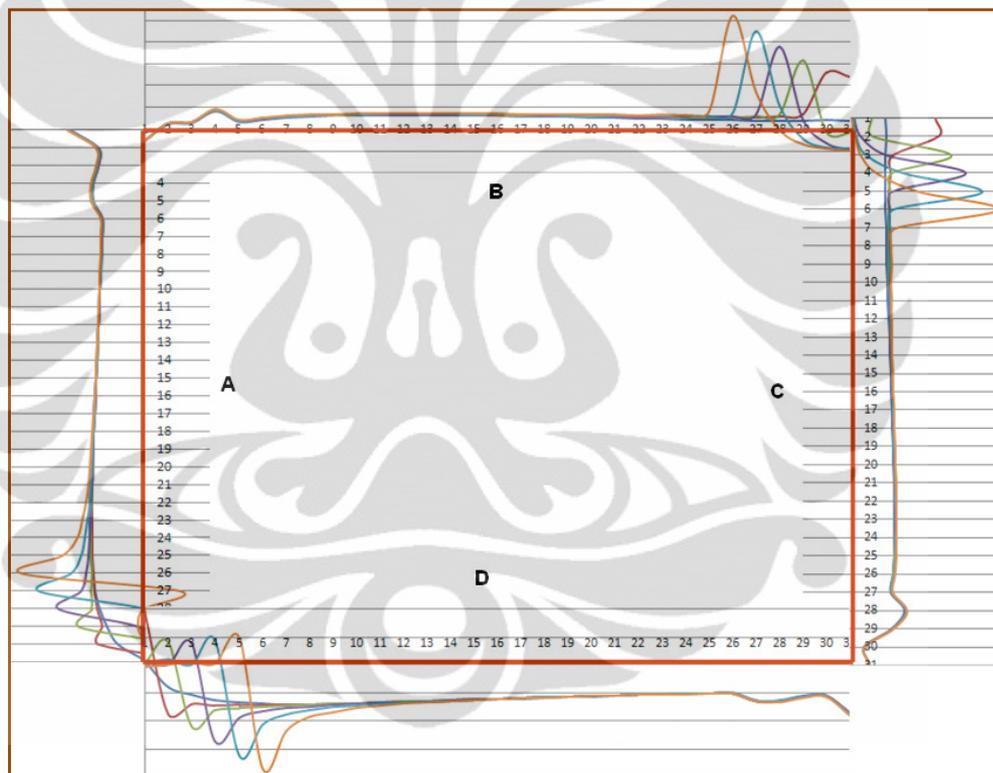
Gambar 4.13 Grafik Distribusi tegangan pada sisi B (sisi horisontal)



Gambar 4.14 Grafik Distribusi tegangan pada sisi C (sisi vertikal)



Gambar 4.15 Grafik Distribusi tegangan pada sisi D (sisi horisontal)



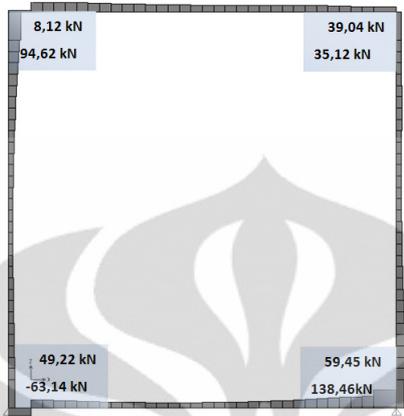
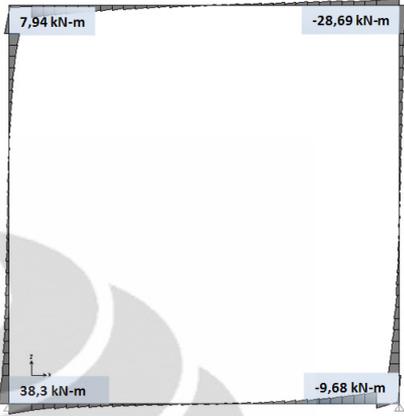
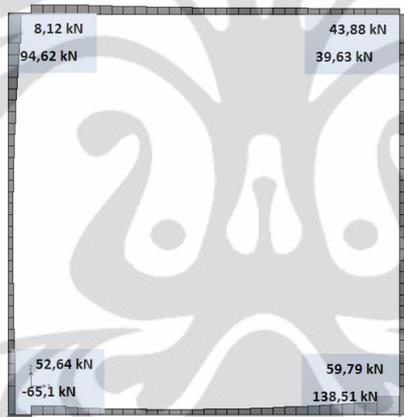
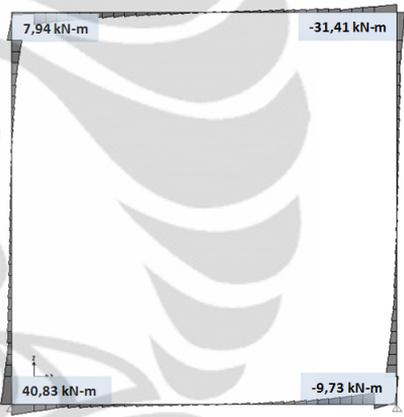
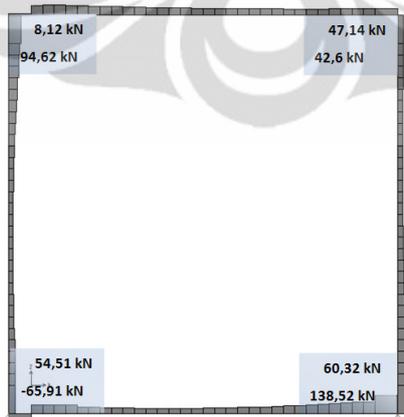
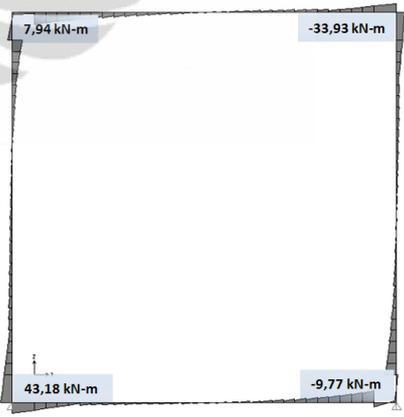
Gambar 4.16 Gambar Ringkasan grafik hasil pelepasan link pada sisi panel

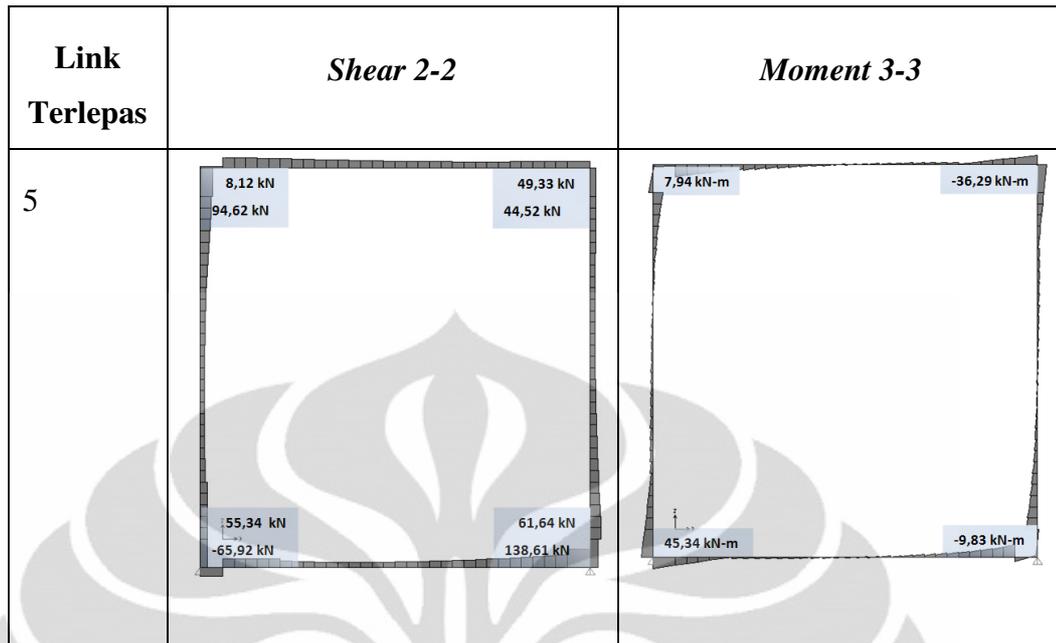
Hasil yang ditunjukkan grafik-grafik di atas membuktikan bahwa pelepasan link, yang menyimulasikan separasi antara portal beton dengan dinding pengisi pada diagonal tarik, menyebabkan pergeseran tegangan maksimum dan atau minimum menjauhi ujung diagonal tarik. Hal ini dikarenakan terjadinya separasi menyebabkan kapasitas tarik dari dinding pengisi berkurang sehingga gaya yang masuk dialihkan mendekati diagonal tekan.

Selain pada panel dinding, terjadi pula perubahan pada gaya dalam geser dan momen pada portal. Ketika link dilepas, ujung atas diagonal tarik mengalami peningkatan gaya geser. Sedangkan pada perilaku momennya, kedua ujung diagonal tarik yang tadinya tak mengalami momen ketika dilakukan pelepasan link timbul momen pada ujung-ujungnya. Untuk lebih jelasnya, perubahan gaya dalam lintang maupun momen tiap-tiap pelepasan link disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4.11 Gaya dalam lintang dan momen pada pelepasan *link*

Link Terlepas	<i>Shear 2-2</i>	<i>Moment 3-3</i>
0		
1		

Link Terlepas	<i>Shear 2-2</i>	<i>Moment 3-3</i>
2	 <p>Shear force diagram for Link 2. The diagram shows a rectangular frame with shear force values at the corners: top-left 8,12 kN, top-right 39,04 kN, bottom-left 49,22 kN, and bottom-right 59,45 kN. The vertical shear force on the left column is 94,62 kN, and on the right column is 35,12 kN. The horizontal shear force on the bottom beam is 138,46 kN. The bottom-left corner also shows a value of -63,14 kN.</p>	 <p>Bending moment diagram for Link 2. The diagram shows a rectangular frame with moment values at the corners: top-left 7,94 kN-m, top-right -28,69 kN-m, bottom-left 38,3 kN-m, and bottom-right -9,68 kN-m.</p>
3	 <p>Shear force diagram for Link 3. The diagram shows a rectangular frame with shear force values at the corners: top-left 8,12 kN, top-right 43,88 kN, bottom-left 52,64 kN, and bottom-right 59,79 kN. The vertical shear force on the left column is 94,62 kN, and on the right column is 39,63 kN. The horizontal shear force on the bottom beam is 138,51 kN. The bottom-left corner also shows a value of -65,1 kN.</p>	 <p>Bending moment diagram for Link 3. The diagram shows a rectangular frame with moment values at the corners: top-left 7,94 kN-m, top-right -31,41 kN-m, bottom-left 40,83 kN-m, and bottom-right -9,73 kN-m.</p>
4	 <p>Shear force diagram for Link 4. The diagram shows a rectangular frame with shear force values at the corners: top-left 8,12 kN, top-right 47,14 kN, bottom-left 54,51 kN, and bottom-right 60,32 kN. The vertical shear force on the left column is 94,62 kN, and on the right column is 42,6 kN. The horizontal shear force on the bottom beam is 138,52 kN. The bottom-left corner also shows a value of -65,91 kN.</p>	 <p>Bending moment diagram for Link 4. The diagram shows a rectangular frame with moment values at the corners: top-left 7,94 kN-m, top-right -33,93 kN-m, bottom-left 43,18 kN-m, and bottom-right -9,77 kN-m.</p>



4.2 Ruko Tiga Bentang 3 Lantai

4.2.1 Periode Natural dan Gaya Geser Dasar

- Periode Natural

Periode natural didapatkan melalui analisis modal dengan menggunakan bantuan software SAP2000 v.14. Masing-masing variasi model dikenai gaya seperti yang telah didefinisikan pada bab sebelumnya. Hasil periode natural portal yang didapat dari analisis modal ditunjukkan pada tabel 4.12 dan 4.13.

Dari hasil tersebut kemudian dapat dilihat bahwa pada setiap variasi memiliki periode natural pertama yang hampir sama. Lebih jelasnya ditunjukkan dalam grafik pada gambar 4.17.

Tabel 4.12 Periode natural model acuan

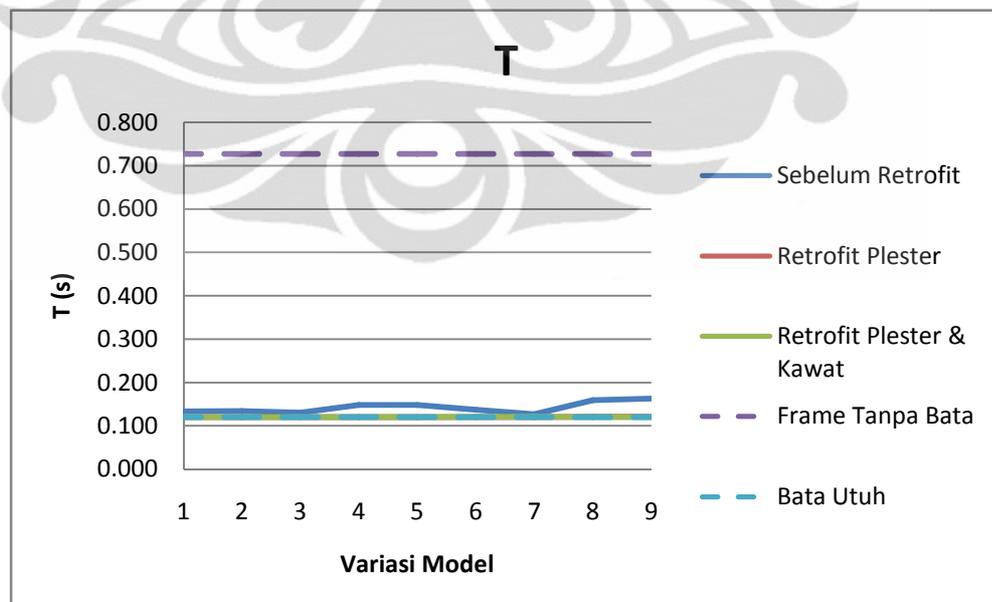
Model	T1	T2	T3
Frame Tanpa Bata	0.726572	0.234209	0.140015
Frame Bata Utuh	0.120511	0.048999	0.046663
Frame Bata Retak	0.163181	0.061368	0.055015

Dalam hubungan antarvariasi letak retak, perubahan periode natural tidak begitu signifikan. Hal ini mengindikasikan, lokasi letak retak tidak begitu mempengaruhi perilaku struktur secara garis besar. Hanya saja pada kondisi dinding yang berbeda, yaitu kondisi sebelum perbaikan, setelah perbaikan dengan

plester dan setelah perbaikan dengan menggunakan plester dan kawat anyam, ada perubahan nilai periode natural.

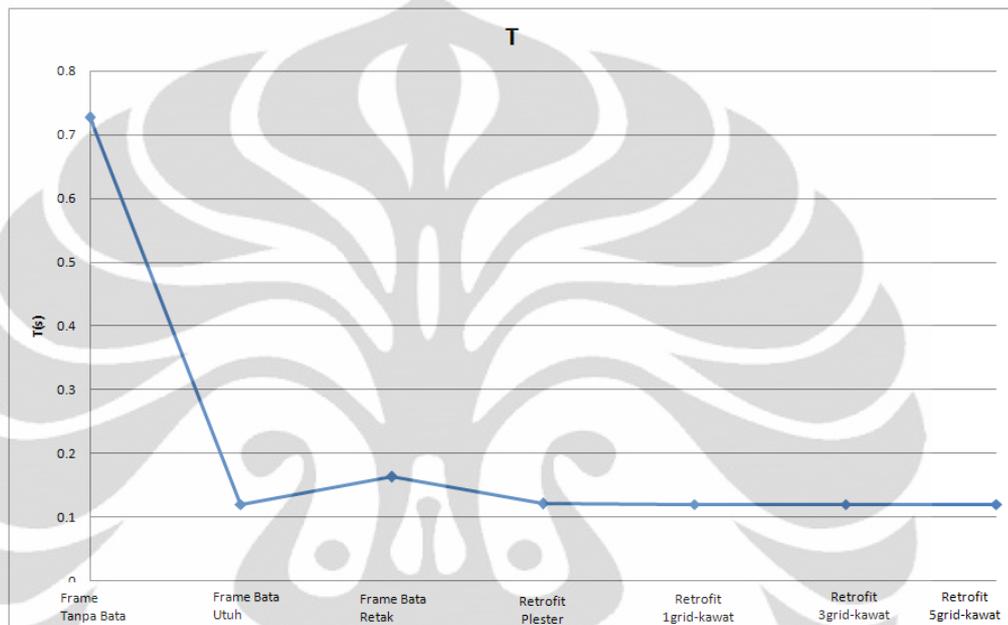
Tabel 4.13 Periode natural variasi model

Model	Sebelum Perbaikan			Perbaikan plester			Perbaikan plester & kawat		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Variasi 1	0.133	0.053	0.049	0.121	0.049	0.047	0.121	0.049	0.047
Variasi 2	0.134	0.052	0.049	0.121	0.049	0.047	0.120	0.049	0.047
Variasi 3	0.130	0.052	0.049	0.121	0.049	0.047	0.121	0.049	0.047
Variasi 4	0.148	0.056	0.053	0.121	0.049	0.047	0.120	0.049	0.047
Variasi 5	0.148	0.055	0.051	0.121	0.049	0.047	0.120	0.049	0.047
Variasi 6	0.138	0.053	0.048	0.121	0.049	0.047	0.121	0.049	0.047
Variasi 7	0.127	0.056	0.049	0.121	0.049	0.047	0.121	0.049	0.047
Variasi 8	0.160	0.056	0.054	0.121	0.049	0.047	0.120	0.049	0.047
Variasi 9	0.163	0.061	0.055	0.121	0.049	0.047	0.120	0.049	0.047
Variasi 10							0.120	0.049	0.047
Variasi 11							0.121	0.049	0.047



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan periode natural tiap model

Dalam grafik di bawah ini secara lebih jelas akan digambarkan perbedaan nilai periode natural masing-masing kondisi panel dinding. Pada panel dinding yang mengalami retak, diambil model yang mengalami retak pada seluruh panel. Dengan demikian, dapat dibandingkan perilakunya setelah diperbaiki menggunakan plester saja dengan perilaku setelah diperbaiki menggunakan plester dan kawat anyam serta variasi kuantitas kawatnya.



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan periode natural antarkondisi panel

Hasil di atas menunjukkan penurunan nilai periode natural dari masing-masing portal dengan kondisi dinding pengisi yang berbeda-beda. Pada kondisi portal yang tidak mengikutsertakan dinding bata, atau hanya menjadikannya beban, periode naturalnya jauh lebih besar dibanding kondisi lain. Ketika dinding bata ikut dimodelkan sebagai elemen struktural, terjadi penurunan periode natural yang sangat besar. Hal ini menunjukkan bahwa dinding bata memiliki peran sangat besar dalam meningkatkan kekakuan portal. Selanjutnya, terlihat ketika terjadi retak, ada peningkatan kembali nilai periode naturalnya. Berkurangnya kekakuan akibat dinding pengisi yang retak mengakibatkan fenomena tersebut. Kemudian ketika dinding diperbaiki dengan plester, periode natural kembali mendekati nilai pada kondisi dinding utuh. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa perbaikan dengan plester dapat mengembalikan kekakuan dari portal seperti sedia kala. Seiring dengan penambahan kuantitas kawat pada elemen

perbaikan, nilai periode natural menurun, walaupun tidak begitu menunjukkan nilai yang berarti. Perilaku ini menunjukkan adanya peningkatan nilai kekakuan portal dengan adanya penambahan kawat anyam dalam perbaikan dinding bata yang retak.

- Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar didapatkan menggunakan rumus beban gempa nominal statik ekuivalen sesuai dengan SNI-03-1726-2002. Nilai C sesuai dengan respon spektrum gempa wilayah 3 tanah lunak. Di bawah ini adalah nilai gaya geser dasar masing-masing model sesuai dengan periode nilai periode naturalnya yang telah disampaikan sebelumnya.

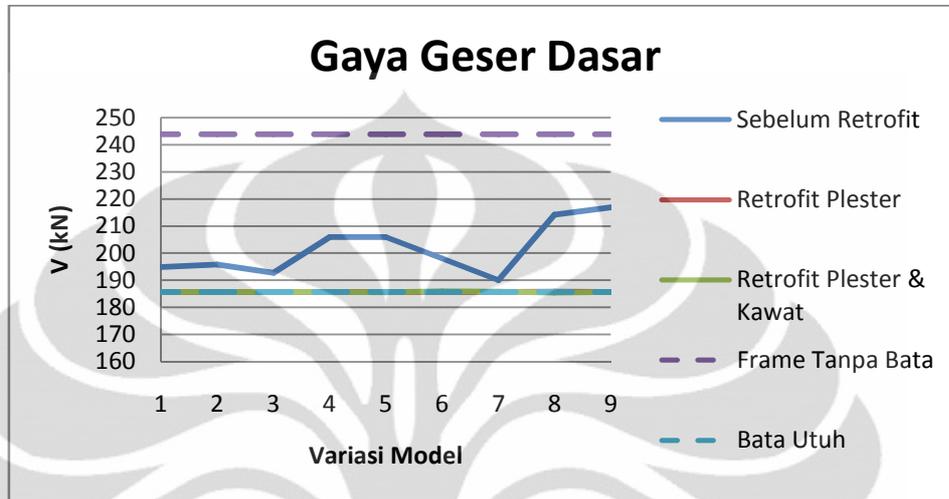
Tabel 4.14 Gaya geser dasar model acuan

Model	V (kN)
Frame Tanpa Bata	243.8209
Frame Bata Utuh	185.6776
Frame Bata Retak	216.8891

Tabel 4.15 Gaya geser dasar model acuan

Model	V (kN)		
	Sebelum Perbaikan	Perbaikan Plester	Perbaikan Kawat & Plester
Variasi 1	194.9321	185.7025	185.6849
Variasi 2	195.7981	185.7105	185.6513
Variasi 3	192.7706	185.7025	185.6725
Variasi 4	205.9567	185.7354	185.6593
Variasi 5	205.9516	185.734	185.5335
Variasi 6	198.1154	185.7084	185.8817
Variasi 7	190.1044	185.6732	185.821
Variasi 8	214.2222	185.7654	185.5101
Variasi 9	216.8891	185.7618	185.6469
Variasi 10			185.5906
Variasi 11			185.7054

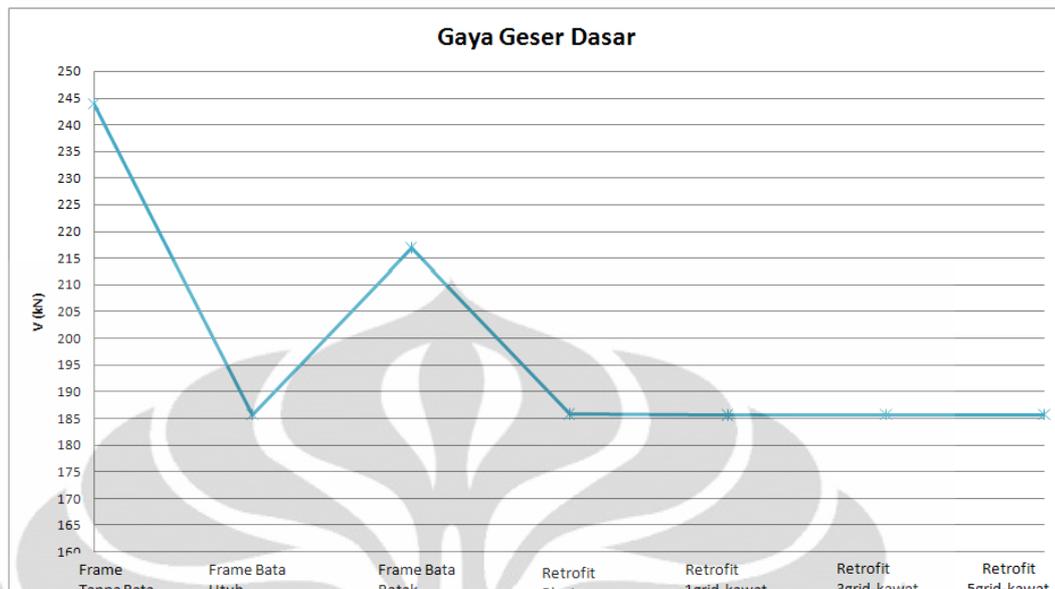
Dari data di atas dapat dilihat, seperti halnya periode natural portal, gaya geser dasar pada variasi letak retak juga tidak menunjukkan perbedaan berarti seperti ditunjukkan pada grafik di bawah ini



4.19 Grafik Perbandingan gaya geser dasar tiap variasi

Seperti halnya pada hasil analisis periode natural, dalam hubungan antarvariasi letak retak, perubahan gaya geser dasar tidak begitu signifikan. Namun pada kondisi dinding yang berbeda, gaya geser dasar. Perbandingan gaya geser dasar antarkondisi panel pengisi lebih jelasnya akan digambarkan pada grafik dibawah ini. Pada panel dinding yang mengalami retak, diambil model yang mengalami retak pada seluruh panel. Dengan demikian, dapat dibandingkan perilakunya setelah diperbaiki menggunakan plester saja dengan perilaku setelah diperbaiki menggunakan plester dan kawat anyam serta variasi kuantitas kawatnya (gambar 4.20).

Hasil di atas menunjukkan penurunan nilai gaya geser dasar dari masing-masing portal dengan kondisi dinding pengisi yang berbeda-beda. Seperti halnya pada grafik perbandingan periode natural, pada kondisi portal yang tidak mengikutsertakan dinding bata, atau hanya menjadikannya beban, gaya geser dasarnya jauh lebih besar dibanding kondisi lain.



4.20 Grafik Perbandingan gaya geser dasar antarkondisi panel

Hal ini menunjukkan bahwa dinding bata memiliki peran sangat besar dalam meningkatkan kekakuan portal. Selanjutnya, terlihat ketika terjadi retak, berkurangnya kekakuan akibat dinding pengisi yang retak mengakibatkan peningkatan gaya geser dasar. Seperti pada hasil analisis periode natural, perbaikan menggunakan plester dan tambahan kawat anyam yang divariasikan kuantitasnya dapat membuat gaya geser dasar kembali mendekati nilai pada kondisi dinding utuh. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa perbaikan dapat mengembalikan kekakuan dari portal.

4.2.2 Proporsi Gaya Geser Dasar Pada Portal dan Panel Dinding

Untuk mengetahui peranan dari portal maupun dinding bata dalam kemampuannya menyerap gaya geser dasar yang terjadi, di bawah ini akan disertakan tabel proporsi gaya geser dasar portal dan dinding bata

Tabel 4.16 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi model acuan

Model	Vportal				total	% Vportal	% Vbata
	K1	K2	K3	K4			
Frame Bata Utuh	-8.239	12.05	11.342	8.288	23.441	12.62457	87.37543
Frame Bata Retak	-0.433	26.513	30.078	39.081	95.239	43.91137	56.08863

Tabel 4.17 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model sebelum diperbaiki

Model	Vportal				total	% Vportal	% Vbata
	K1	K2	K3	K4			
Variasi 1	-0.247	26.471	14.436	10.486	51.146	26.23785	73.76215
Variasi 2	-9.564	6.753	26.227	10.435	33.851	17.28872	82.71128
Variasi 3	-9.645	13.892	7.614	21.99	33.851	17.56025	82.43975
Variasi 4	-0.39	21.013	33.738	13.351	67.712	32.87681	67.12319
Variasi 5	-0.451	25.538	27.767	35.729	88.583	43.01157	56.98843
Variasi 6	-7.401	12.58	12.831	9.717	27.727	13.99538	86.00462
Variasi 7	-8.345	12.307	11.7	8.539	24.201	12.73037	87.26963
Variasi 8	-0.43	26.249	29.715	38.577	94.111	43.93148	56.06852
Variasi 9	-0.433	26.513	30.078	39.081	95.239	43.91137	56.08863

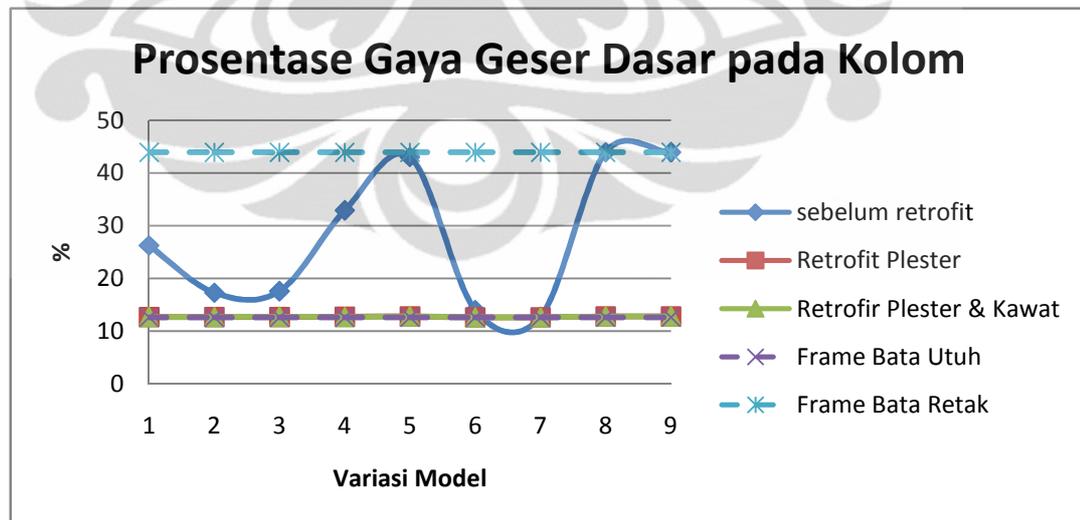
Tabel 4.18 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model setelah perbaikan dengan plester

Model	Vportal				total	% Vportal	% Vbata
	K1	K2	K3	K4			
Variasi 1	-8.221	12.131	11.353	8.296	23.559	12.68642	87.31358
Variasi 2	-8.245	12.045	11.442	8.297	23.539	12.6751	87.3249
Variasi 3	-8.245	12.058	11.342	8.4	23.555	12.68427	87.31573
Variasi 4	-8.226	12.126	11.452	8.304	23.656	12.7364	87.2636
Variasi 5	-8.233	12.132	11.449	8.418	23.766	12.79572	87.20428
Variasi 6	-8.239	12.053	11.345	8.29	23.449	12.62679	87.37321
Variasi 7	-8.239	12.05	11.342	8.288	23.441	12.62487	87.37513
Variasi 8	-8.233	12.134	11.452	8.42	23.773	12.79732	87.20268
Variasi 9	-8.239	12.134	11.452	8.419	23.766	12.79381	87.20619

Tabel 4.19 Prosentase gaya geser dasar pada portal dan dinding pengisi variasi model setelah perbaikan dengan plester dan kawat

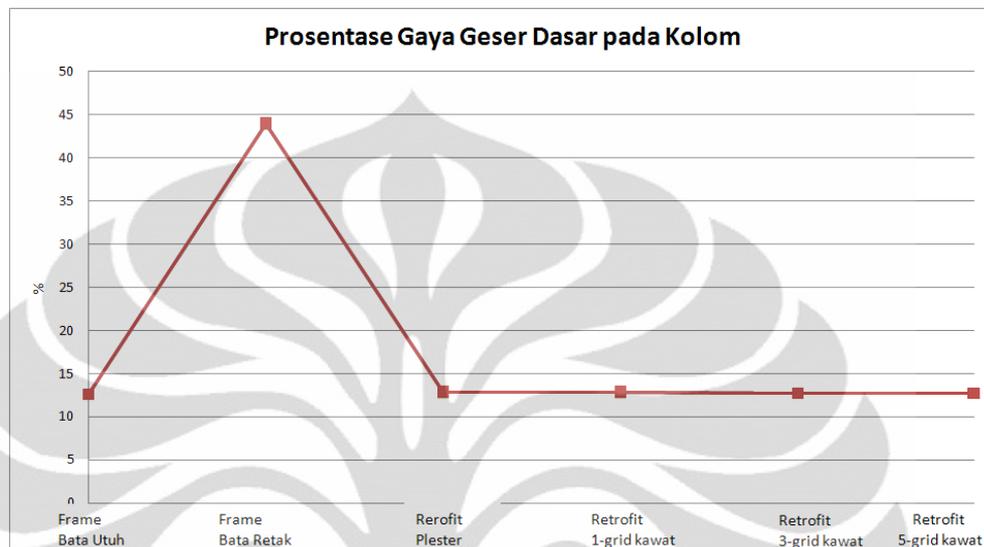
Model	Vportal				total	% Vportal	% Vbata
	K1	K2	K3	K4			
Variasi 1	-8.256	12.13	11.321	8.272	23.467	12.63807	87.36193
Variasi 2	-8.225	12.04	11.436	8.272	23.523	12.67053	87.32947
Variasi 3	-8.224	12.029	11.333	8.445	23.583	12.7014	87.2986
Variasi 4	-8.242	12.12	11.414	8.256	23.548	12.68344	87.31656
Variasi 5	-8.219	12.093	11.395	8.407	23.676	12.76104	87.23896
Variasi 6	-8.25	12.056	11.359	8.303	23.468	12.62523	87.37477
Variasi 7	-8.247	12.053	11.354	8.301	23.461	12.62559	87.37441
Variasi 8	-8.219	12.09	11.396	8.405	23.672	12.76049	87.23951
Variasi 9	-8.227	12.093	11.407	8.418	23.691	12.76132	87.23868
Variasi 10	-8.219	12.096	11.419	8.413	23.709	12.77489	87.22511
Variasi 11	-8.237	12.103	11.412	8.433	23.711	12.76807	87.23193

Dari data di atas kemudian dilihat perbandingan prosentase penyerapan gaya geser dasar oleh portal pada masing-masing variasi pada tiap kondisi panel.



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan prosentase gaya geser dasar portal pada masing-masing variasi berbagai kondisi panel

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa letak retak tidak terlalu memengaruhi kemampuan portal dalam menyerap gaya geser dasar yang diterima struktur akibat pembebanan gempa nominal. Namun terlihat pula ada perbedaan nilai yang cukup signifikan antara kondisi panel satu dengan yang lain.



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan prosentase gaya geser dasar portal pada berbagai kondisi panel

Kondisi panel dinding yang retak meningkatkan gaya geser yang ditanggung oleh portal secara drastis. Ketika dinding telah diperbaiki dengan plester, maka gaya geser yang ditanggung portal kembali menurun mendekati prosentase pada kondisi dinding bata yang utuh sebelum retak. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi dinding bata yang utuh atau setelah diperbaiki, dinding bata memiliki peranan besar dalam menyerap gaya geser dasar sehingga membantu portal dalam menanggung gaya geser. Penambahan material kawat dalam metode perbaikan terlihat pula menurunkan prosentase gaya geser dasar yang diterima portal. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa penambahan kawat anyam dalam perbaikan meningkatkan kinerja dinding bata.

4.2.3 Simpangan dan Kekakuan

Pada bagian ini yang akan ditinjau hanyalah simpangan arah x. Hal ini dikarenakan pembahasan dibatasi pada bidang *inplane* saja. Nilai simpangan yang diambil adalah simpangan pada puncak struktur akibat pembebanan gempa

nominal statik ekuivalen. Berikut ini adalah beban gempa nominal setiap lantai yang dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2002 sesuai dengan gaya geser dasar yang telah disampaikan sebelumnya. Di bawah ini adalah nilai simpangan puncak struktur ruko akibat pembebanan gempa nominal.

Tabel 4.20 Simpangan puncak model acuan

Model	UX (mm)
Frame Tanpa Bata	21.4717
Frame Bata Utuh	0.4135
Frame Bata Retak	0.8756

Tabel 4.21 Simpangan puncak variasi model

Model	UX (mm)		
	Sebelum Perbaikan	Sebelum Perbaikan	Perbaikan Plester
Variasi 1	0.5257	0.4139	0.412657
Variasi 2	0.5466	0.414	0.412297
Variasi 3	0.5041	0.4139	0.412636
Variasi 4	0.6922	0.4144	0.412636
Variasi 5	0.6541	0.4141	0.411893
Variasi 6	0.5753	0.414	0.4134
Variasi 7	0.4911	0.4137	0.4139
Variasi 8	0.8016	0.4146	0.410743
Variasi 9	0.8756	0.4148	0.4111
Variasi 10			0.4131
Variasi 11			0.4092

Namun demikian, nilai simpangan pada tabel di atas tidak akan dibandingkan satu sama lainnya untuk menganalisis efek perbaikan dinding bata terhadap kekakuan portal yang ditinjau. Hal ini dikarenakan masing-masing variasi model dikenai beban gempa sesuai dengan gaya geser dasarnya yang bergantung pada periode naturalnya. Simpangan struktur hanya bisa dibandingkan

jika struktur-struktur yang ingin ditinjau dikenai beban gempa yang sama. Oleh karena itu, dalam bagian ini, sekaligus merangkum hasil analisis kekakuan terhadap variasi model, akan dihitung angka kekakuan dari masing-masing portal berdasarkan rumus kekakuan sebagai karakteristik statik struktur

$$k = \frac{F}{U}$$

dimana dalam kasus ini, F adalah besarnya gaya geser dasar tiap model dan U adalah simpangan puncak akibat beban gempa nominal yang dikenai struktur. Di bawah ini adalah hasil angka kekakuan masing-masing model

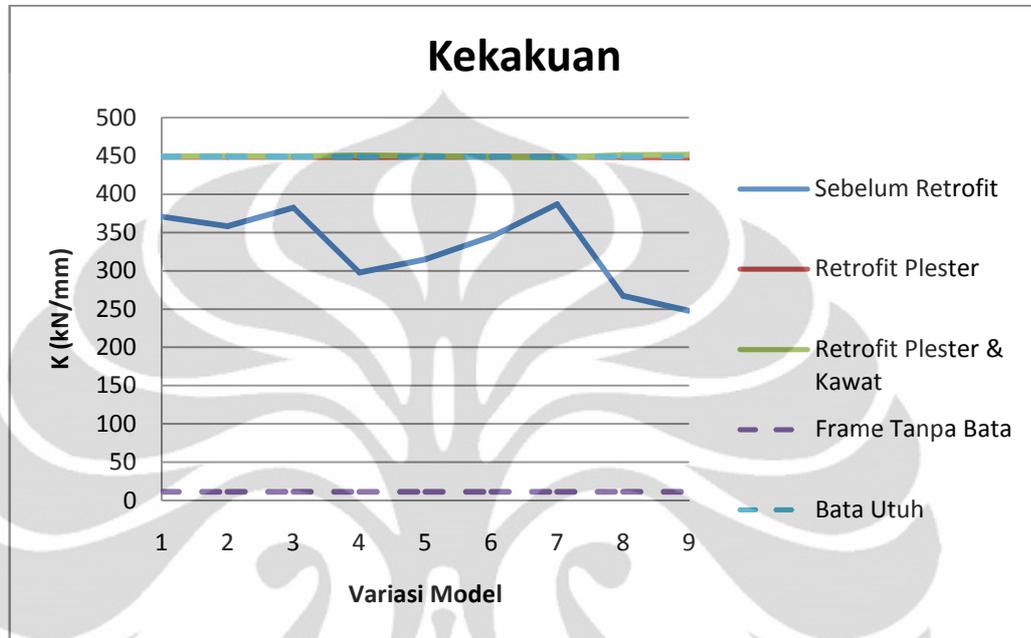
Tabel 4.22 kekakuan model acuan

Model	K
Frame Tanpa Bata	11.35545
Frame Bata Utuh	449.039
Frame Bata Retak	247.7034

Tabel 4.23 kekakuan variasi model

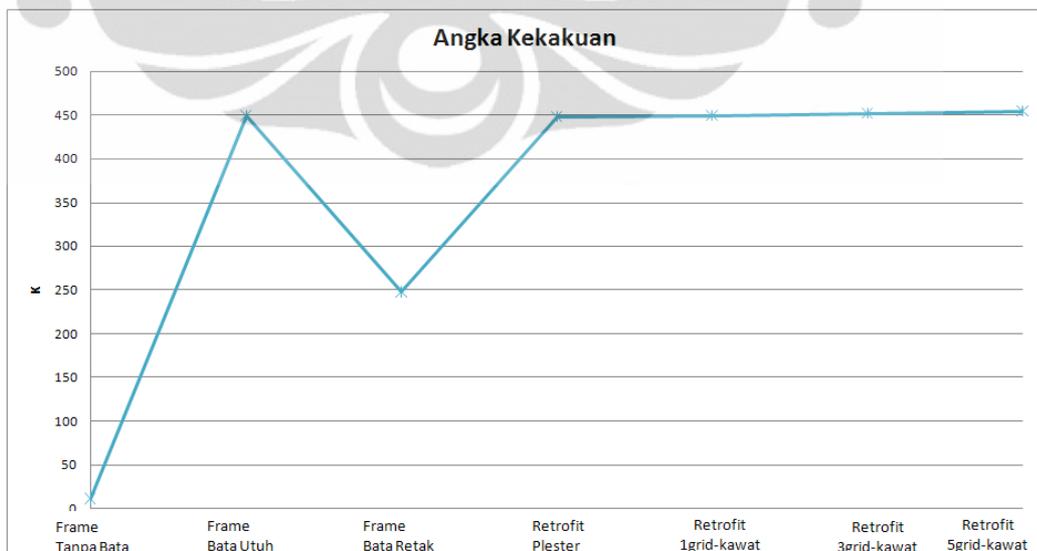
Model	K		
	Sebelum Perbaikan	Sebelum Perbaikan	Perbaikan Plester
Variasi 1	370.8048	448.6651	449.3867
Variasi 2	358.211	448.5762	449.9227
Variasi 3	382.4055	448.6651	449.3567
Variasi 4	297.5393	448.2032	450.6326
Variasi 5	314.8625	448.5244	449.8678
Variasi 6	344.3689	448.5709	448.9847
Variasi 7	387.0993	448.8113	447.5886
Variasi 8	267.2433	448.0594	451.036
Variasi 9	247.7034	447.8345	451.6036
Variasi 10			449.2631
Variasi 11			453.8238

Dari data di atas dapat dilihat perubahan angka kekakuan dari masing-masing variasi model, seperti halnya pada gaya geser dasar dan periode natural, tidak menunjukkan perbedaan besar. Hasil tersebut kembali menunjukkan bahwa letak retak pada panel dinding tidak berpengaruh pada karakteristik struktur.



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan angka kekakuan tiap variasi

Sedangkan pada kondisi panel dinding yang berbeda, ada perbedaan angka kekakuan yang cukup signifikan.



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan angka kekakuan antarkondisi panel

Hal ini membuktikan bahwa keterlibatan panel dinding dalam komponen struktural dapat menambah angka kekakuan yang sangat besar. Ketika kondisi panel dinding mengalami retak, terjadi pula penurunan angka kekakuan yang cukup berarti. Perbaikan dinding bata yang retak menggunakan plester secara efektif dapat mengembalikan angka kekakuan struktur seperti sedia kala. Penambahan material kawat anyam dalam metode perbaikan juga menunjukkan hasil positif dengan adanya penambahan angka kekakuan walaupun tidak begitu signifikan.

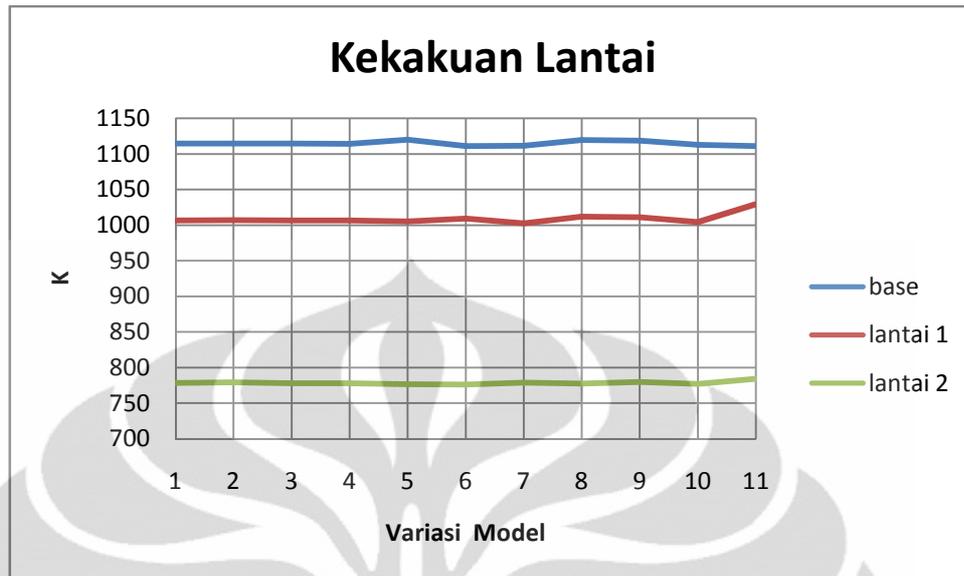
Berikut akan disajikan angka-angka kekakuan tiap lantai dari masing-masing variasi model untuk menganalisis efek letak retak secara langsung terhadap kekakuan.

Tabel 4.24 kekakuan tiap lantai model acuan

Model	K		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
Frame Tanpa Bata	27.63156	24.24503	21.88649
Frame Bata Utuh	1111.815	1004.095	776.4491
Frame Bata Retak	506.0516	619.2438	536.8905

Tabel 4.25 kekakuan tiap lantai variasi model

Model	K		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
Variasi 1	1114.241	1006.259	778.1026
Variasi 2	1114.541	1007.044	779.1007
Variasi 3	1114.227	1006.556	777.7142
Variasi 4	1114.148	1006.485	777.659
Variasi 5	1119.777	1004.918	776.5247
Variasi 6	1111.068	1009.264	775.9232
Variasi 7	1111.37	1002.19	778.8652
Variasi 8	1119.439	1011.829	777.5702
Variasi 9	1118.355	1010.709	779.7415
Variasi 10	1112.653	1004.304	777.0991
Variasi 11	1110.678	1029.082	784.0329



Gambar 4.25 Grafik perbandingan kekakuan tiap lantai variasi model

Secara menyeluruh, kekakuan lantai teratas memiliki angka terkecil. Hal ini dikarenakan lantai paling atas memiliki massa terbesar yang bergerak ketika struktur dikenai gaya gempa nominal statik ekuivalen. Sedangkan pada lantai dasar memiliki angka kekakuan paling besar karena partisipasi massanya kecil. Kemudian melihat pada angka kekakuan yang hampir seragam pada tiap lantai untuk semua variasi, dapat dikatakan bahwa letak retak relatif tidak mempengaruhi kekakuan lantai. Namun apabila dilakukan pengamatan lebih mikro, pada variasi retak yang diletakkan pada lantai, baik dasar, satu ataupun dua, ada peningkatan kekakuan pada lantai yang diperbaiki dengan plester dan kawat walaupun kenaikannya sangat kecil. Misal pada variasi kelima yang retaknya diletakkan pada seluruh lantai dasar, dapat dilihat terjadi peningkatan kekakuan lantai dasar sekitar 0,7% dari kondisi dinding bata utuh dan pada variasi keenam yang retaknya diletakkan pada seluruh lantai pertama, terjadi peningkatan kekakuan lantai pertama sebesar 0,5%.

4.2.4 Panel Dinding

Dalam analisis kekuatan, akan dilihat bagaimana perilaku panel dinding ketika struktur dikenai beban gempa nominal statik ekuivalen. Seperti telah dibahas sebelumnya, kehadiran dinding bata membantu portal dalam menanggung

gaya geser. Oleh karena itu, dinding bata menerima gaya geser yang cukup besar pada masing-masing panel dinding. Untuk mengetahui kinerja panel dinding pengisi bata setelah struktur dibebani gempa, dilakukan pengecekan terhadap tegangan-tegangan tarik maupun tekan ijin dari masing-masing elemen penyusun dinding bata pada daerah sekitar retak, yang dalam bahasan ini adalah panel dinding yang telah diperbaiki menggunakan plester dan kawat anyam.

Tabel 4.26 Tegangan Utama pada elemen plester

Model	max (MPa)	Cek	Min (MPa)	Cek
Variasi 1	0.801	not oke	-1.22	oke
Variasi 2	0.242	oke	-1.203	oke
Variasi 3	0.191	oke	-1.653	oke
Variasi 4	0.8	not oke	-1.219	oke
Variasi 5	0.797	not oke	-1.646	oke
Variasi 6	0.664	not oke	-1.213	oke
Variasi 7	0.233	oke	-1.225	oke
Variasi 8	0.799	not oke	-1.645	oke
Variasi 9	0.799	not oke	-1.648	oke
Variasi 10	0.802	not oke	-1.664	oke
Variasi 11	0.799	not oke	-1.644	oke

Tabel 4.27 Tegangan maksimum pada elemen Dinding Bata

Model	max (MPa)	cek	Min (MPa)	cek
Variasi 1	0.122	ok	-0.09	oke
Variasi 2	0.132	ok	-0.091	oke
Variasi 3	0.111	ok	-0.121	oke
Variasi 4	0.132	ok	-0.091	oke
Variasi 5	0.131	ok	-0.121	oke
Variasi 6	0.104	ok	-0.09	oke
Variasi 7	0.059	ok	-0.071	oke
Variasi 8	0.131	ok	-0.121	oke
Variasi 9	0.132	ok	-0.121	oke
Variasi 10	0.132	ok	-0.123	oke
Variasi 11	0.131	ok	-0.121	oke

Dari data tersaji di atas, dapat dilihat bahwa untuk kekuatan tekan, tidak ditemukan kegagalan tekan baik pada elemen dinding bata maupun elemen

plester. Hal ini menunjukkan bahwa beban gempa nominal statik ekuivalen yang dikenai pada struktur tidak menyebabkan kegagalan tekan pada panel dinding. Namun, elemen-elemen plester dominan mengalami kegagalan tarik pada masing-masing model variasi letak retak. Hal ini dikarenakan tegangan tarik yang terjadi di dalamnya melampaui tegangan tarik ijin plester. Hanya variasi model 2,3 dan 7 yang tidak mengalami kegagalan tarik pada plester. Sedangkan pada elemen dinding bata, tidak ditemukan kegagalan baik tarik maupun tekan. Dengan demikian dapat dikatakan metode perbaikan yang digunakan dalam penelitian ini dapat menjaga daerah dinding bata di sekitar letak retaknya tidak mengalami retak akibat pembebanan gempa nominal yang bersesuaian.

Adapun fungsi kawat dalam metode perbaikan ini adalah untuk mengambil-lih peranan plester yang sebagian besar mengalami kegagalan tarik kembali setelah pembebanan gempa. Dapat dilihat pada tabel 4.28 bahwa tidak ada kawat yang mengalami kegagalan pada semua model variasi letak retak. Disinilah kemudian kawat anyam berperan menanggung tegangan tarik yang diterima panel dinding sehingga panel dinding tidak serta merta kehilangan kemampuan tarik ketika plester sudah mengalami gagal tarik.

Tabel 4.28 Tegangan maksimum pada kawat anyam

model	P (N)	Cek
variasi 1	219.58	ok
variasi 2	190.95	ok
variasi 3	155.72	ok
variasi 4	219.11	ok
variasi 5	218.6	ok
variasi 6	153.23	ok
variasi 7	77.33	ok
variasi 8	218.51	ok
variasi 9	218.71	ok
variasi 10	218.69	ok
variasi 11	218.79	ok

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis penelitian yang telah dipaparkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Penambahan kawat anyam sebagai material perbaikan dinding bata yang retak dapat meningkatkan kinerja dinding dan efeknya lebih besar bila dibandingkan dengan perbaikan yang hanya menggunakan plester.
- Penambahan kawat anyam mengembalikan kapasitas tekan dinding bata seperti pada kondisi sebelum retak hingga 100,16%, lebih besar dibandingkan perbaikan menggunakan plester yang hanya mencapai kapasitas 99,92% dinding utuh.
- Pada kapasitas tarik, penambahan kawat mengembalikan hingga 100,38% dari kondisi dinding utuh sedangkan plester hanya mengembalikan 99,77%.
- Untuk elemen plester, perbaikan dengan kawat anyam menghasilkan kapasitas tarik 3,34% lebih besar dari perbaikan hanya dengan plester. Namun, kapasitas tekan plester berkurang sebesar 2,43% bila dibandingkan dengan perbaikan yg hanya menggunakan plester.
- Penambahan kuantitas kawat dalam perbaikan dinding bata, dalam hal ini lebar, dapat meningkatkan kapasitas tariknya.
- Pelepasan elemen link pada ujung-ujung diagonal tarik mengakibatkan terjadinya pergeseran tegangan maksimum dan minimum ke arah diagonal tekan serta perubahan distribusi tegangan pada sisi-sisi panel dinding yang berinteraksi dengan portal.
- Penambahan panel dinding dalam pemodelan struktur secara signifikan meningkatkan kekakuan struktur sehingga mengubah karakteristik dinamik dari struktur.
- Penambahan panel dinding mereduksi besarnya gaya geser dasar akibat beban lateral statik ekuivalen yang diterima portal.
- Letak retak tidak terlalu berpengaruh pada perubahan kekakuan lantai maupun struktur.

- Penambahan kawat anyam dalam perbaikan dinding bata pada struktur ruko merubah kekakuan struktur namun tidak dalam angka yang signifikan.

5.2 Saran

- Melakukan analisis non-linear sehingga dapat melihat proses terjadinya sendi plastis pada panel dinding maupun portal.
- Melakukan penelitian mengenai bentuk kegagalan dan pola retak pada dinding bata akibat gaya lateral agar dapat memodelkan kegagalan retak dengan lebih realistis.
- Pengkajian interaksi antara portal dengan dinding perlu dilakukan untuk memastikan portal tidak mengalami kegagalan lebih dahulu daripada dinding.
- Memodelkan dinding dengan elemen *layered-shell* agar dapat menganalisis gesekan pada *interface* kawat dan dinding bata.

DAFTAR REFENSI

- Arief, Y. (2010). *Efek Dinding Pengisi Bata pada Respon Gempa Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Tesis Magister UI.
- Asteris, P. (2008). Finit Element Micro-Modeling of Infilled Frames. *Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames* .
- Basoenondo, E. A. (2008). Lateral Load Response of Cikarang Brick wall Structures. Dalam E. A. Basoenondo, *Lateral Load Response of Cikarang Brick wall Structures* (hal. 68). Queensland.
- Boen, T. a. (2010). Retrofitteng Simple Buildings Damage by Earthquakes. Dalam T. a. Boen, *Retrofitteng Simple Buildings Damage by Earthquakes* (hal. 34-37). Jakarta: UNCRD.
- Boen, T. (2010). *Retrofitting simple building damage by earthquake*. Jakarta: UNCRD.
- Chopra, A. K. (1995). Dynamics of Structues. Dalam A. K. Chopra, *Dynamics of Structues* (hal. 365-383). New Jerse: Prentice Hall.
- Collins, M. P. (1991). restressed Concrete Structures. Dalam M. P. Collins, *restressed Concrete Structures*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dorji, J. (2009). *Seismic Performance of Brick Infilled RC Frame Structures in Low and Medium Rise Buildings in Bhutan*. Amsterdam: 13th International Brick and Block Masonry Conference.
- El Gawadi, M. L. (2004, 4-7 July). A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM. 13th International Brick and Block Masonry Conference. *A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM. 13th International Brick and Block Masonry Conference* , 2-4.
- Hibbeler, R. (2008). Mechanics of Material 8th Edition. Dalam R. Hibbeler, *Mechanics of Material 8th Edition* (hal. 439-478). New York: Pearson Prentice Hall.
- Hidalgo, P. A. & Luders, C. (1984). Earthquake-Resistant Design of Reinforced Masonry Buildings, Eighth World Conference on Earthquake Engineering Volume VI . Dalam B. Budiono, & Herwani, *Model Elemen Hingga Non Linier Untuk Karakterisasi Panel Dinding Bata Pengisi Terhadap Gaya Lateral Siklik(2003)* (hal. 131). Bandung: Proceeding ITB Sains & Teknik volume 35, No.2.

Katili, I. (2008). Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal. Dalam I. Katili, *Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal* (hal. 1-2). Bandung : Rajawali Pers.

Lin, G. Q. (2003). The Finite Element Methode: A Practical Course. *The Finite Element Methode: A Practical Course* .

MacGregor, J. G. (2006). Reinforced Concrete Mechanics and Design. Dalam J. G. MacGregor, *Reinforced Concrete Mechanics and Design* (hal. 60-63). Singapore: Pearson Prentice Hall.

Nasional, B. S. (1991). *Bata Merah Pejal* . Jakarta: Ketua Panitia Teknik Bangunan dan Konstruksi .

Nasional, B. S. (2002). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Dalam B. S. Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung* (hal. 19-29). Jakarta: Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan .

Paulay, T. P. (1990). Masonry Structures. Dalam T. P. Paulay, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings* (hal. 584-595). San Diego USA: A Wiley Interscience Publication.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Faktor C sesuai SNI 03-1736-2002

C Model Acuan

Model	T	C
Frame Tanpa Bata	0.726572	0.75
Frame Bata Utuh	0.120511	0.57115
Frame Bata Retak	0.163181	0.667157

C Variasi model

Model	Sebelum Perbaikan		Perbaikan dengan Plester		Perbaikan dengan Plester & Kawat	
	T	C	T	C	T	C
Variasi 1	0.133163	0.599617	0.120545	0.571226	0.120521	0.571172
Variasi 2	0.134347	0.602281	0.120556	0.571251	0.120475	0.571069
Variasi 3	0.130208	0.592968	0.120545	0.571226	0.120504	0.571134
Variasi 4	0.148235	0.633529	0.12059	0.571328	0.120486	0.571094
Variasi 5	0.148228	0.633513	0.120588	0.571323	0.120314	0.570707
Variasi 6	0.137515	0.609409	0.120553	0.571244	0.12079	0.571778
Variasi 7	0.126563	0.584767	0.120505	0.571136	0.120707	0.571591
Variasi 8	0.159535	0.658954	0.120631	0.57142	0.120282	0.570635
Variasi 9	0.163181	0.667157	0.120626	0.571409	0.120469	0.571055
Variasi 10					0.120392	0.570882
Variasi 11					0.120549	0.571235

Lampiran 2: beban gempa nominal setiap lantai sesuai SNI 03-1736-2002

Beban gempa nominal model acuan

Model	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)
Frame Tanpa Bata	47.09672	97.49081	99.23333
Frame Bata Utuh	35.8657	74.24247	75.56946
Framen Bata Retak	41.89455	86.72227	88.27232

Beban gempa nominal variasi model

Model	F1 (kN)	F2 (kN)	F3 (kN)
Variasi 1	35.86712	74.24539	75.57244
Variasi 2	35.86062	74.23194	75.55874
Variasi 3	35.86472	74.24042	75.56737
Variasi 4	35.86217	74.23516	75.56202
Variasi 5	35.83787	74.18485	75.51081
Variasi 6	35.90512	74.32407	75.65252
Variasi 7	35.8934	74.29979	75.62781
Variasi 8	35.83335	74.17549	75.50128
Variasi 9	35.85977	74.23019	75.55695
Variasi 10	35.84889	74.20767	75.53403
Variasi 11	35.87107	74.25358	75.58077

Lampiran 3: Simpangan Tiap Lantai Masing-masing Variasi Model

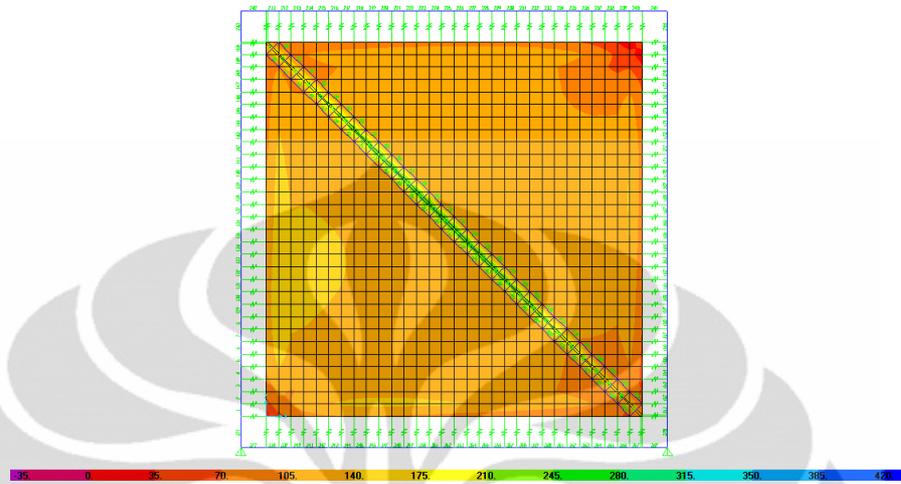
Simpangan Tiap Lantai Model Acuan

Model	UX3	UX2	UX1
Frame Tanpa Bata	21.472	16.938	8.824
Frame Bata Utuh	0.413532	0.316205	0.167004
Frame Bata Retak	0.875599	0.711185	0.428591

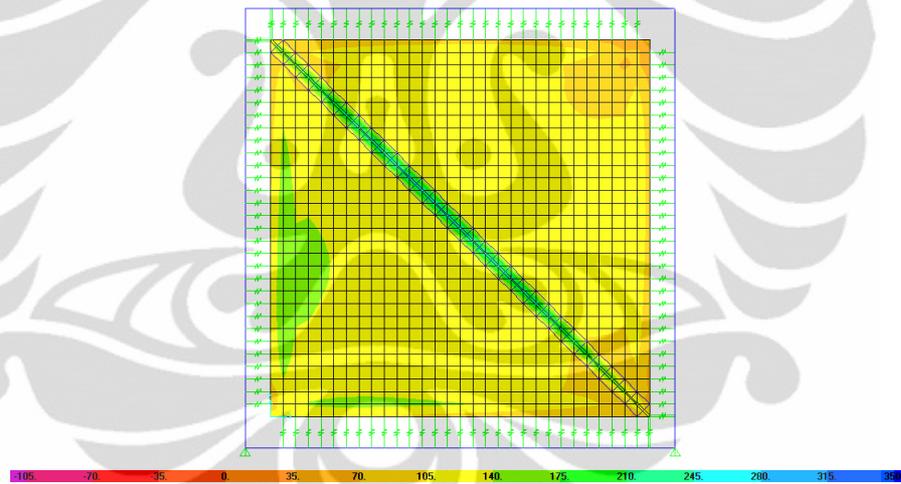
Simpangan Tiap Lantai Masing-masing Variasi

Model	Sebelum Retrofit			Setelah Retrofit plester			Retrofit plester + kawat		
	UX3	UX2	UX1	UX3	UX2	UX1	UX3	UX2	UX1
Variasi 1	0.5257	5.6315	0.00159	0.4139	5.9557	0.00154	0.412657	0.315533	0.166647
Variasi 2	0.5466	5.0197	0.00182	0.414	5.9537	0.00154	0.412297	0.315315	0.166572
Variasi 3	0.5041	2.6562	0.00105	0.4139	5.9491	0.00154	0.412636	0.31547	0.166638
Variasi 4	0.6922	4.7775	0.00179	0.4144	5.9529	0.00154	0.412636	0.31547	0.166638
Variasi 5	0.6541	2.5398	0.00099	0.4141	5.9483	0.00154	0.411893	0.314651	0.165688
Variasi 6	0.5753	3.6382	0.00129	0.414	5.953	0.00154	0.4134	0.3159	0.1673
Variasi 7	0.4911	5.2533	0.00257	0.4137	5.9572	0.00154	0.4139	0.3168	0.1672
Variasi 8	0.8016	1.9508	0.00088	0.4146	5.9447	0.00154	0.410743	0.313644	0.165717
Variasi 9	0.8756	1.9677	0.00129	0.4148	5.9455	0.00154	0.4111	0.3142	0.166
Variasi 10	-0.0313	0.002	-0.00129				0.4131	0.3159	0.1668
Variasi 11	-0.0313	0.002	-0.00129				0.4092	0.3128	0.1672

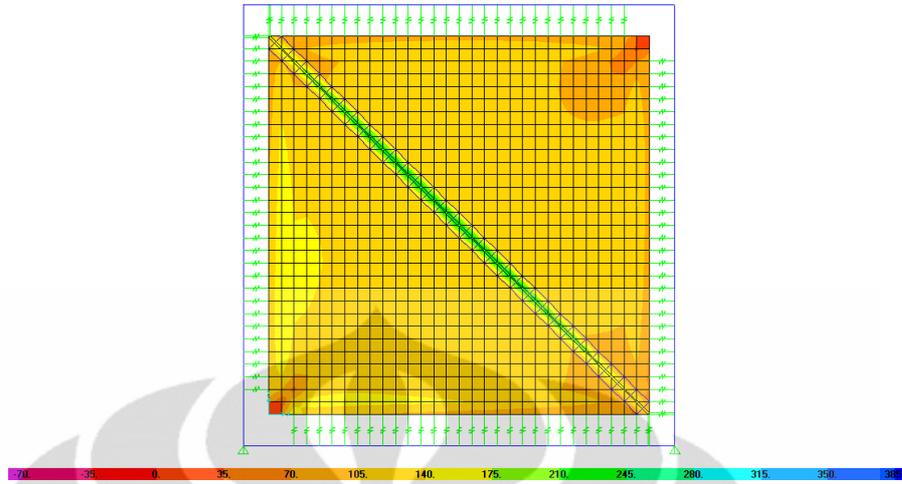
Lampiran 4: Distribusi Tegangan Maksimum Model Satu Panel Dinding



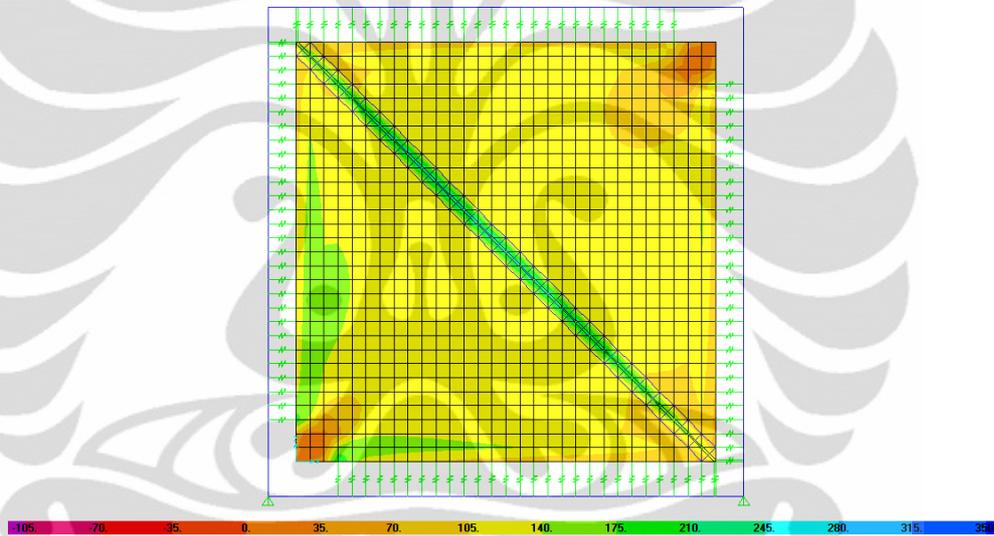
Variasi 1- unlink 0



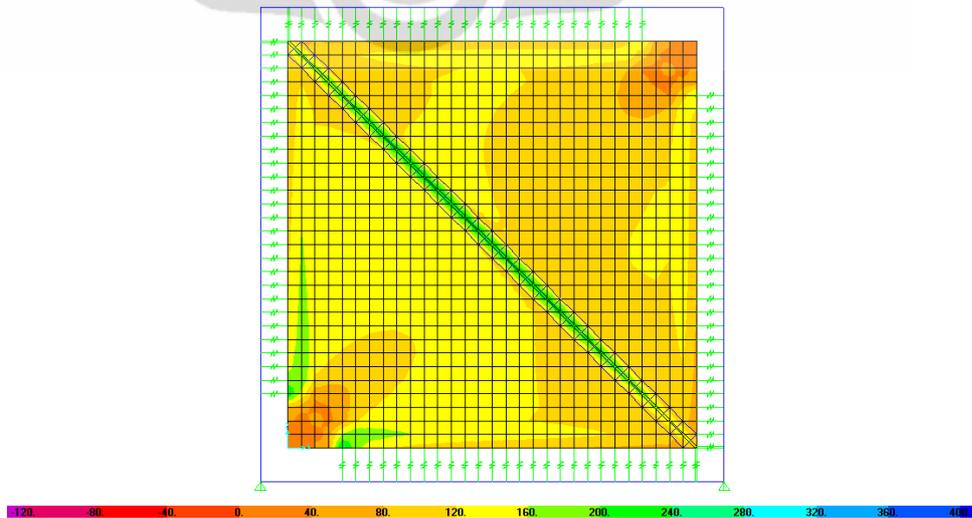
Variasi 1- unlink 1



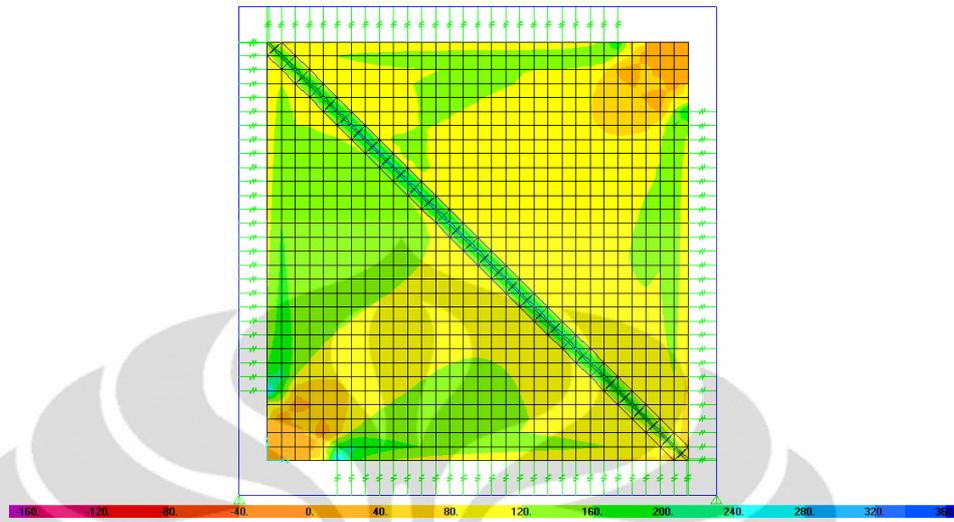
Variasi 1- unlink 2



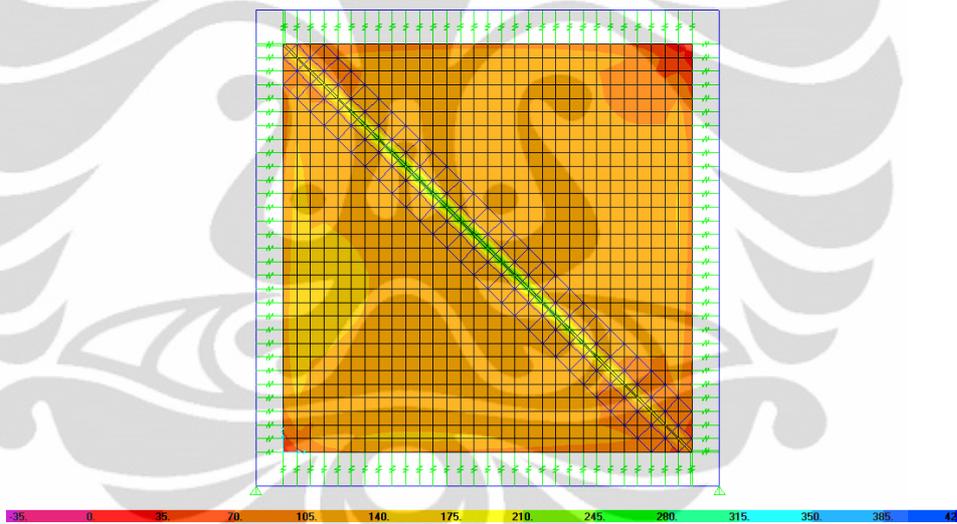
Variasi 1- unlink 3



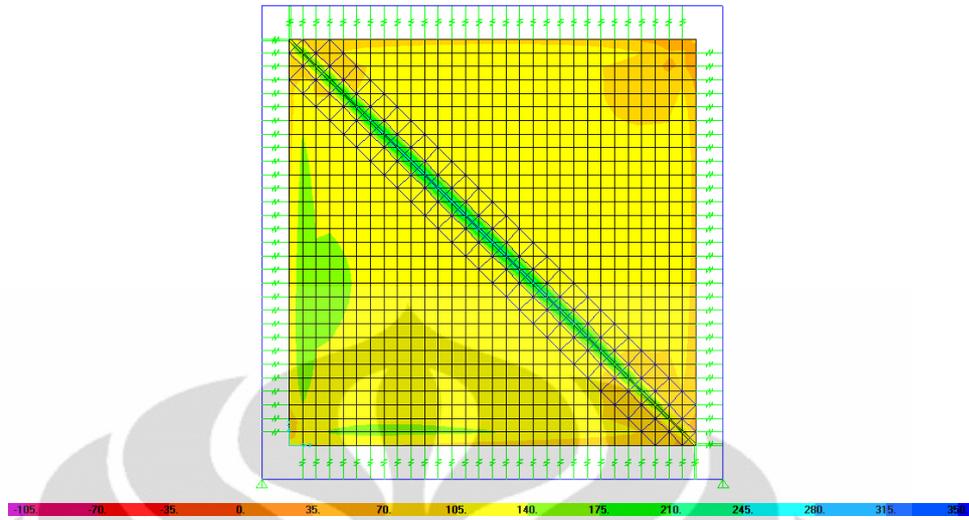
Variasi 1- unlink 4



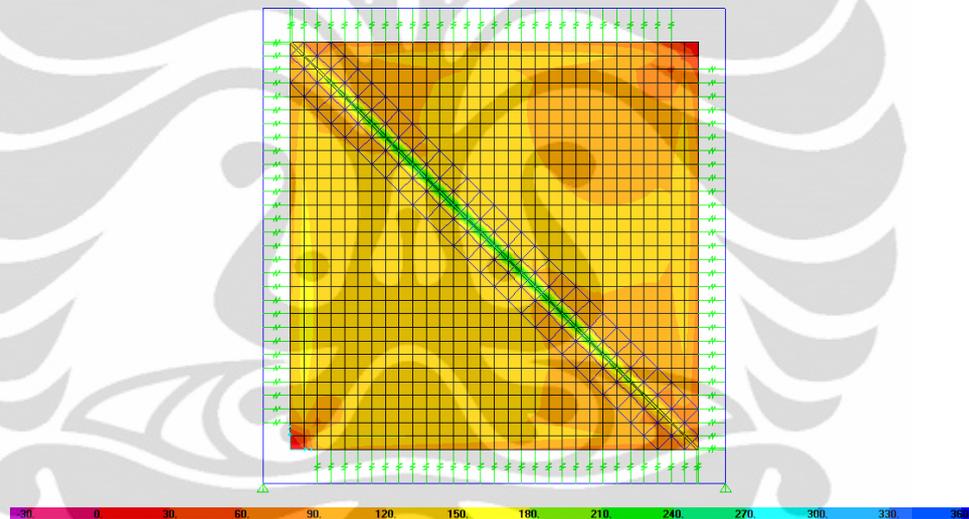
Variasi 1- unlink 5



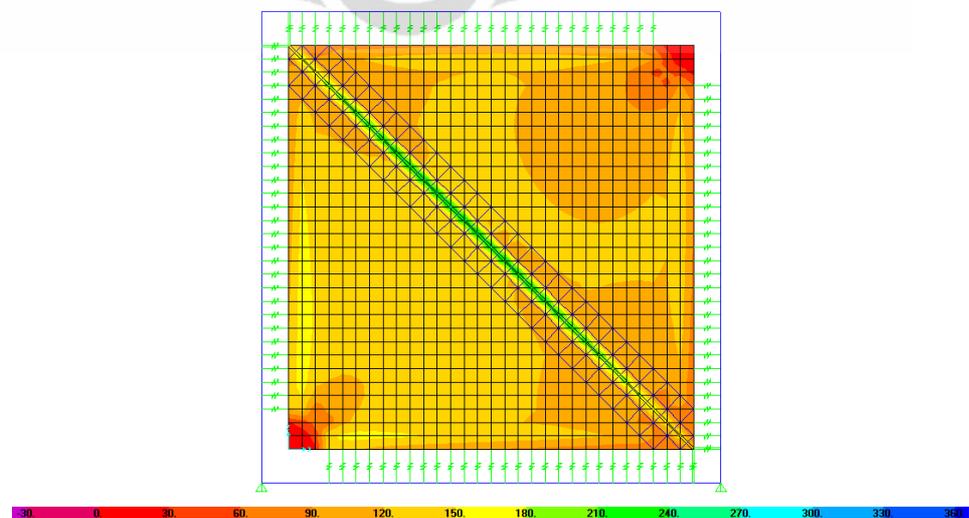
Variasi 2- unlink 0



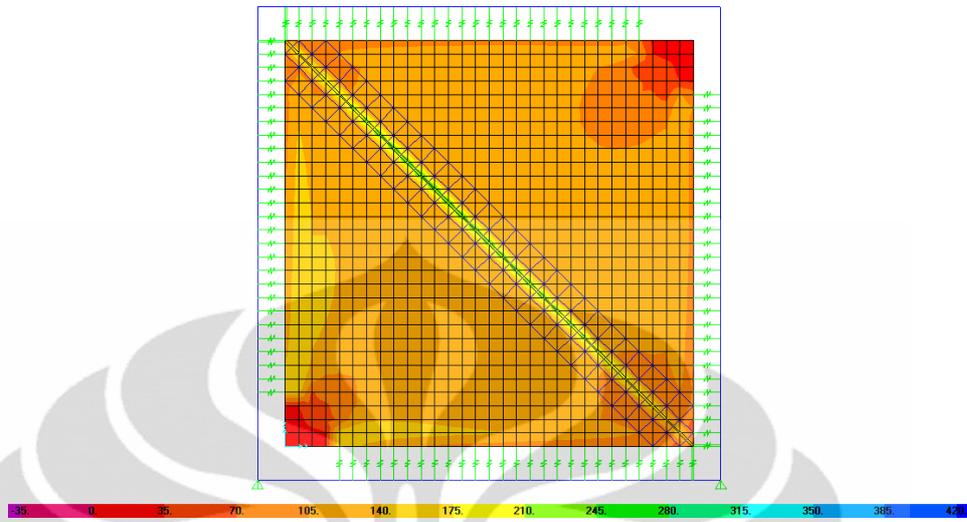
Variasi 2- unlink 1



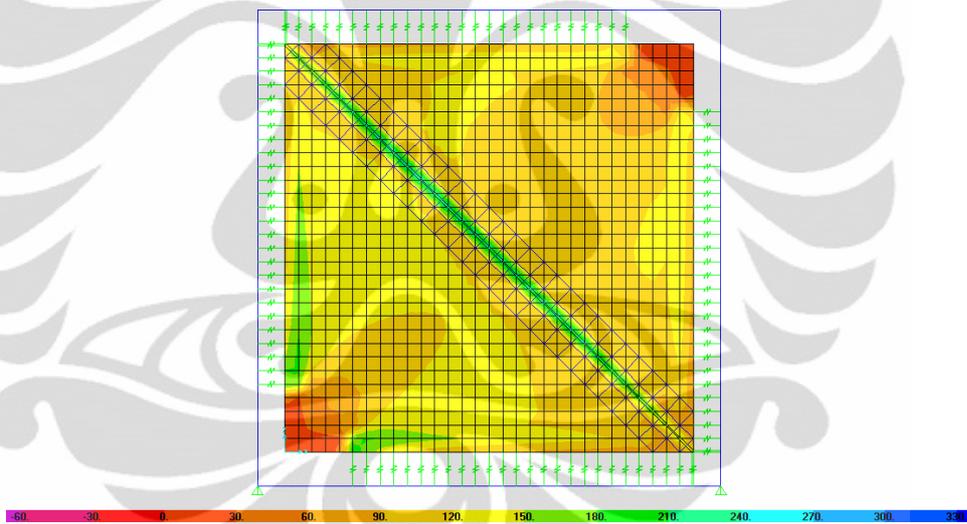
Variasi 2- unlink 2



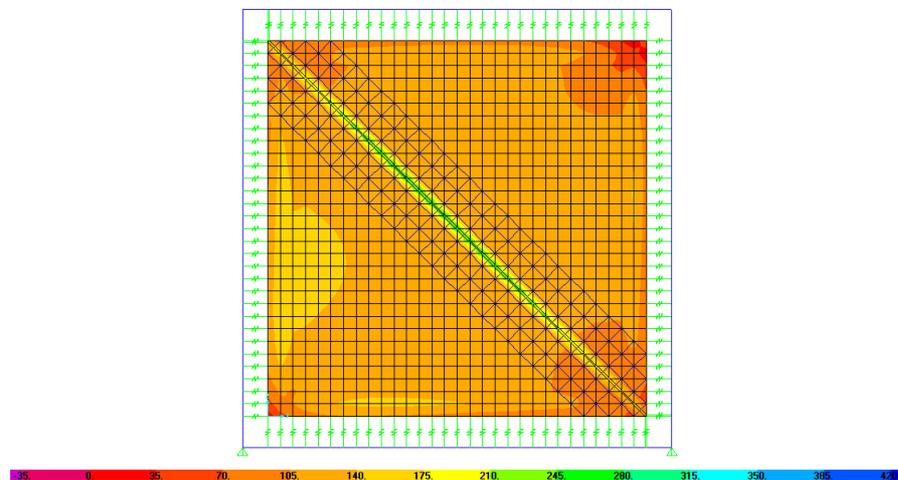
Variasi 2- unlink 3



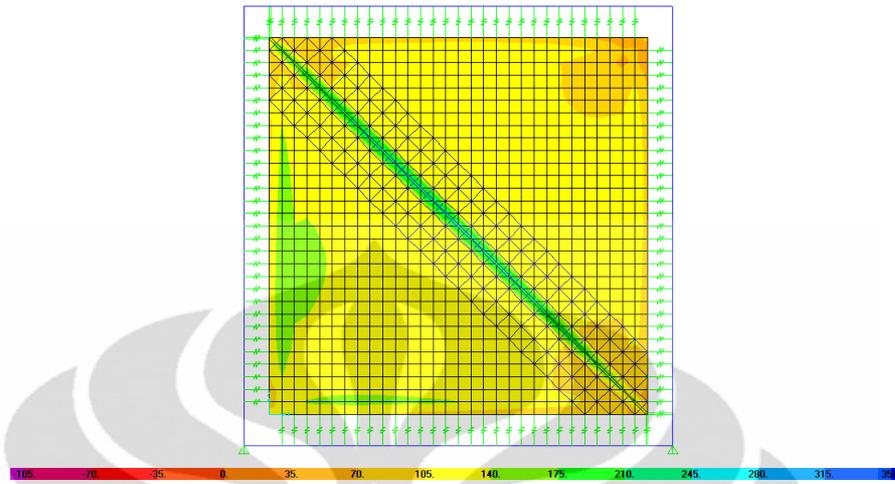
Variasi 2- unlink 4



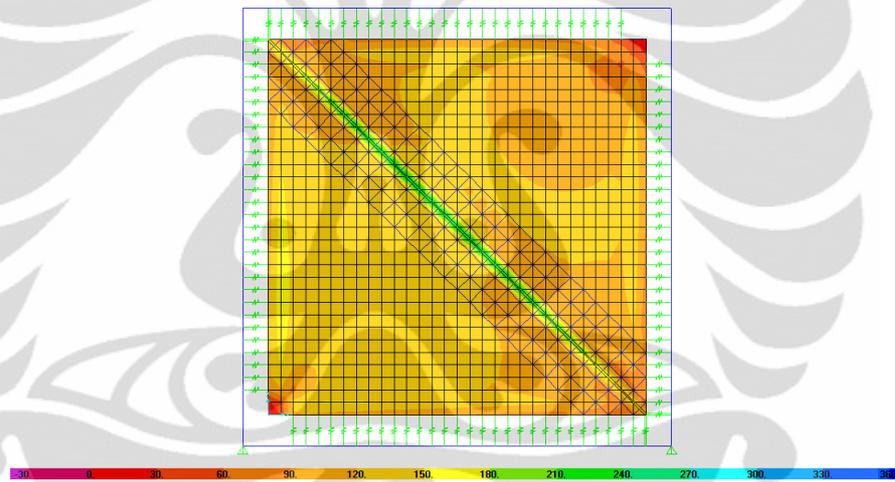
Variasi 2- unlink 5



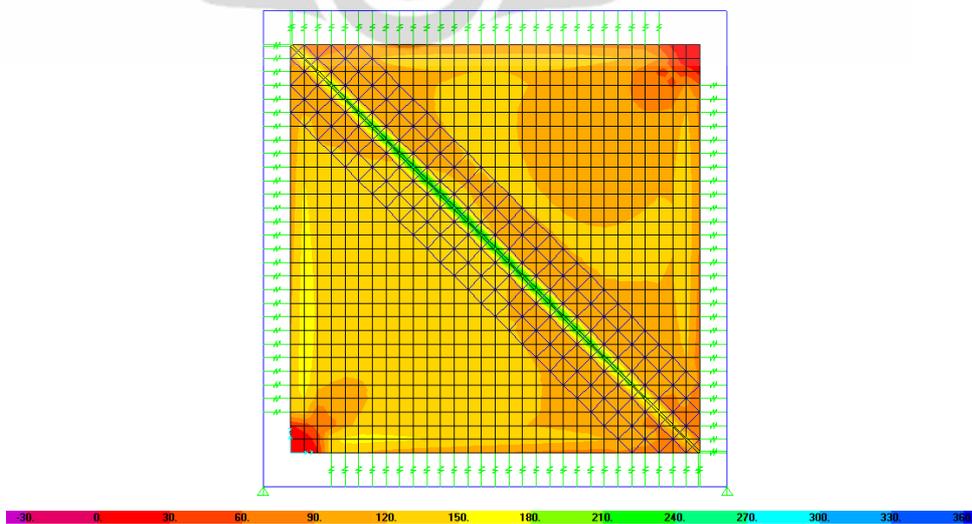
Variasi 3- unlink 0



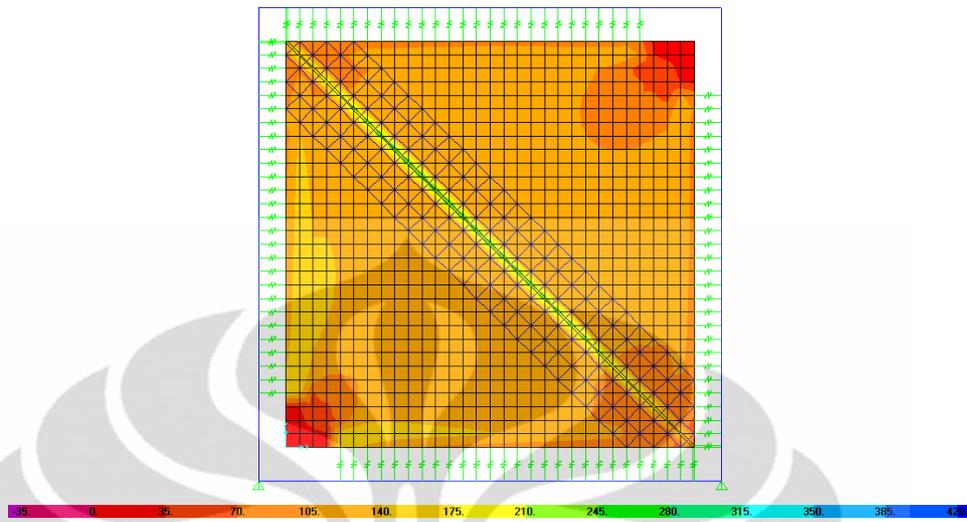
Variasi 3- unlink 1



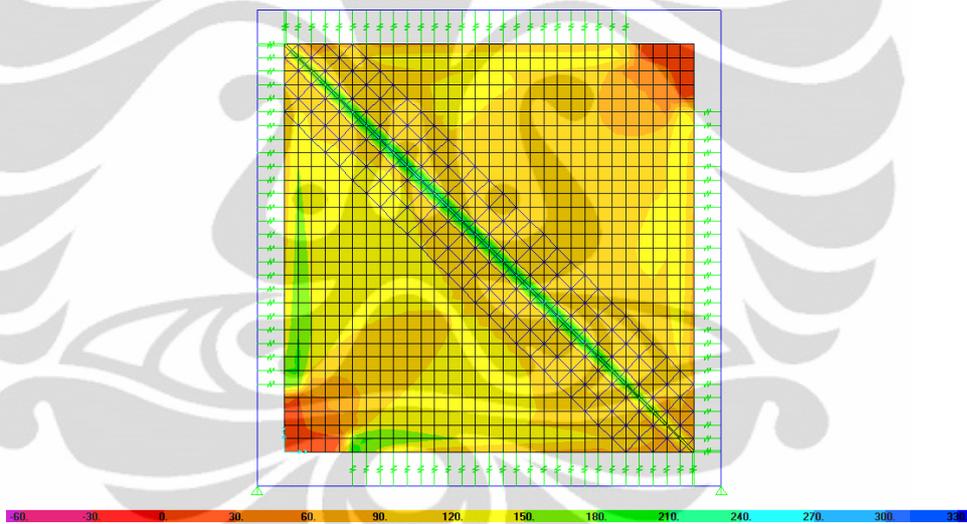
Variasi 3- unlink 2



Variasi 3- unlink 3

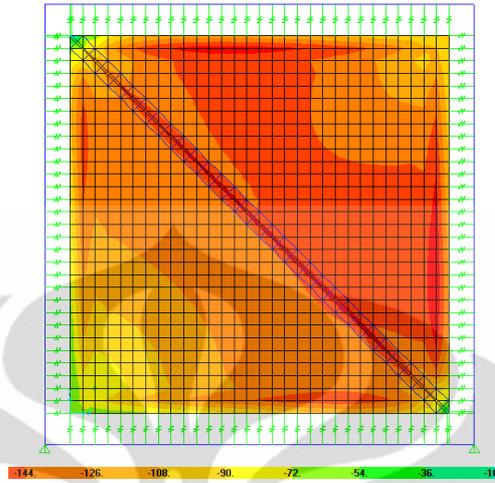


Variasi 3- unlink 4

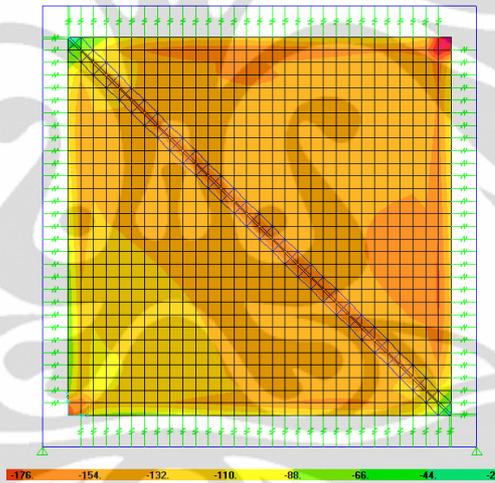


Variasi 3- unlink 5

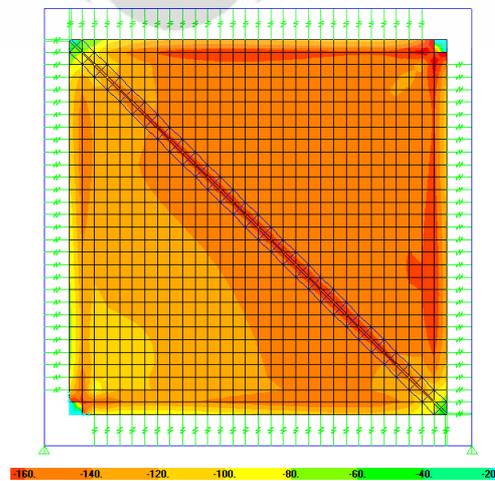
Lampiran 5: Distribusi Tegangan Minimum Model Satu Panel Dinding



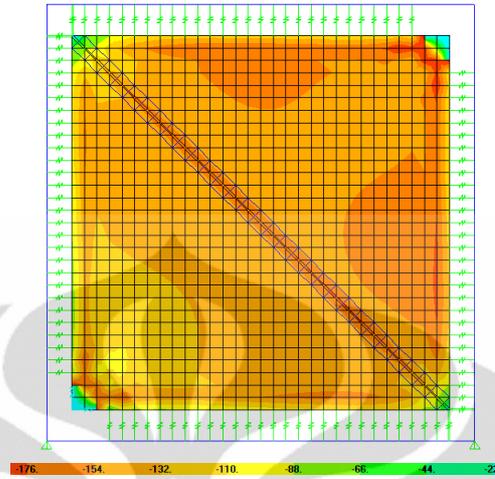
Variasi 1- unlinik 0



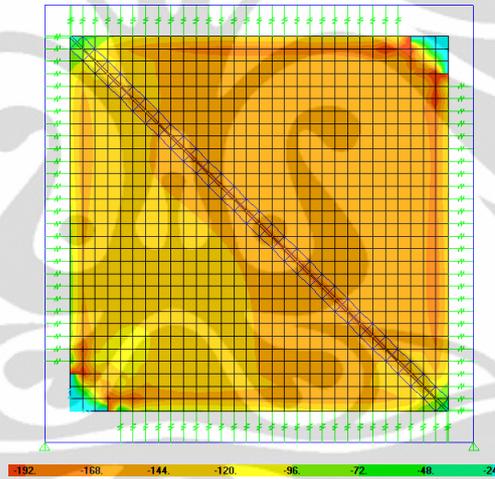
Variasi 1- unlinik 1



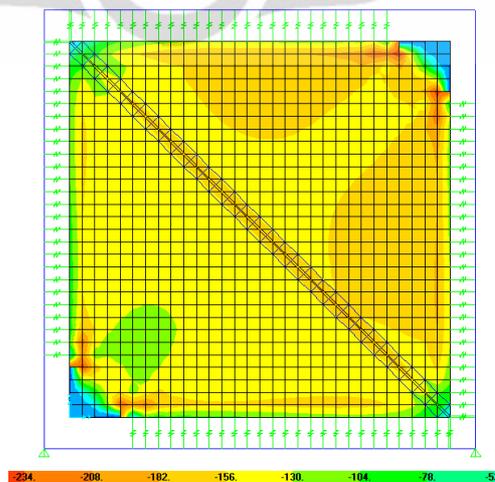
Variasi 1- unlink 2



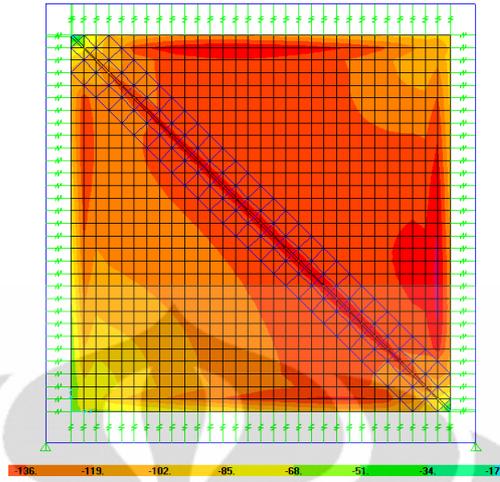
Variasi 1- unlink 3



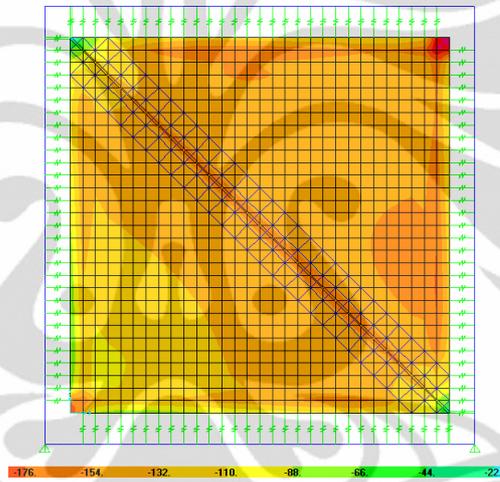
Variasi 1- unlink 4



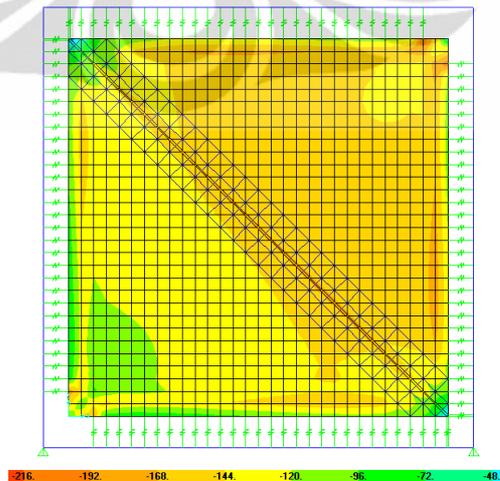
Variasi 1- unlink 5



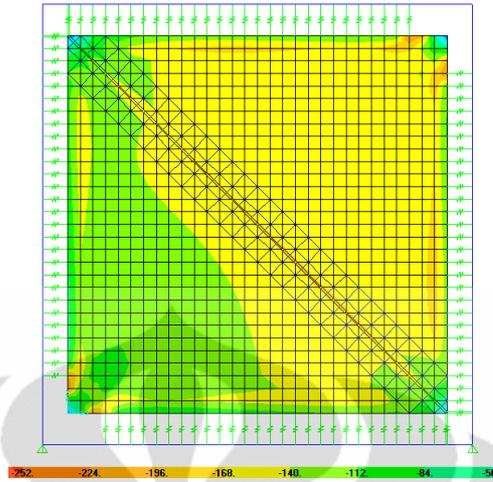
Variasi 2- unlink 0



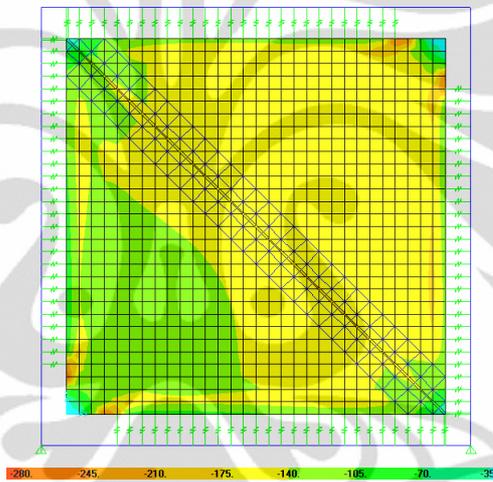
Variasi 2- unlink 1



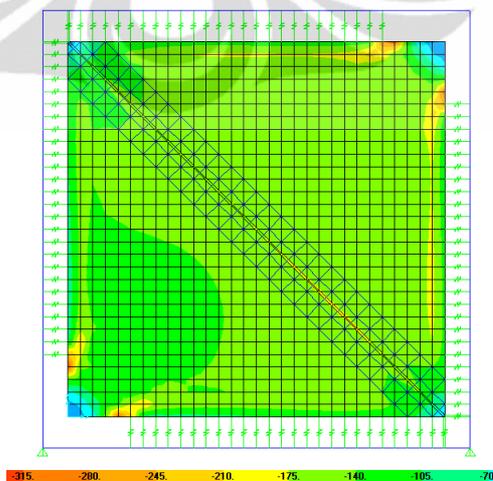
Variasi 2- unlink 2



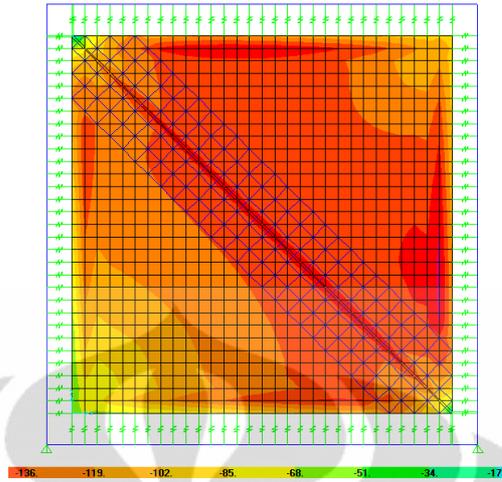
Variasi 2- unlink 3



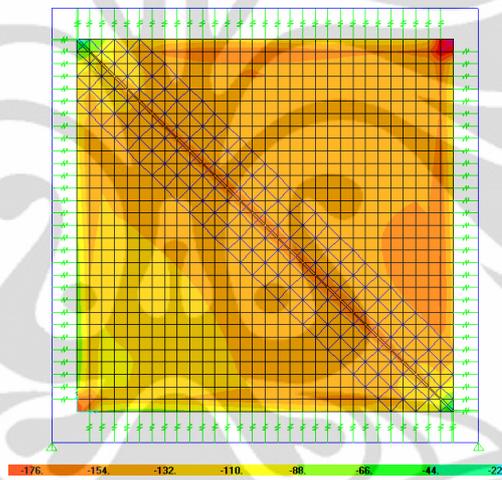
Variasi 2- unlink 4



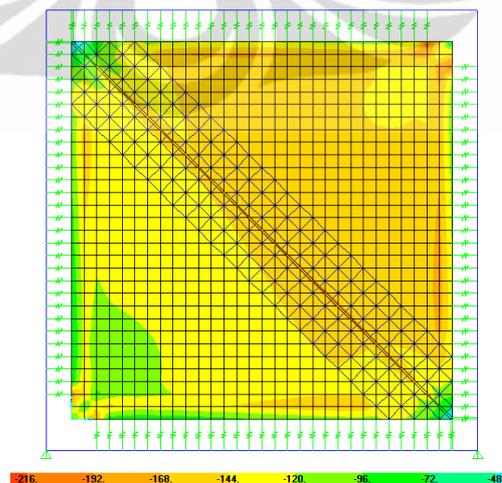
Variasi 2- unlink 5



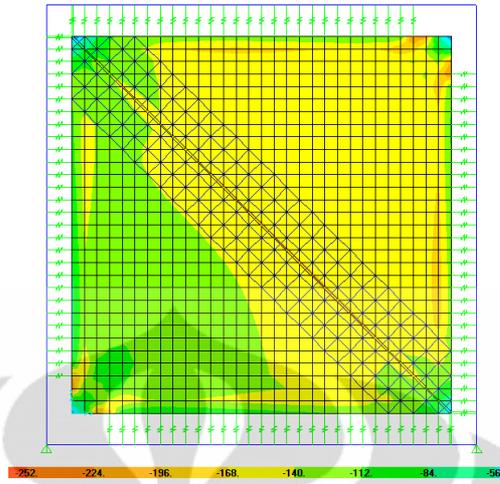
Variasi 3- unlink 0



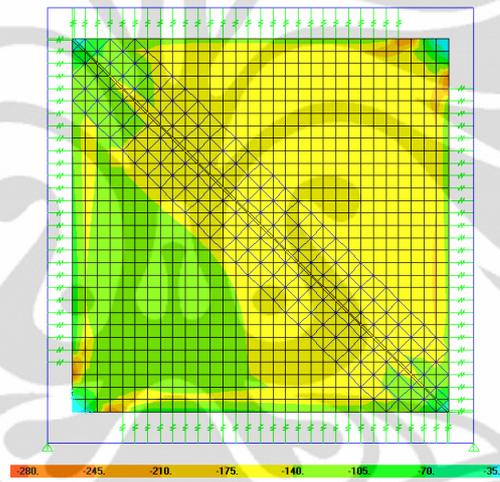
Variasi 3- unlink 1



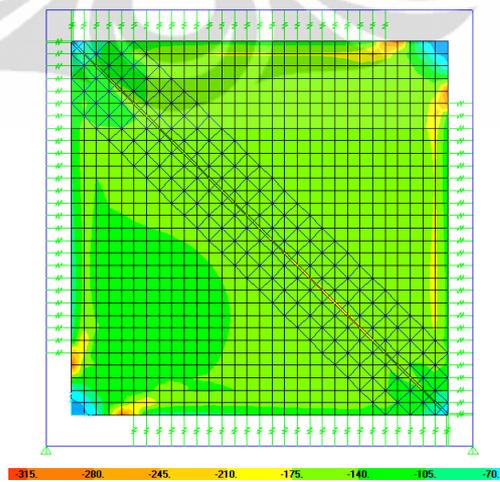
Variasi 3- unlink 2



Variasi 3- unlink 3

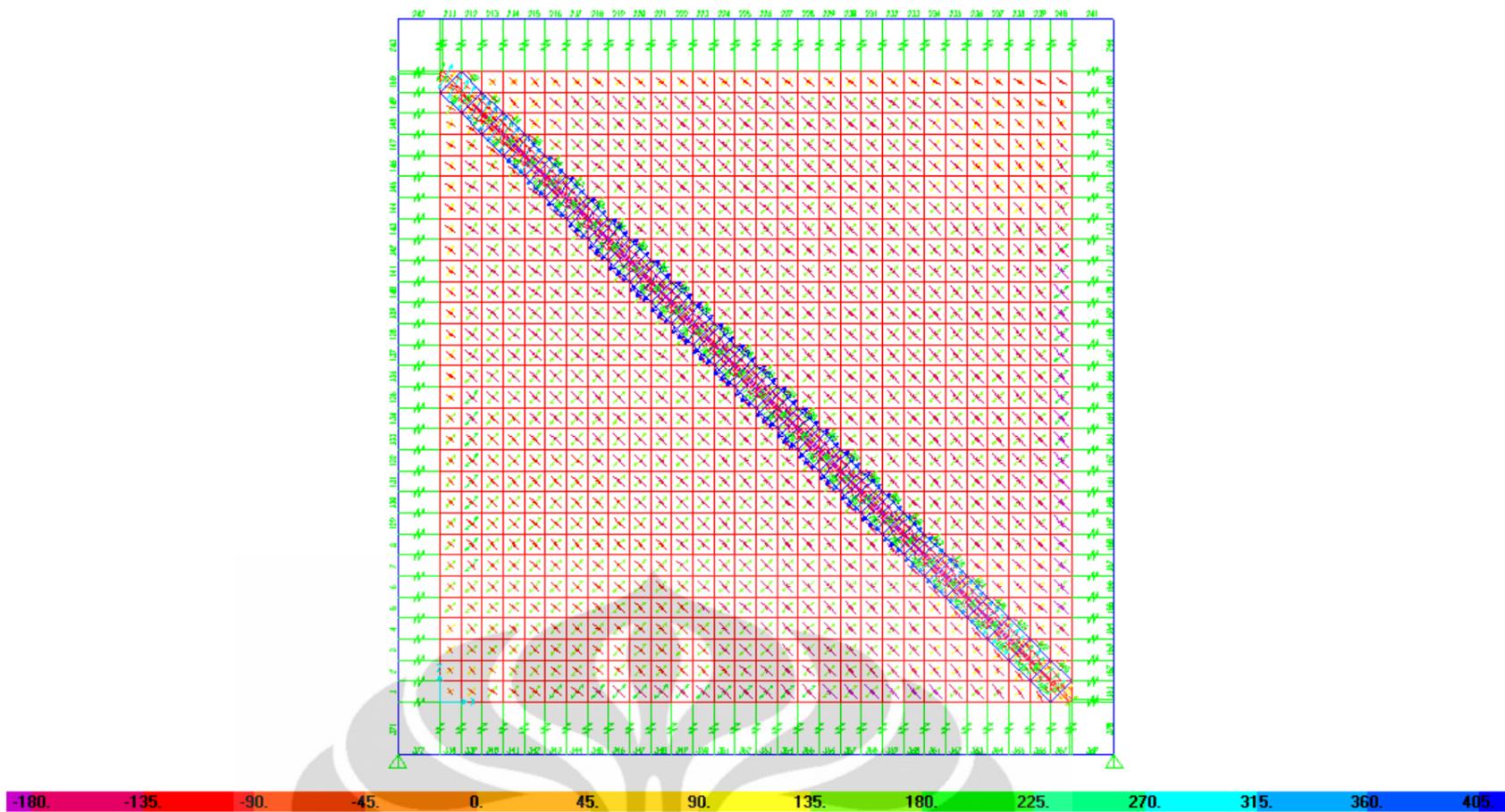


Variasi 3- unlink 4

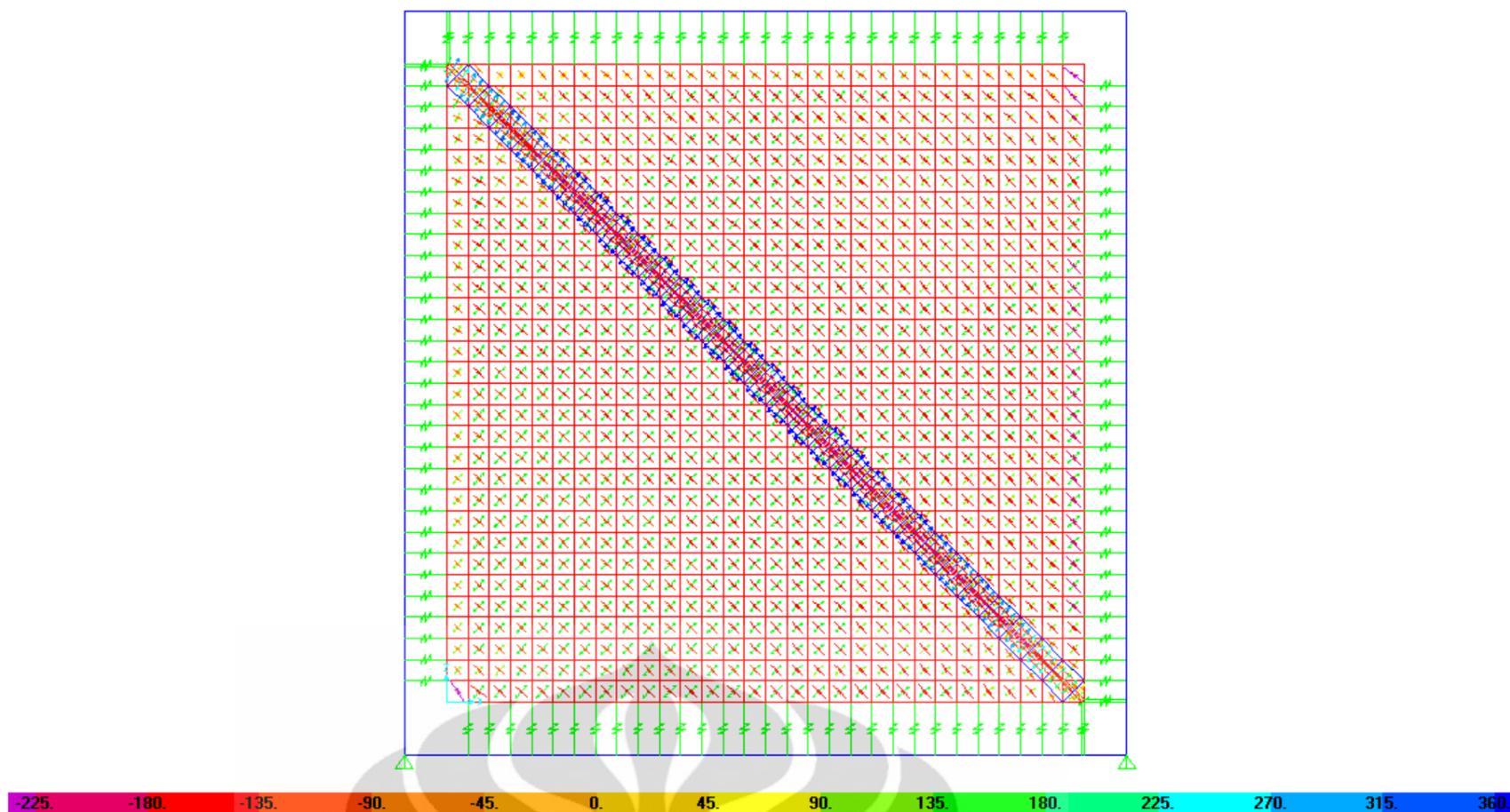


Variasi 3- unlink 5

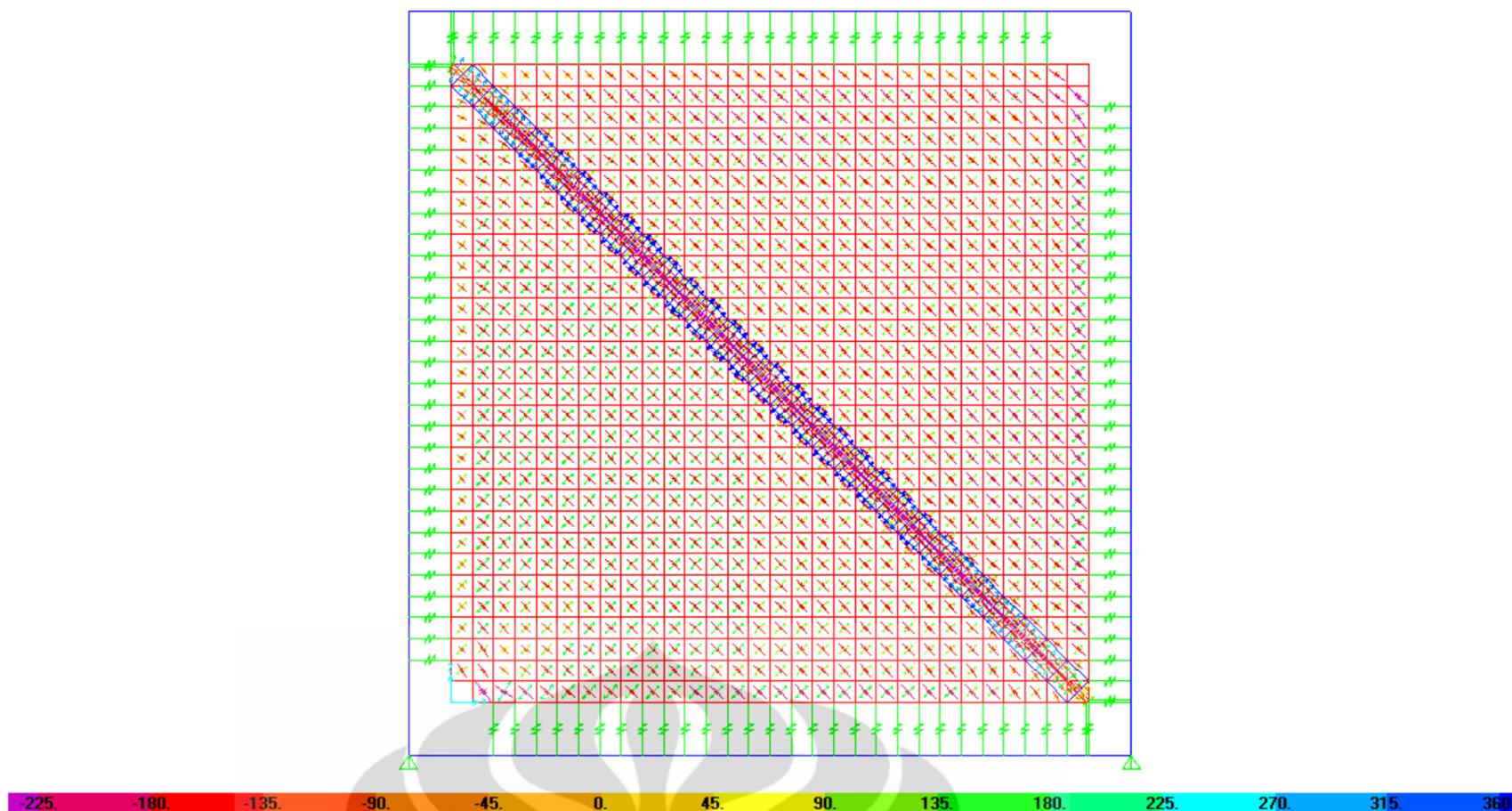
Lampiran 6: Arah Vektor Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding



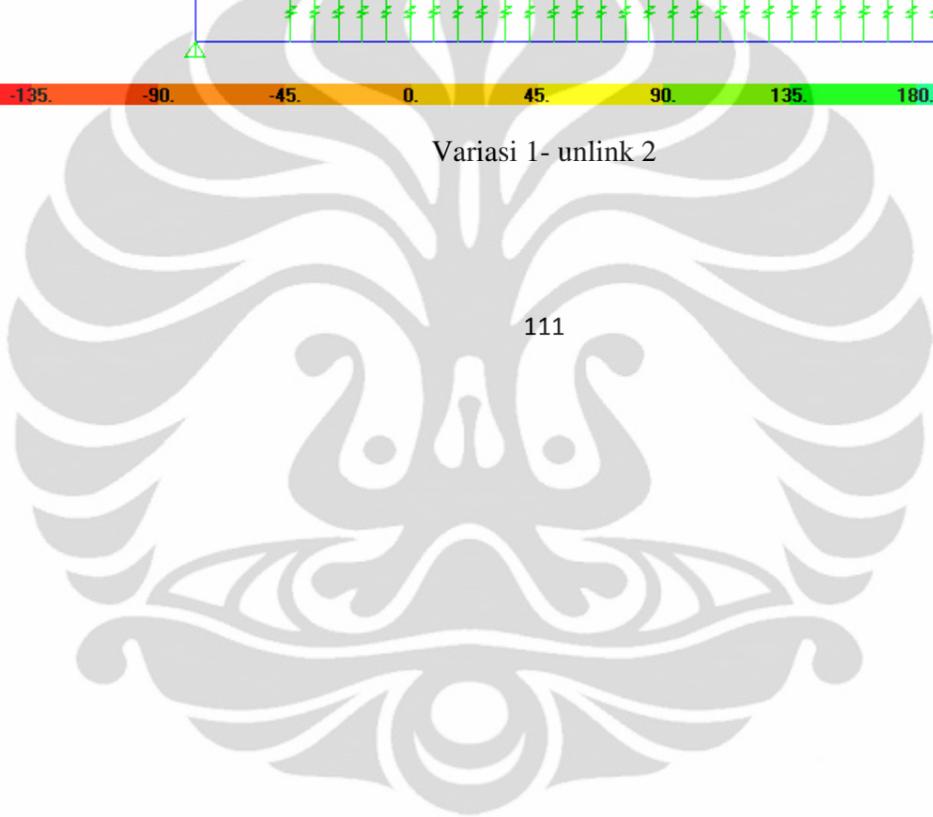
Variasi 1- unlik 0

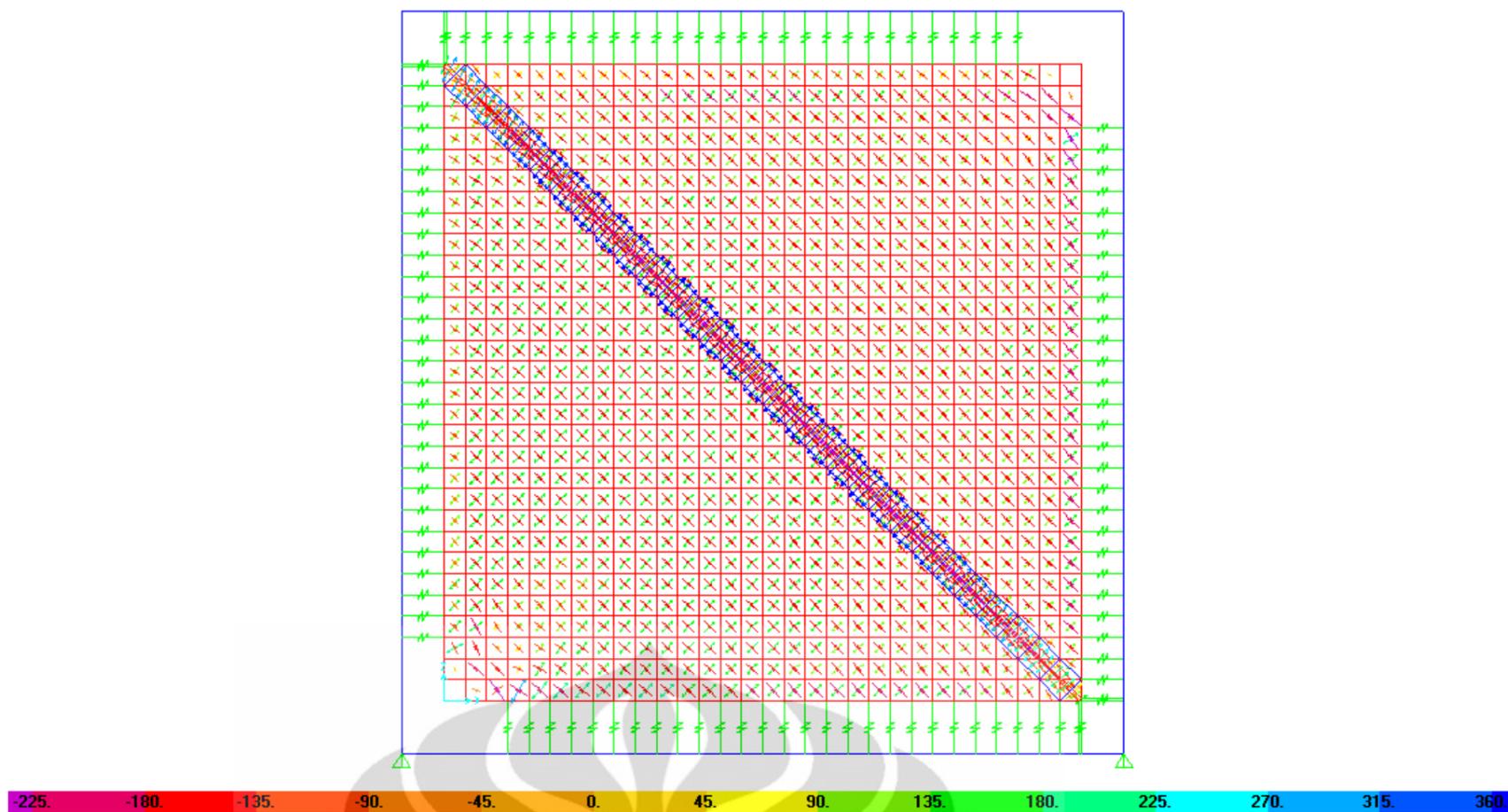


Variasi 1- unlink 1

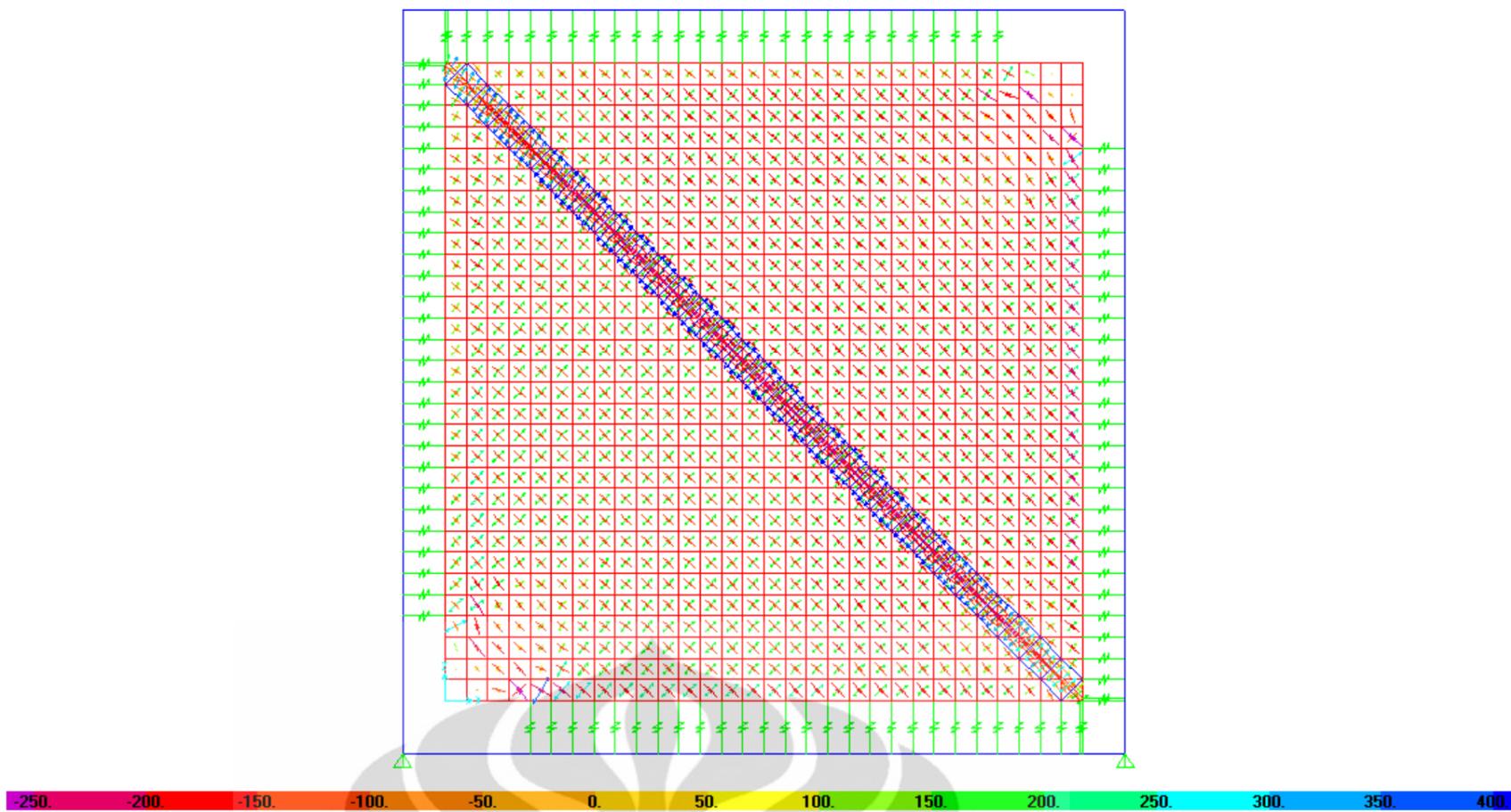


Variasi 1- unlink 2

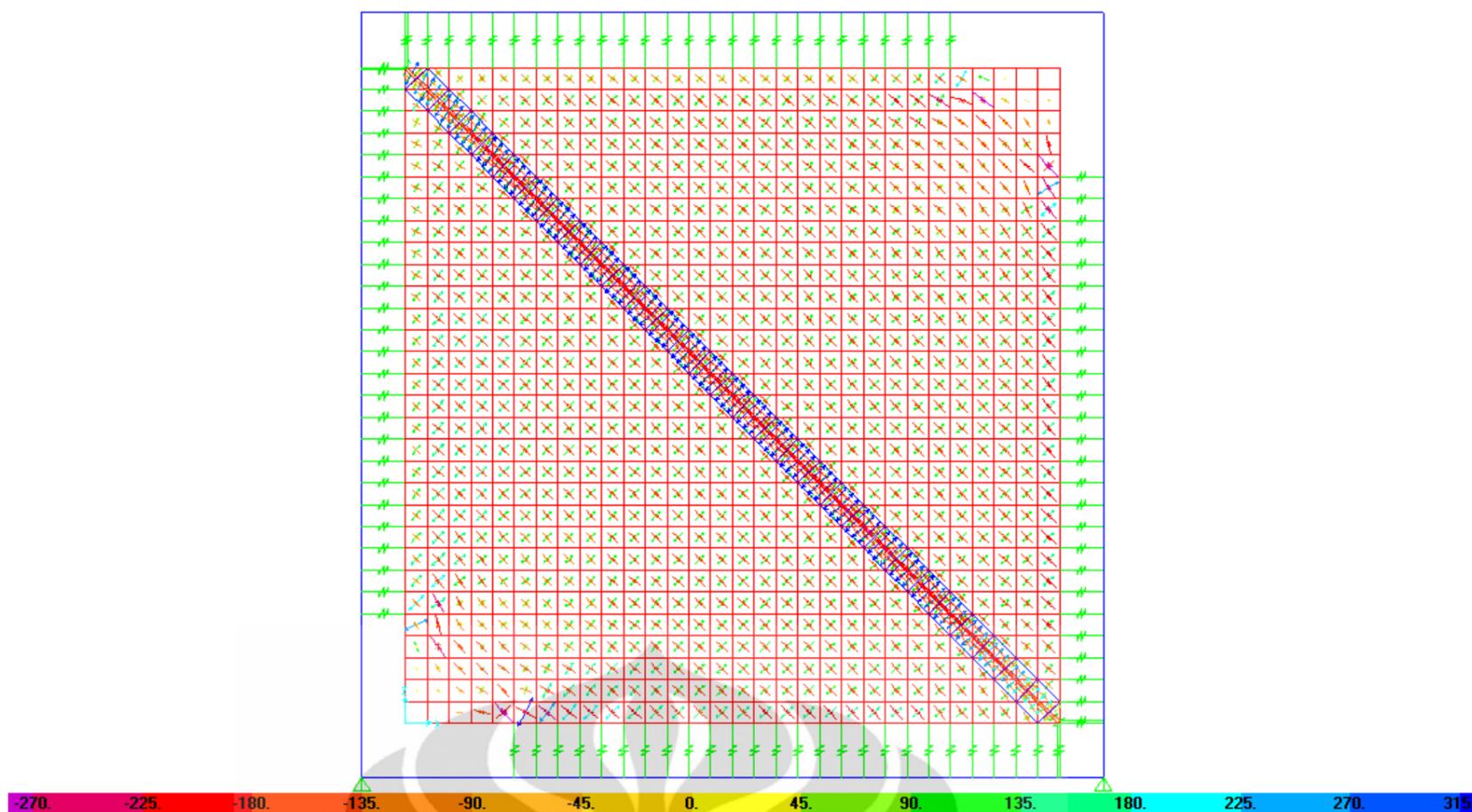




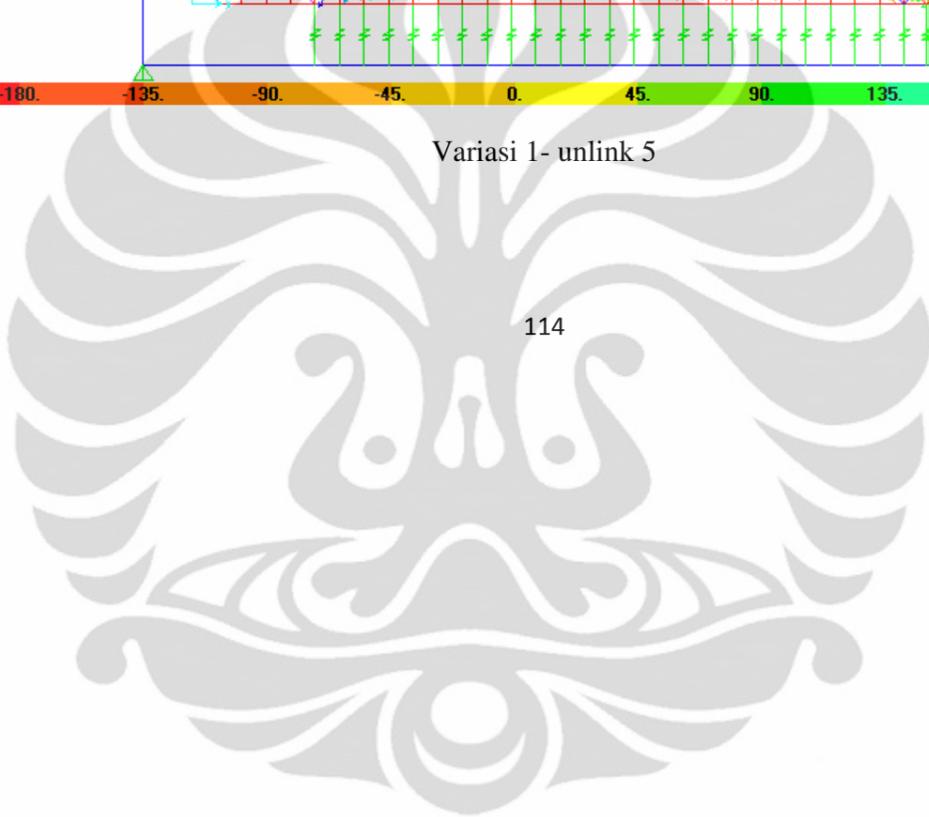
Variasi 1- unlink 3

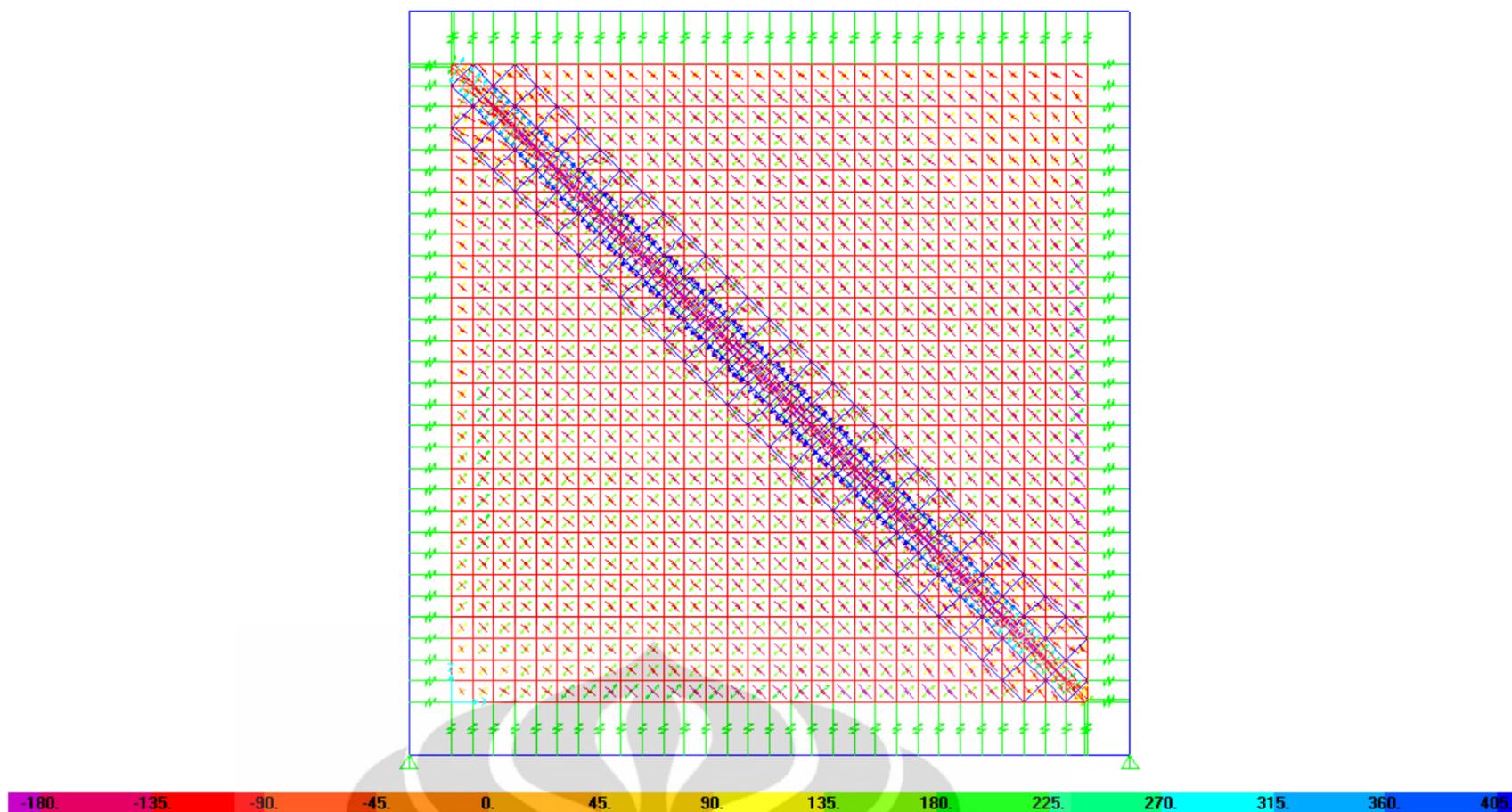


Variasi 1- unlink 4

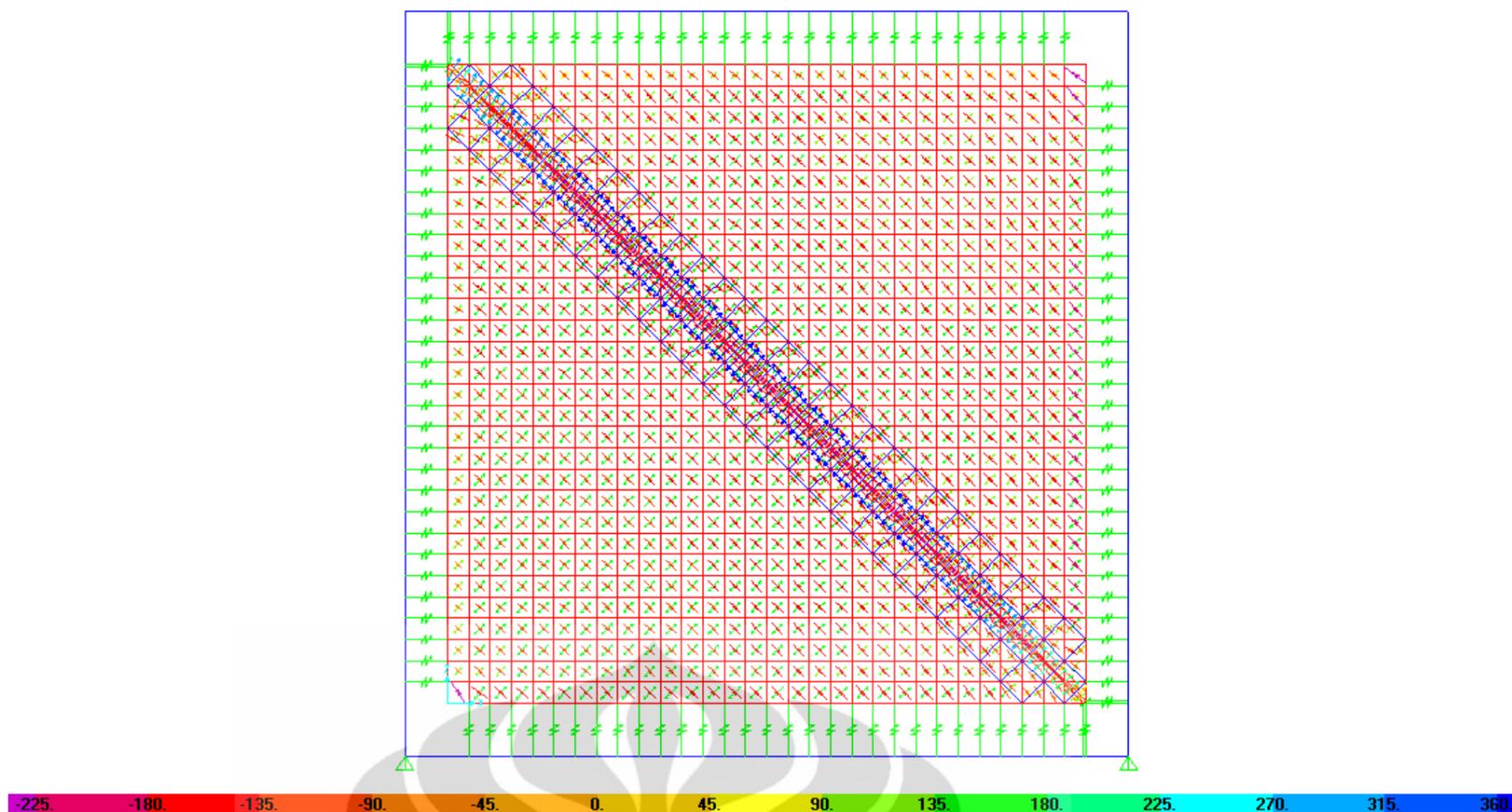


Variasi 1- unlink 5

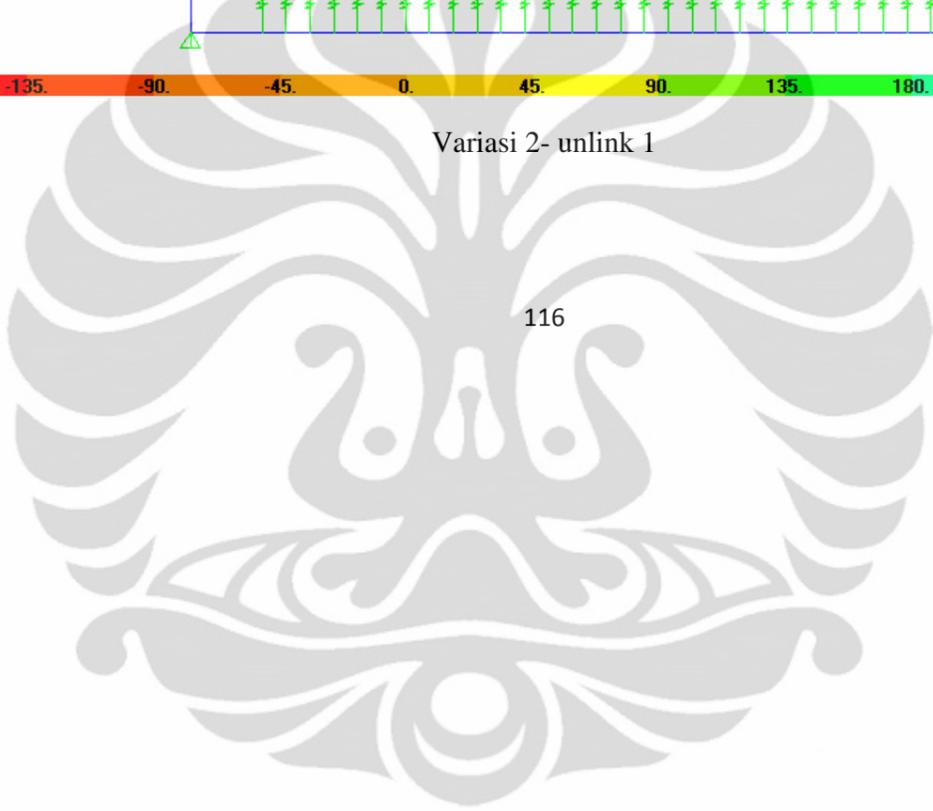


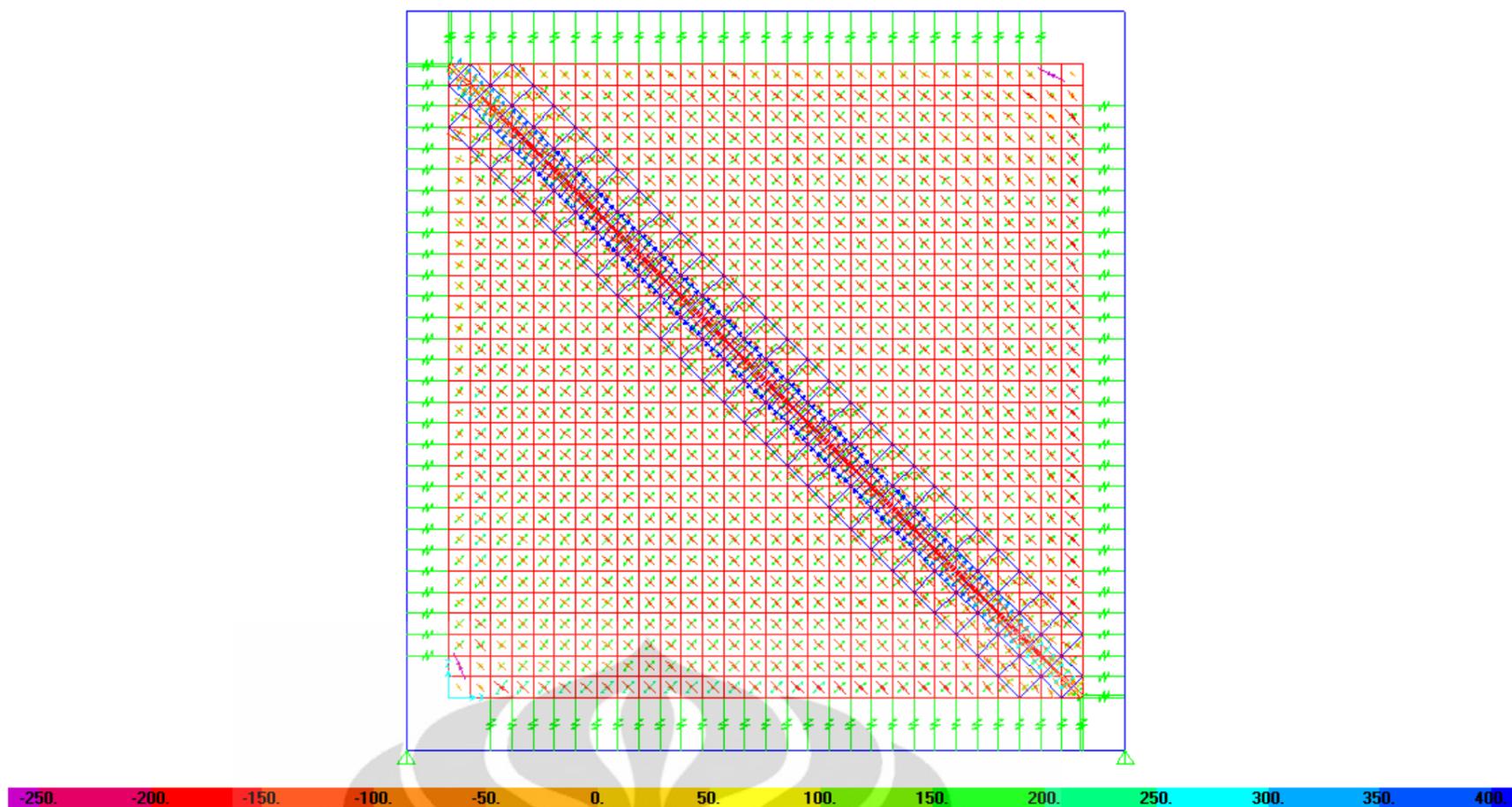


Variasi 2- unlink 0

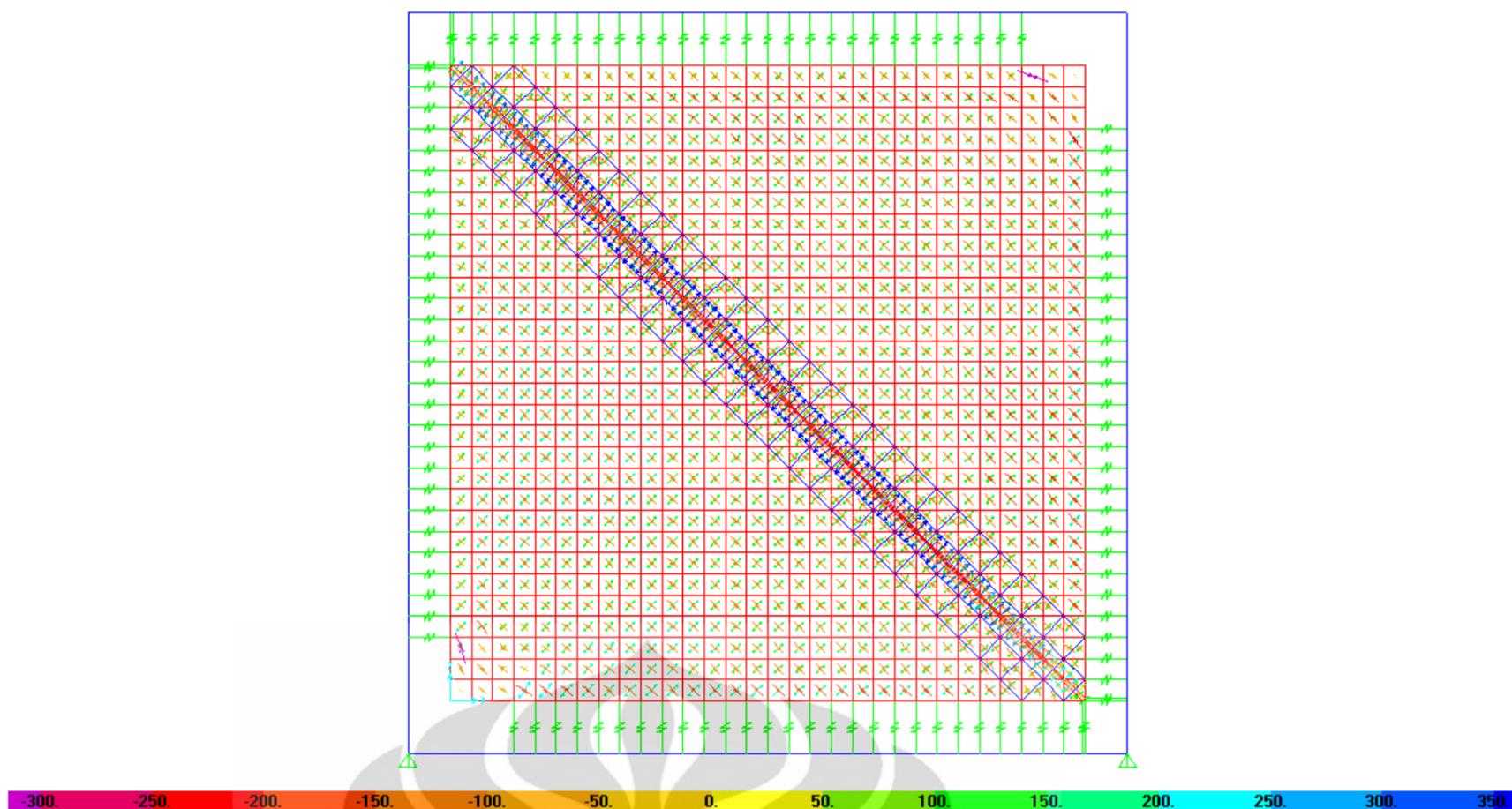


Variasi 2- unlink 1

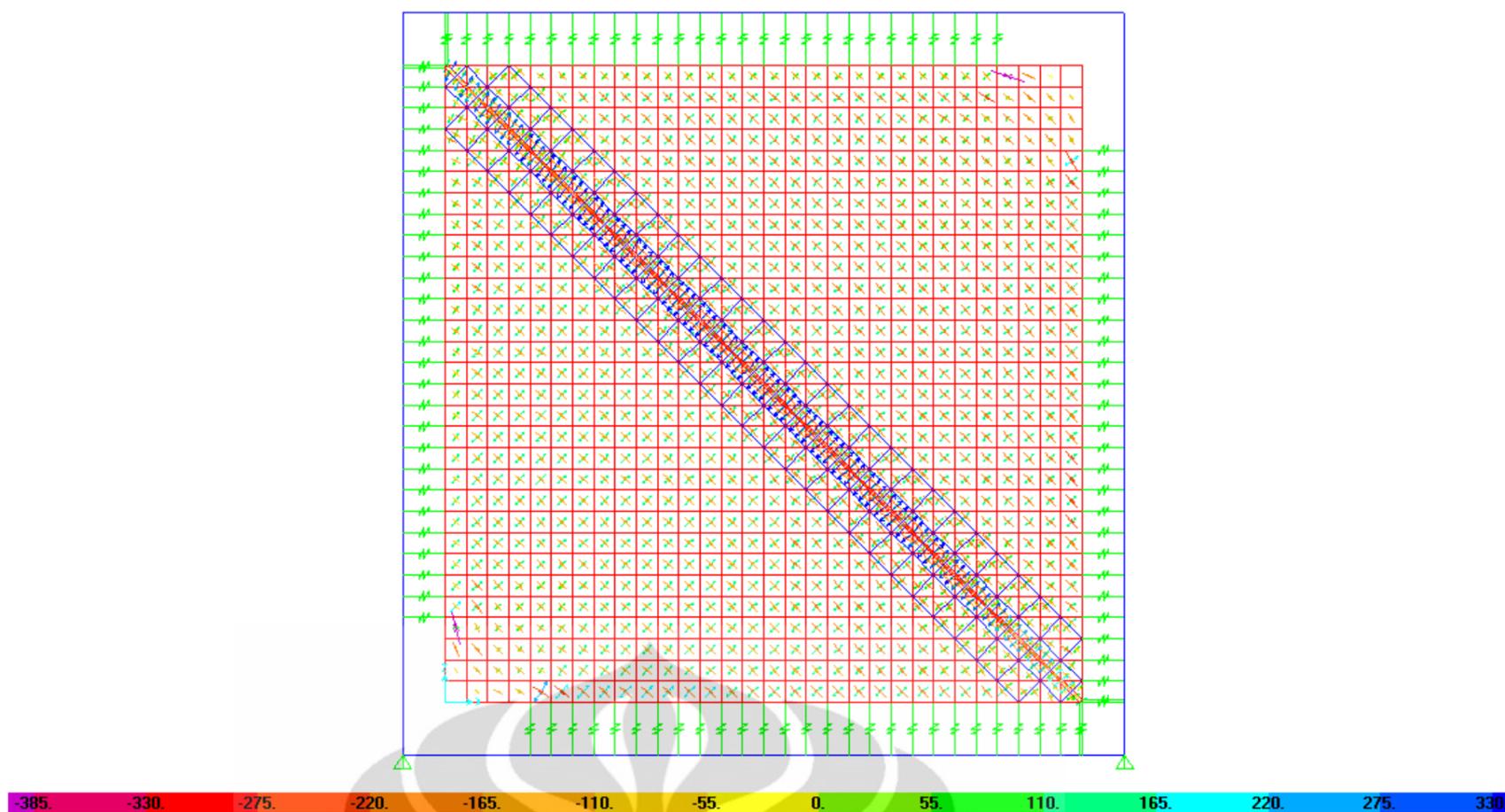




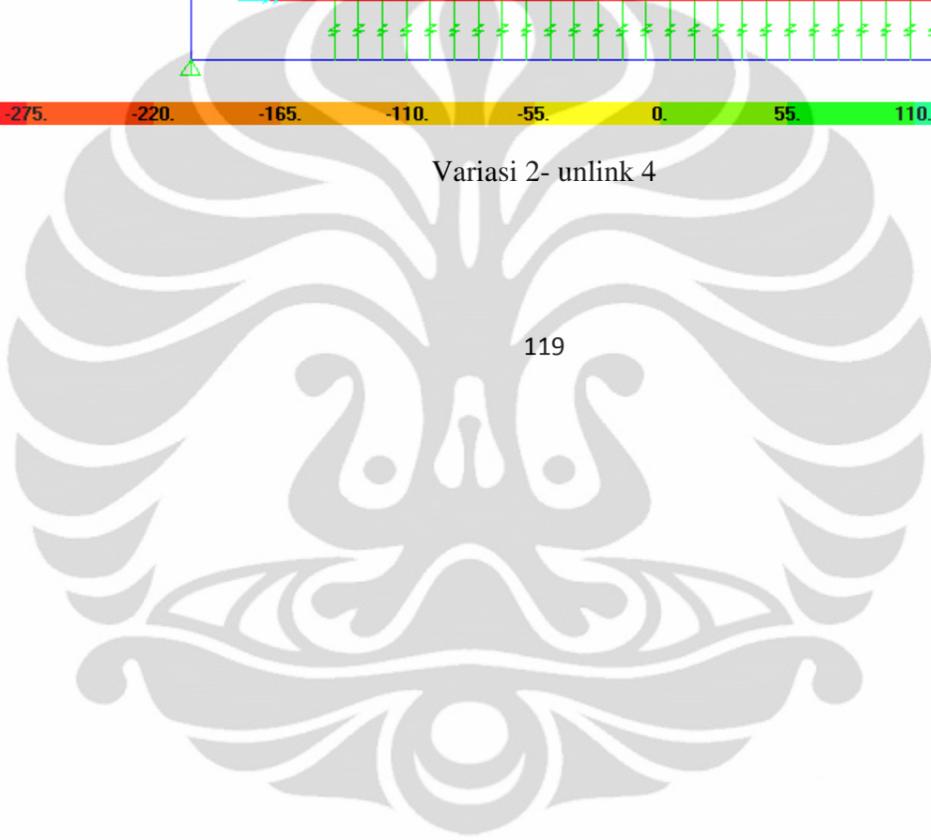
Variasi 2- unlink 2

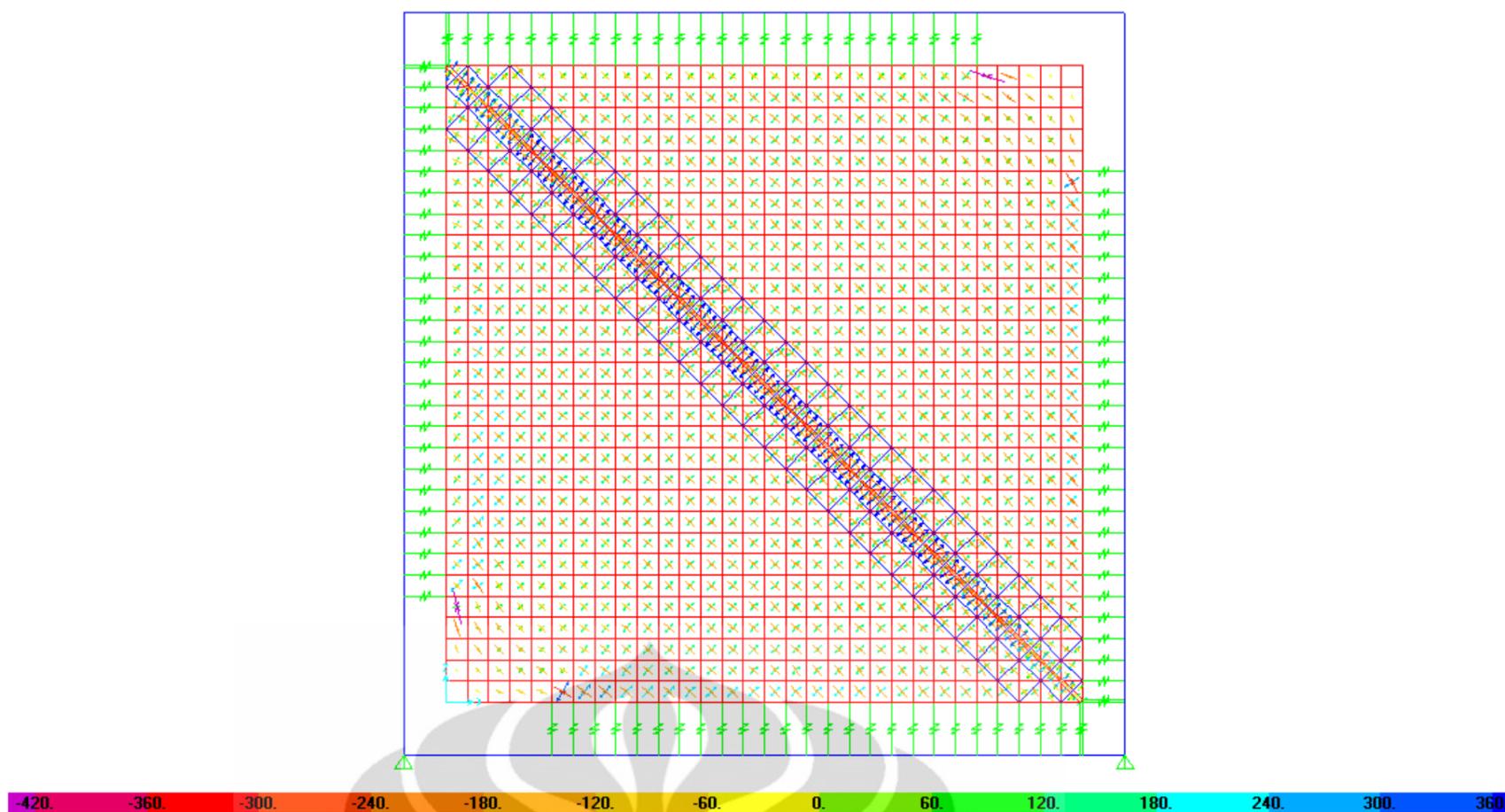


Variasi 2- unlink 3



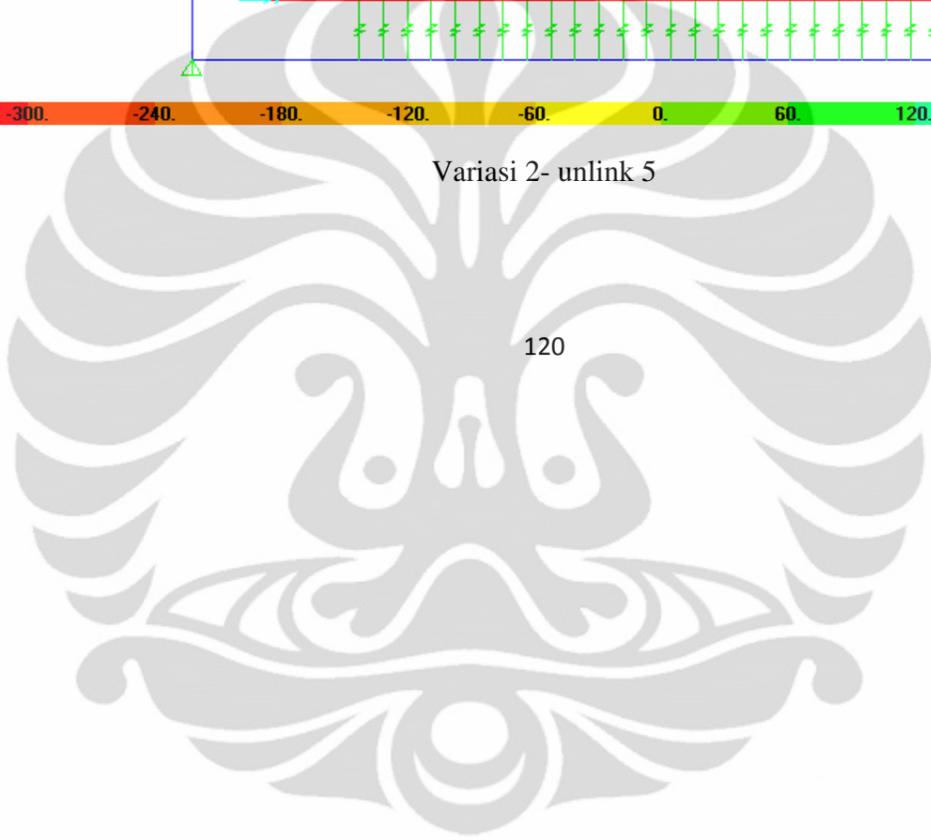
Variasi 2- unlink 4

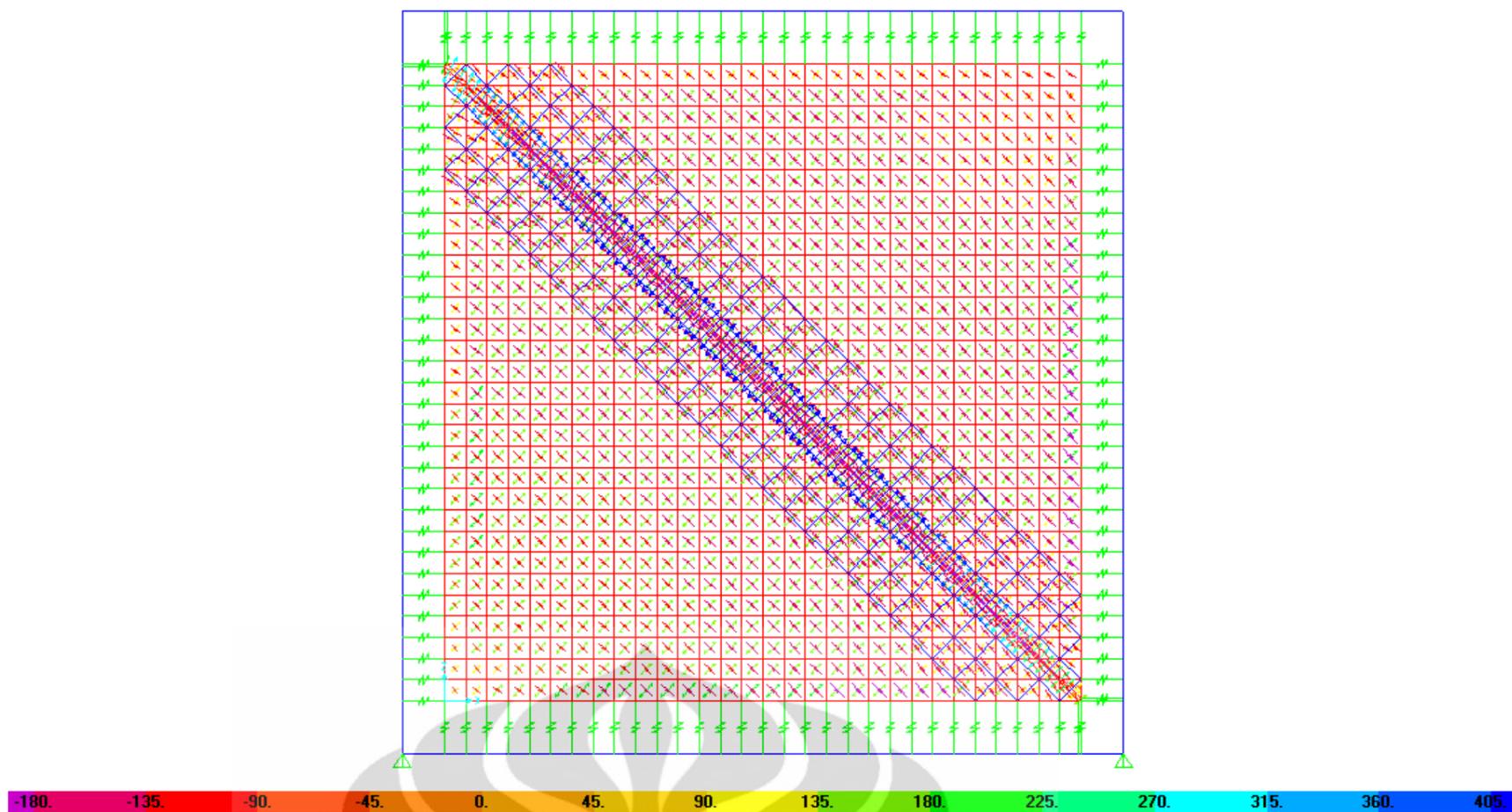




Variasi 2- unlink 5

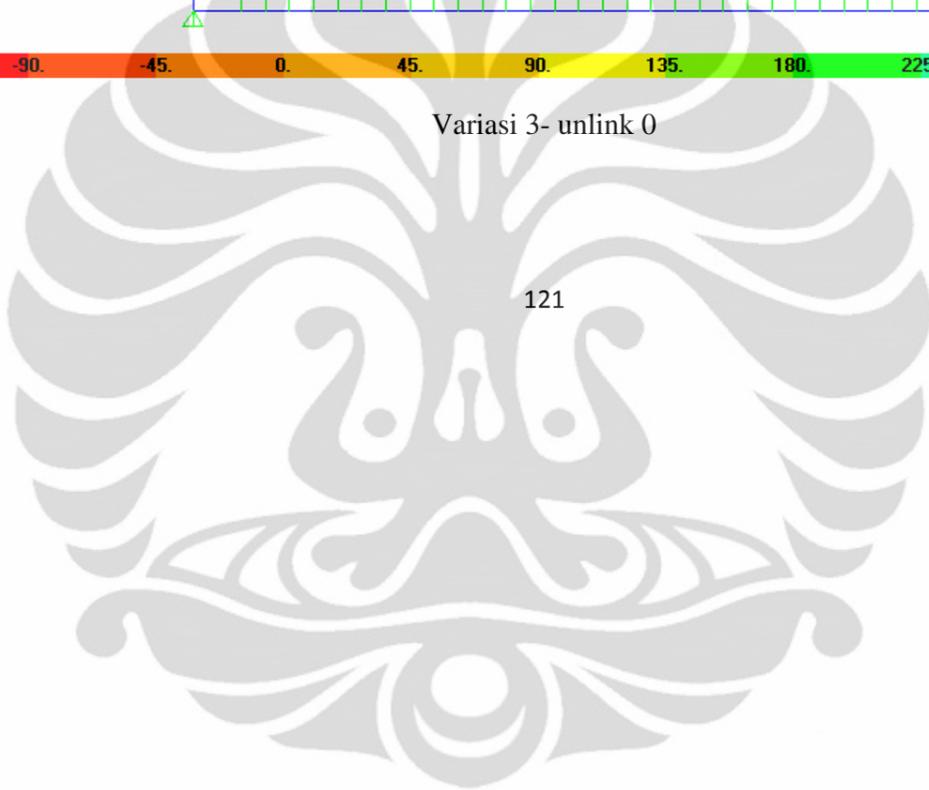
120

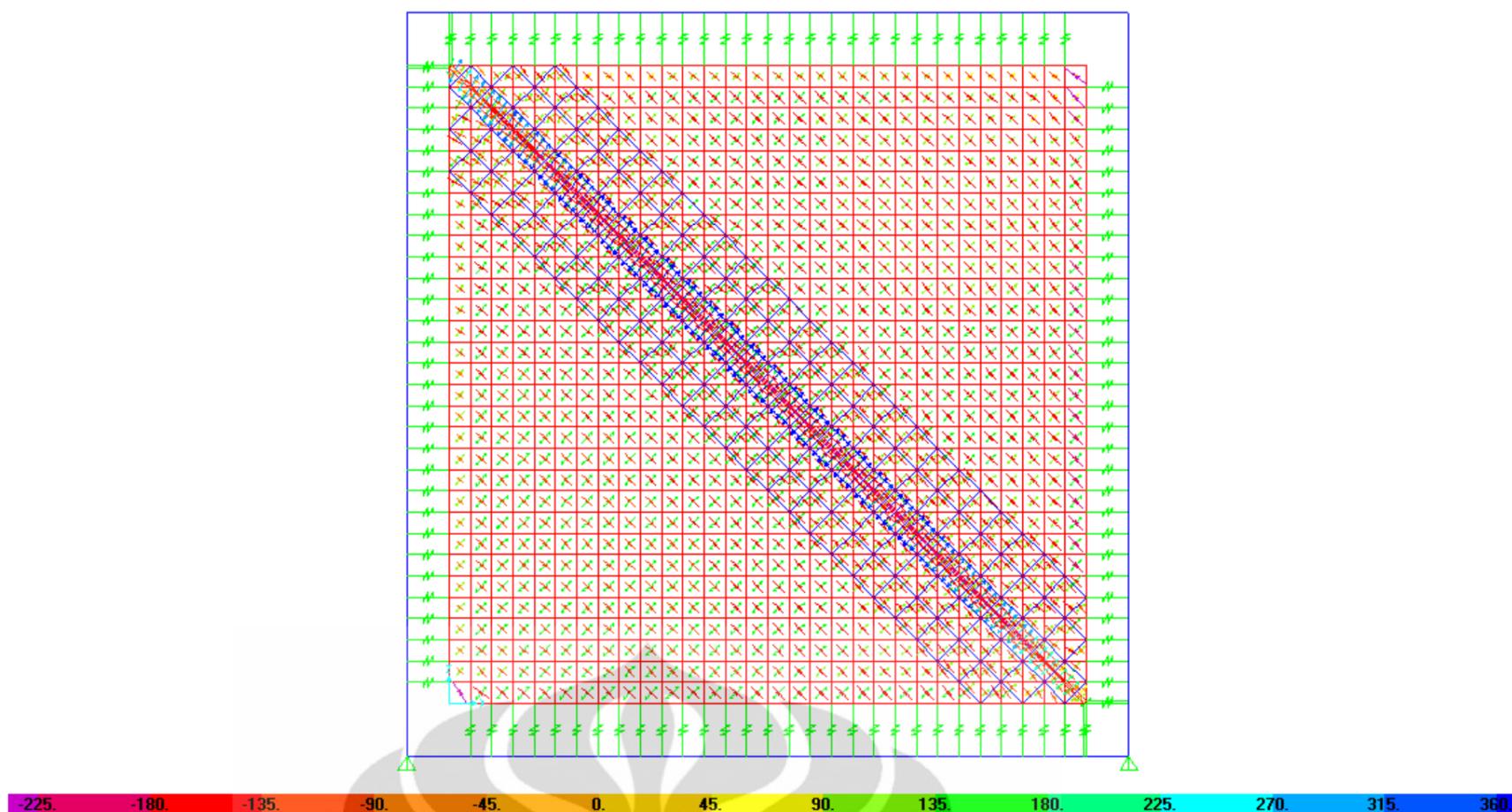




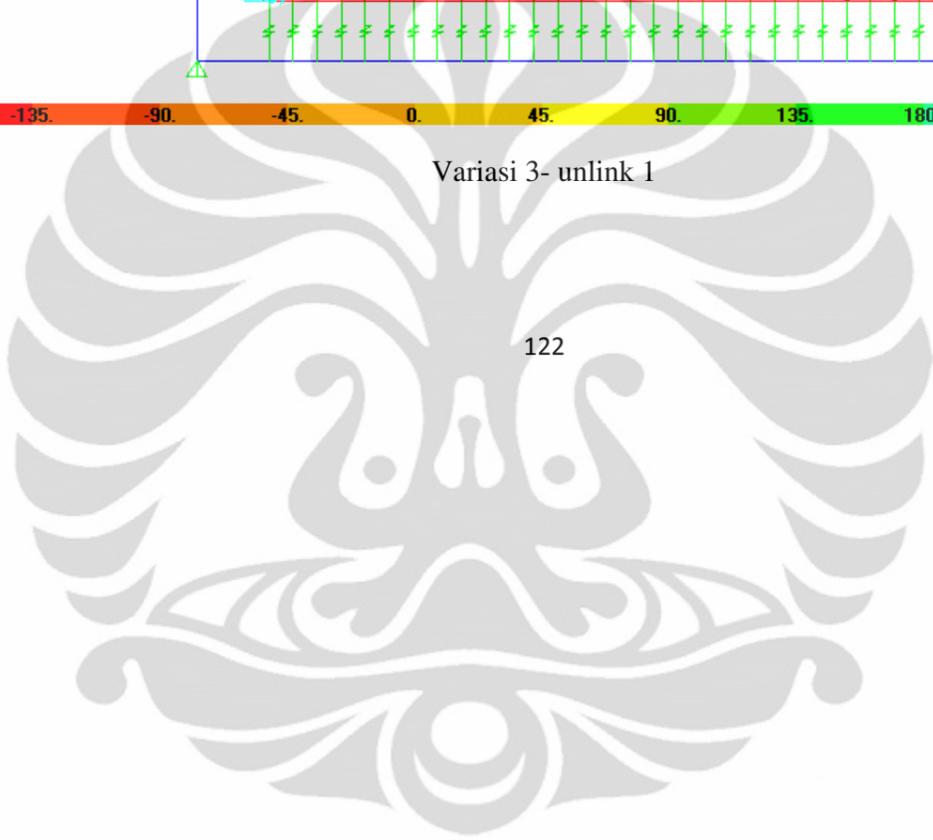
Variasi 3- unlink 0

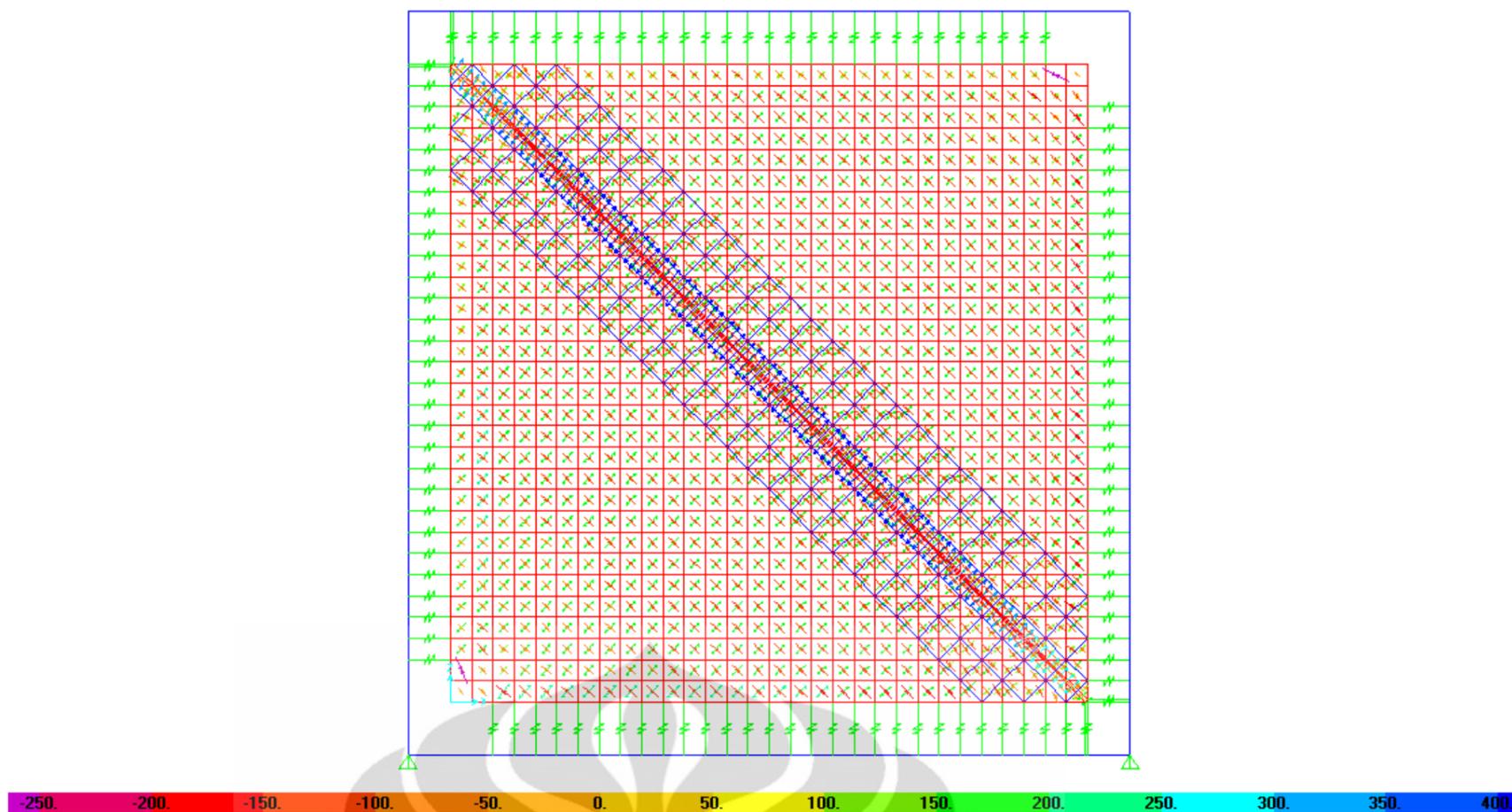
121



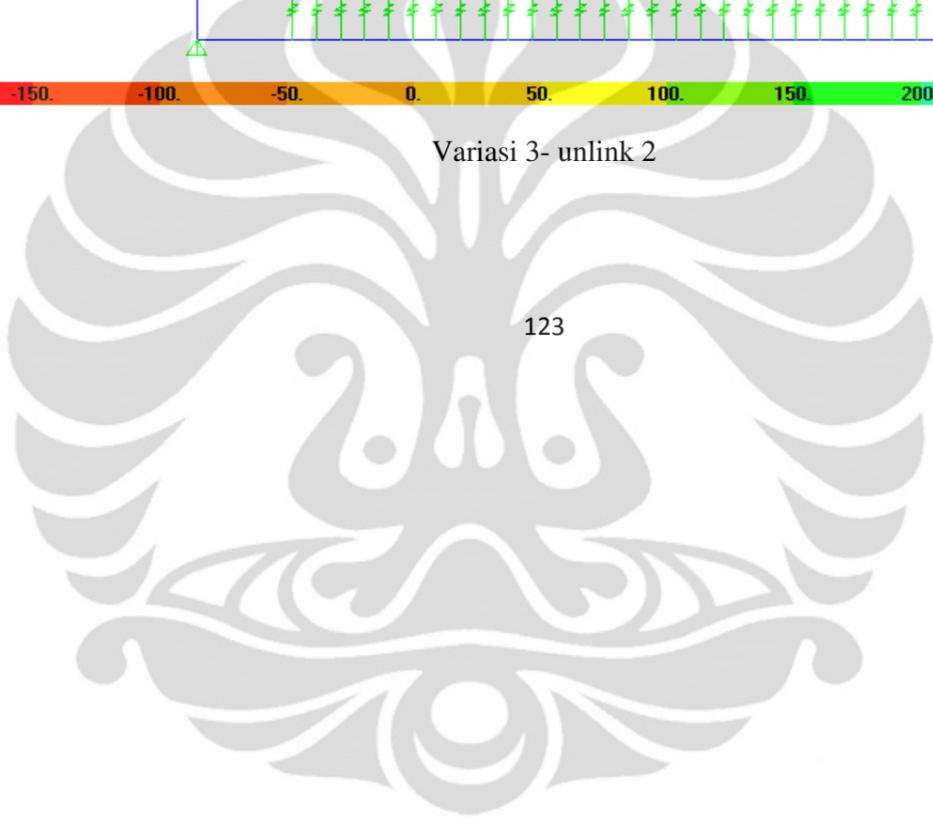


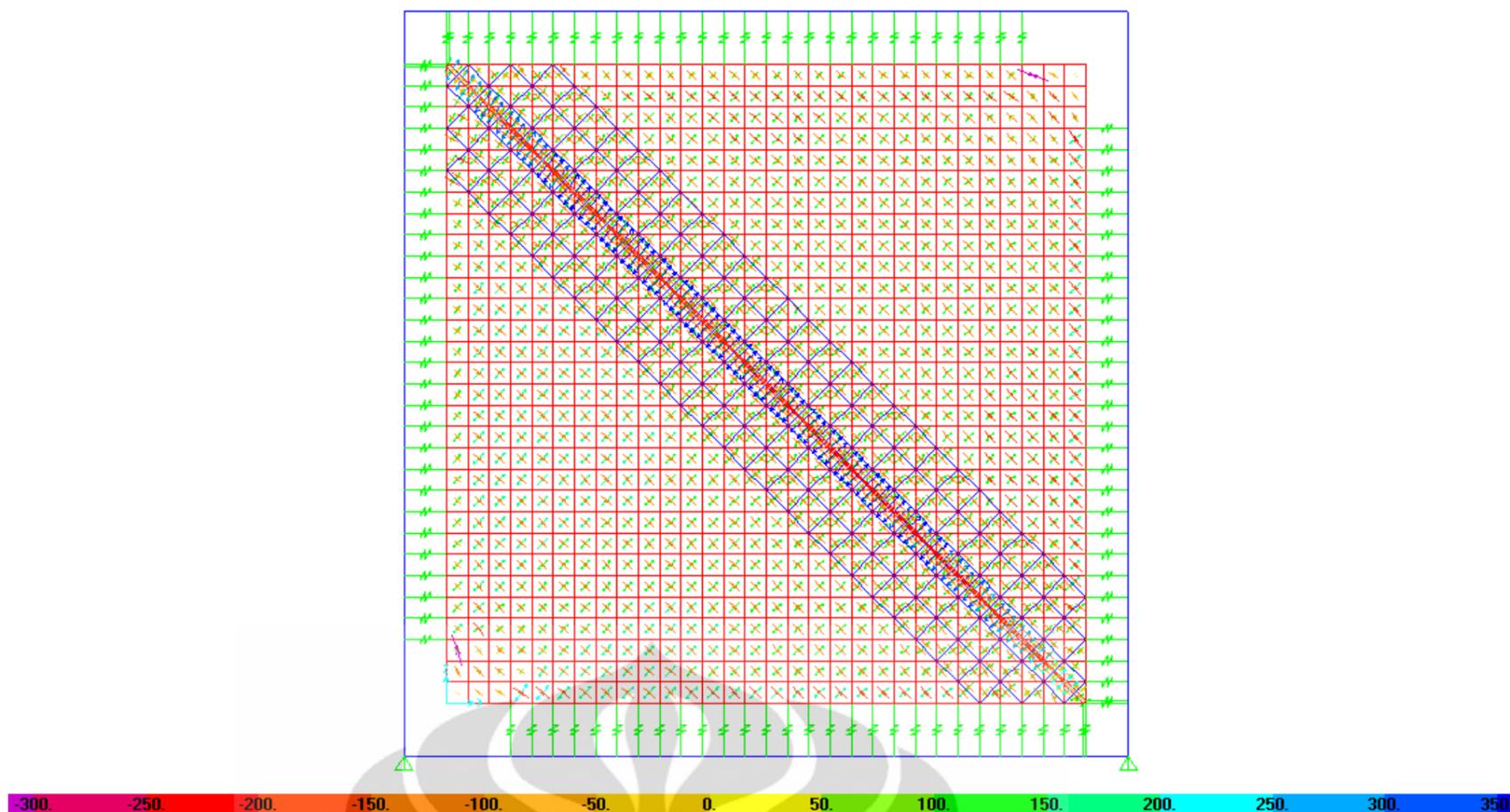
Variasi 3- unlink 1



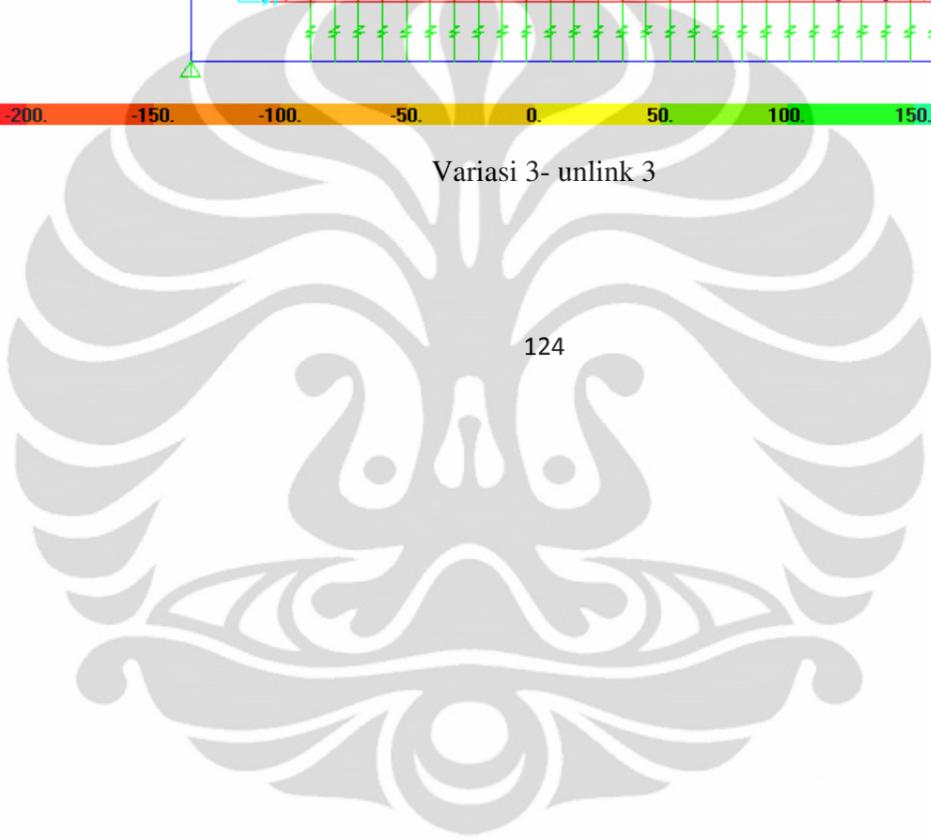


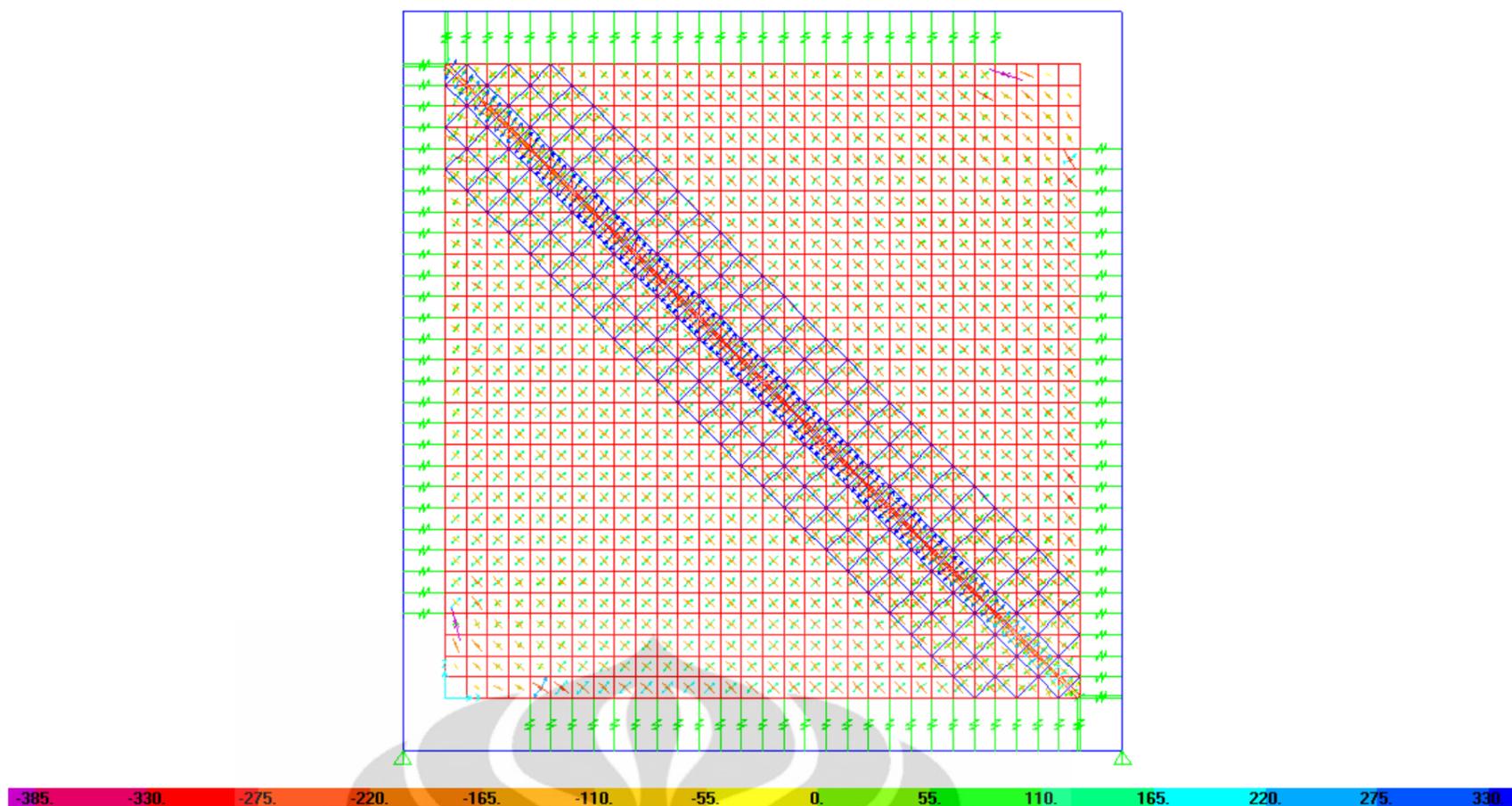
Variasi 3- unlink 2



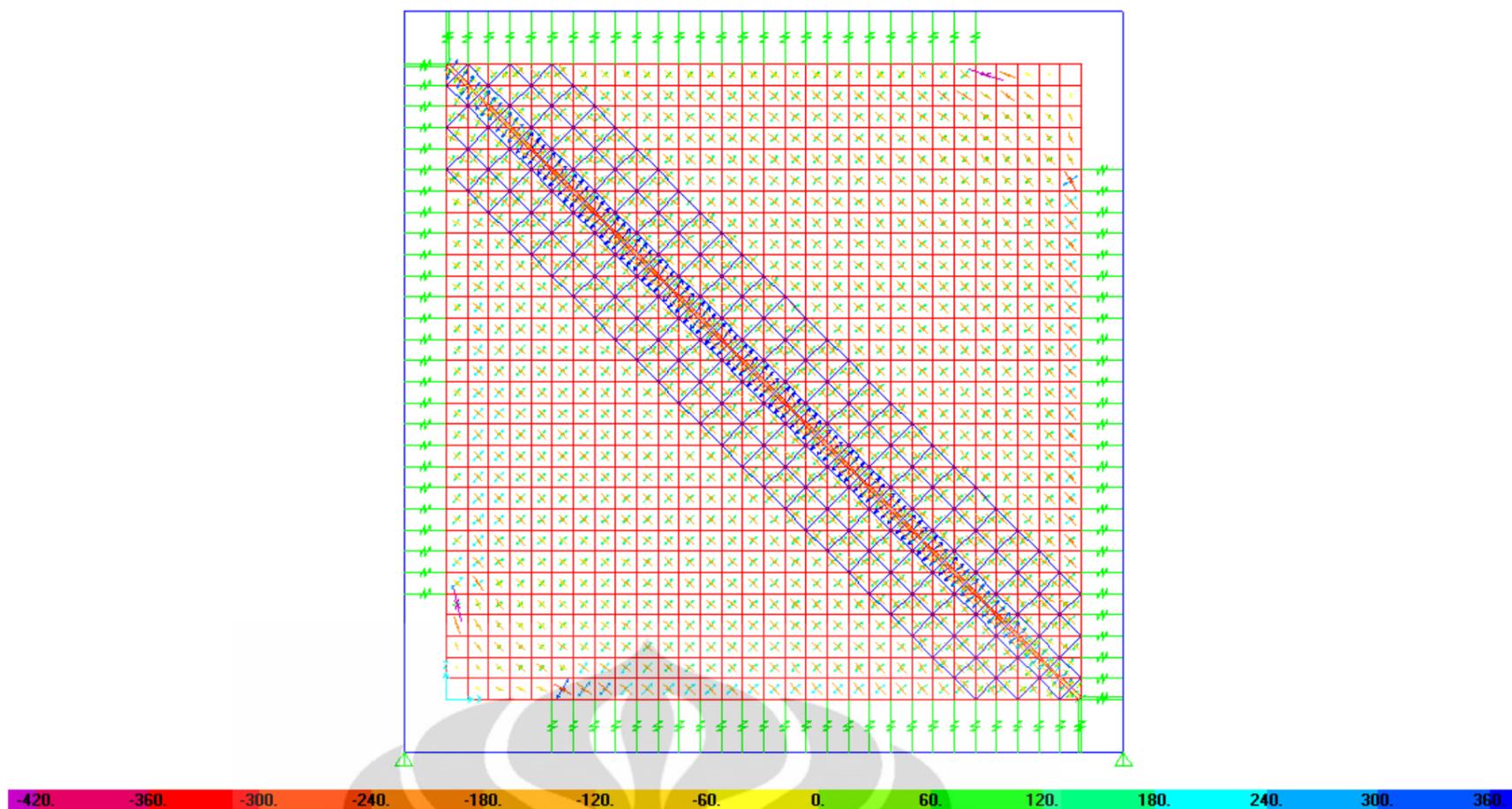


Variasi 3- unlink 3



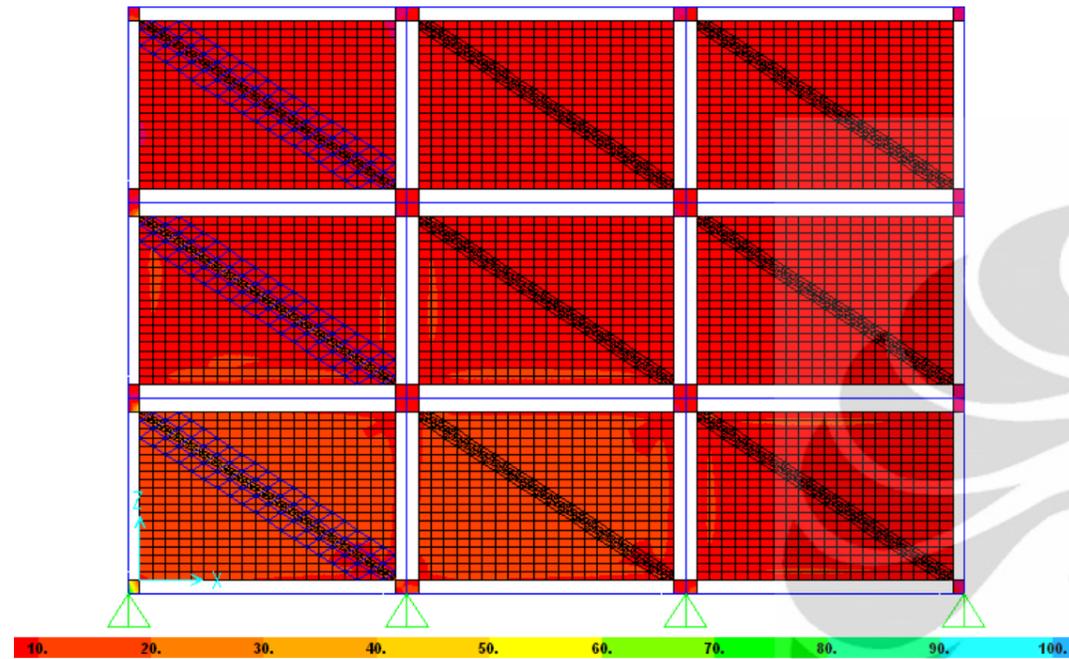


Variasi 3- unlink 4

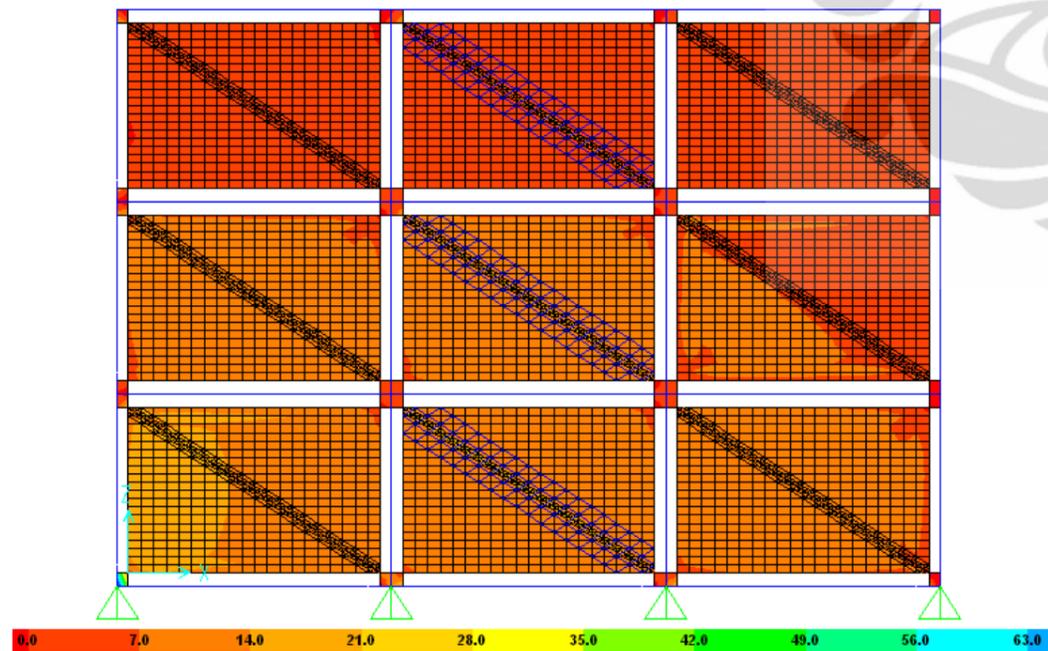


Variasi 3- unlink 5

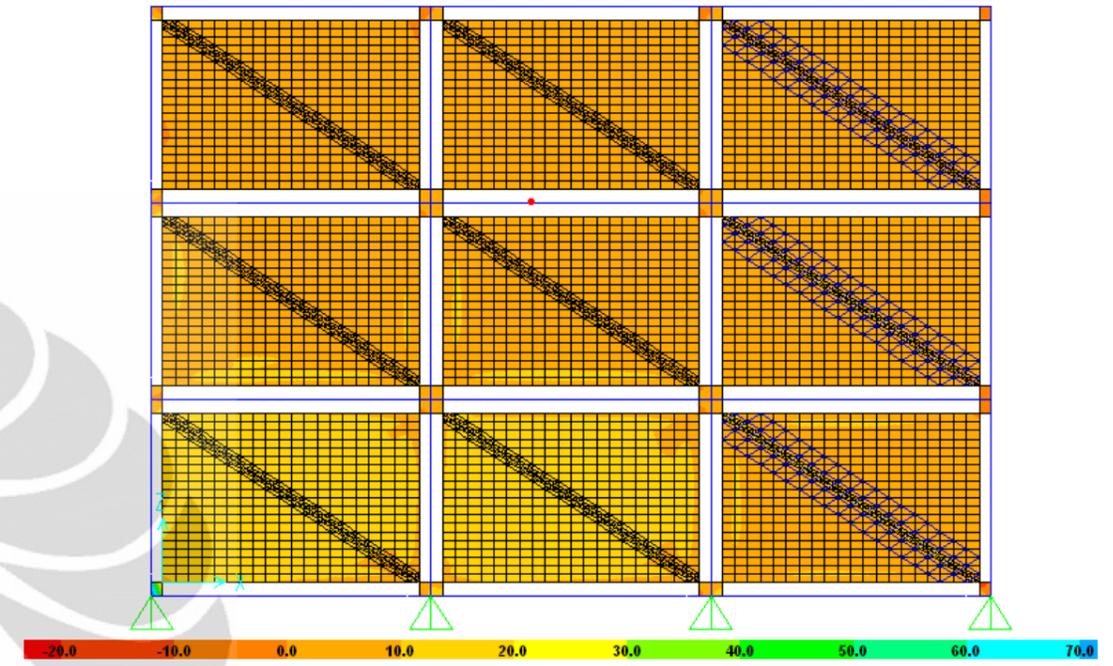
Lampiran 7: Distribusi Tegangan Maksimum Model Ruko



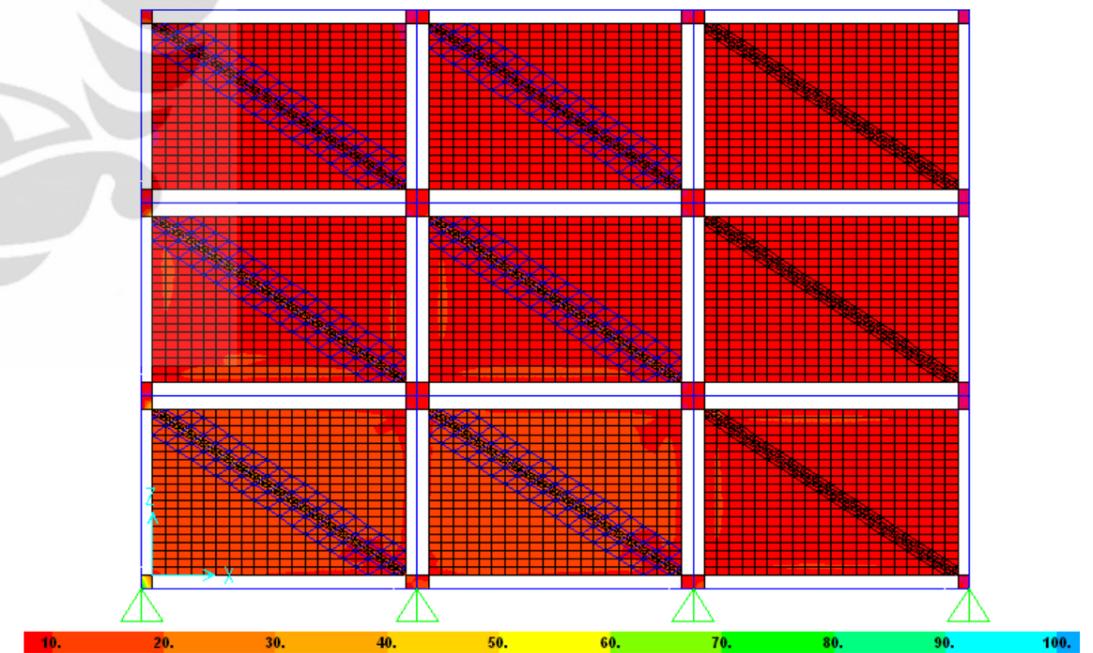
Variasi 1



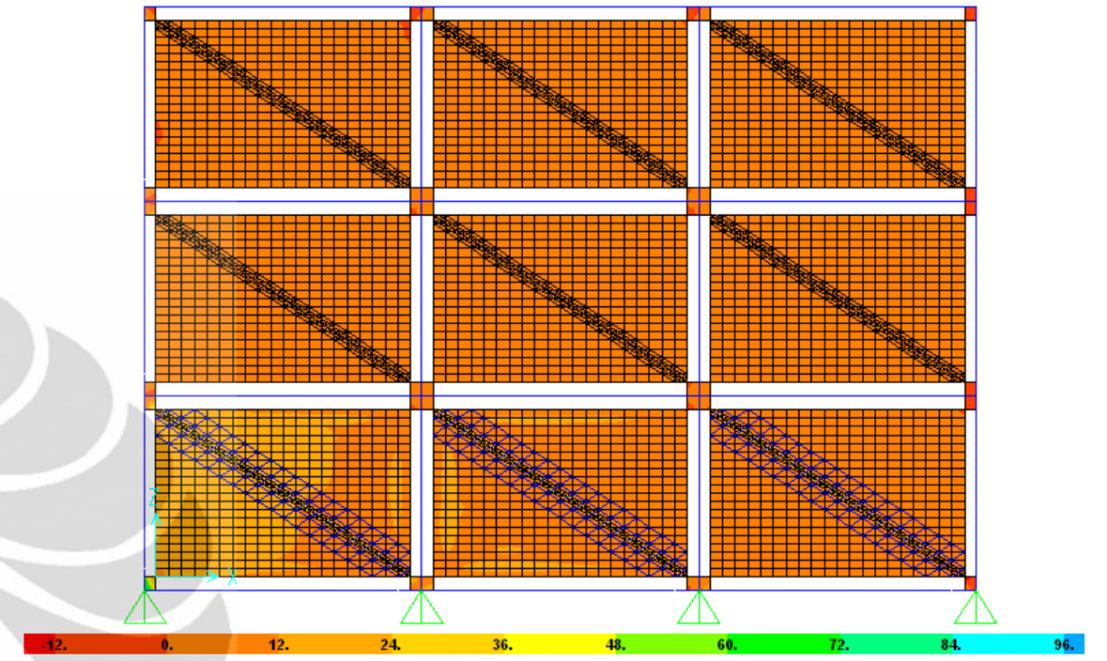
Variasi 2



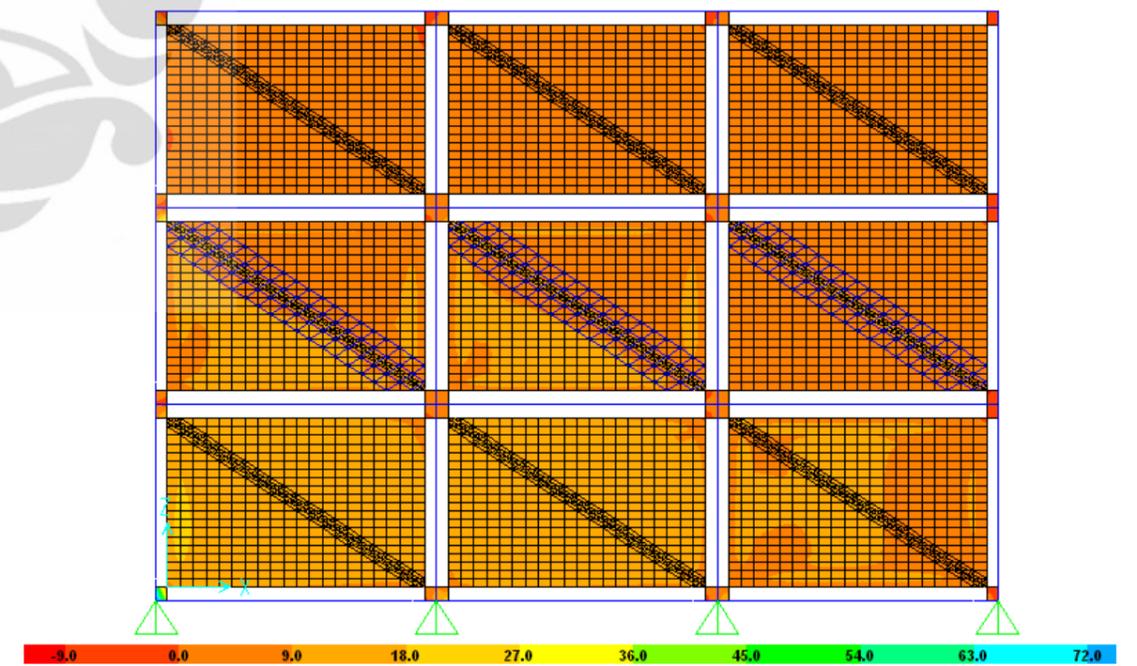
Variasi 3



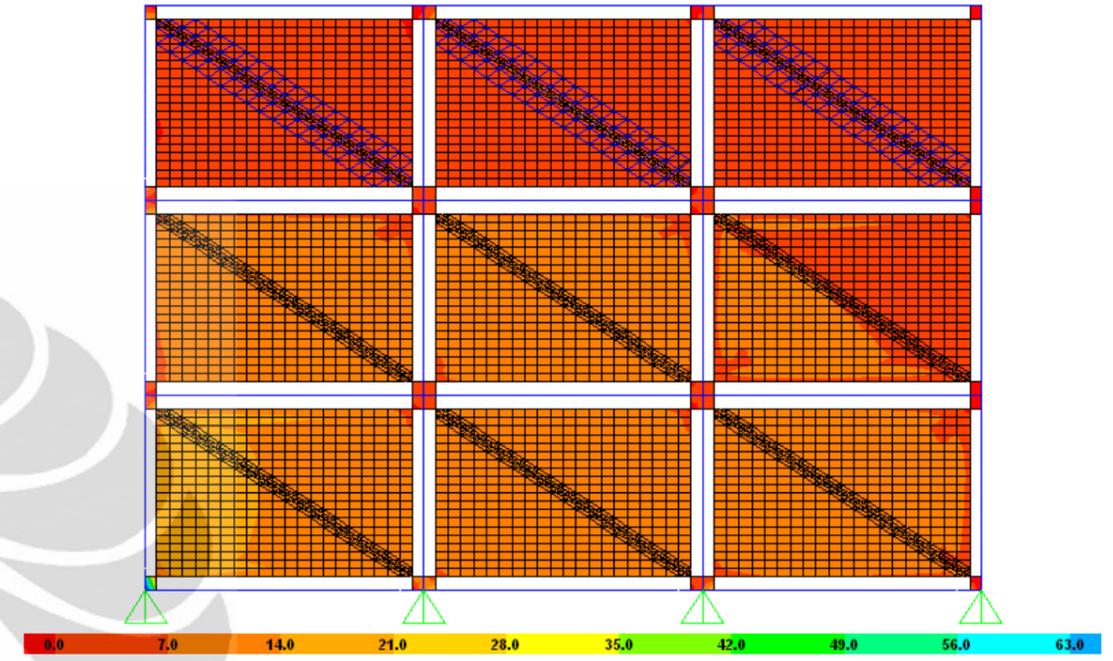
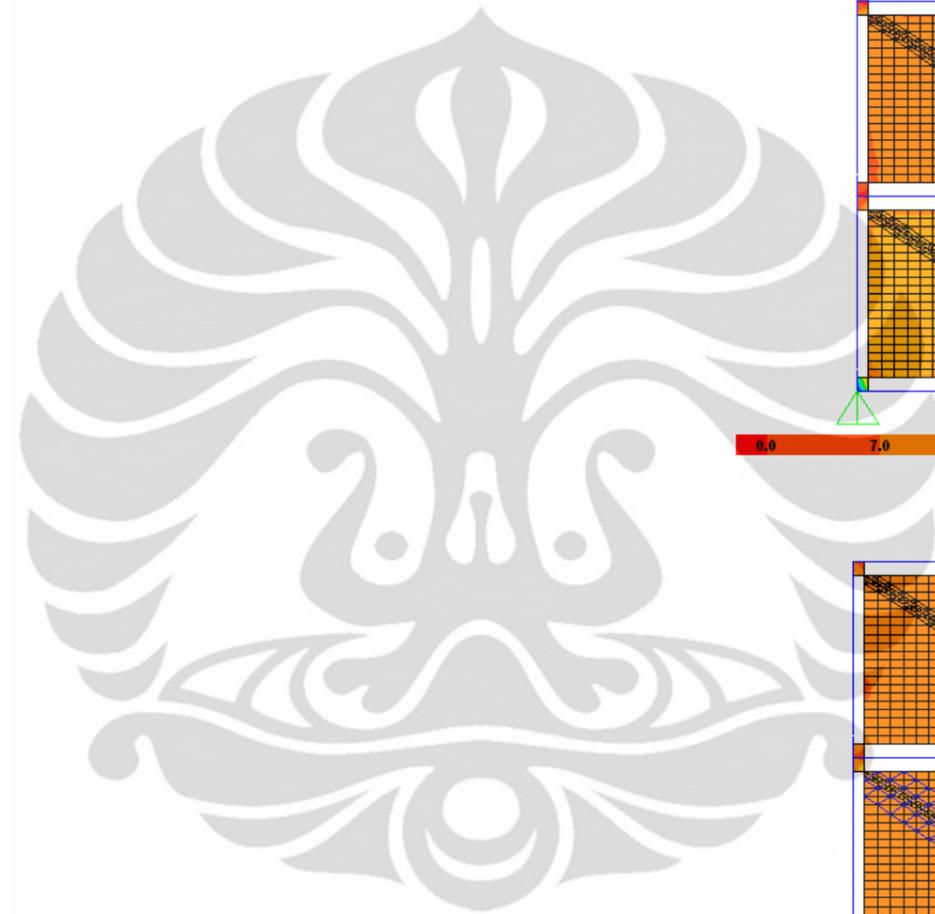
Variasi 4



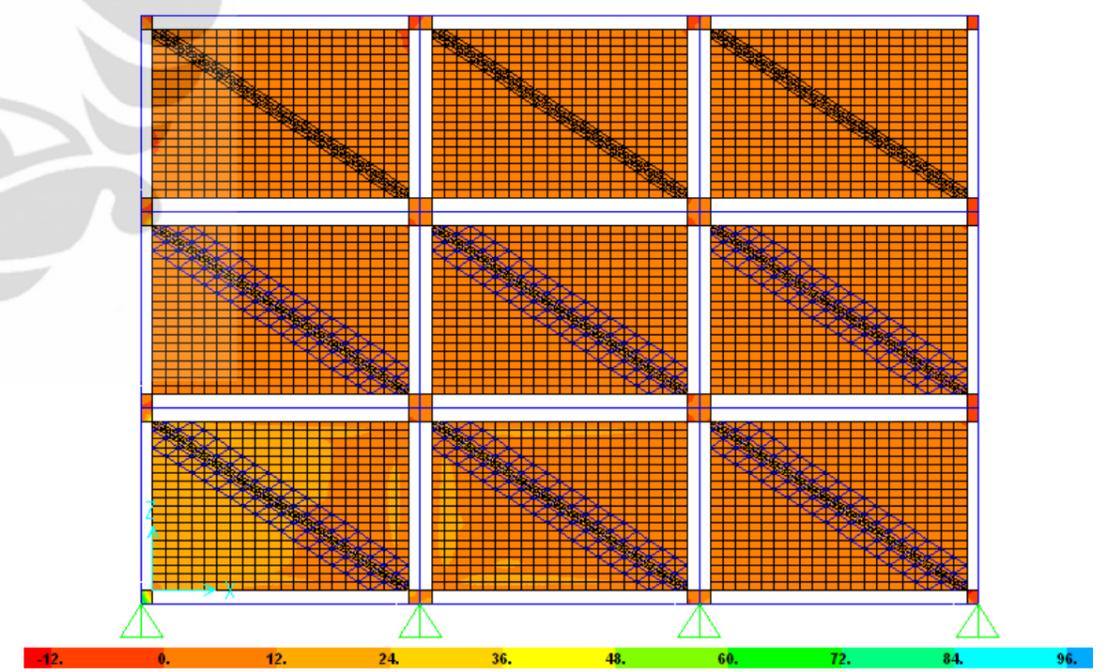
Variasi 5



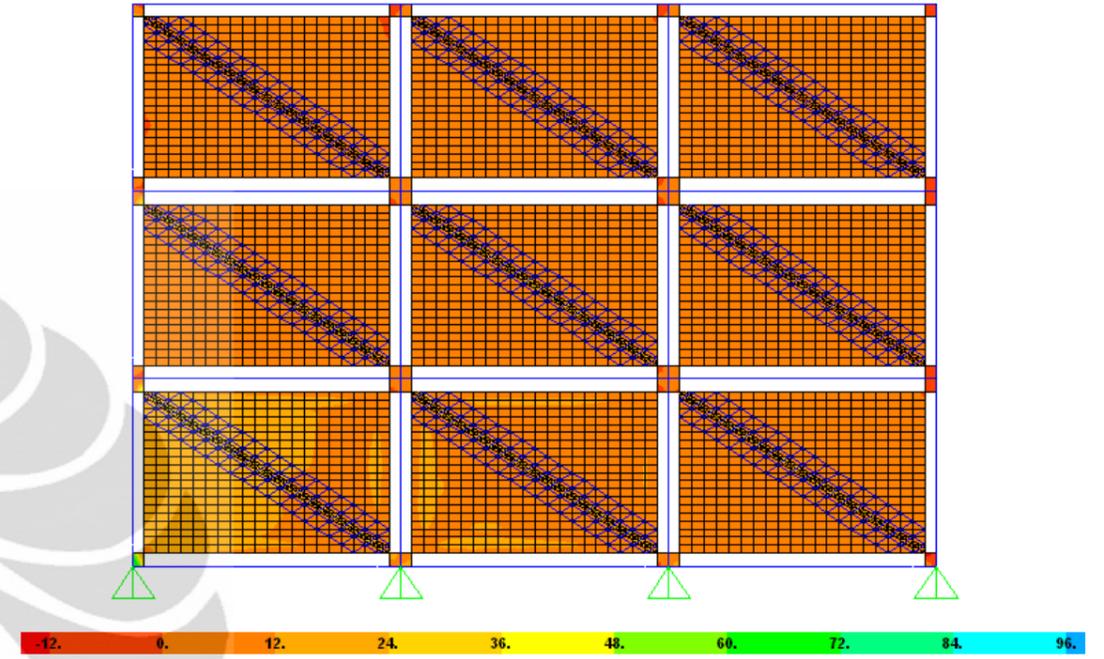
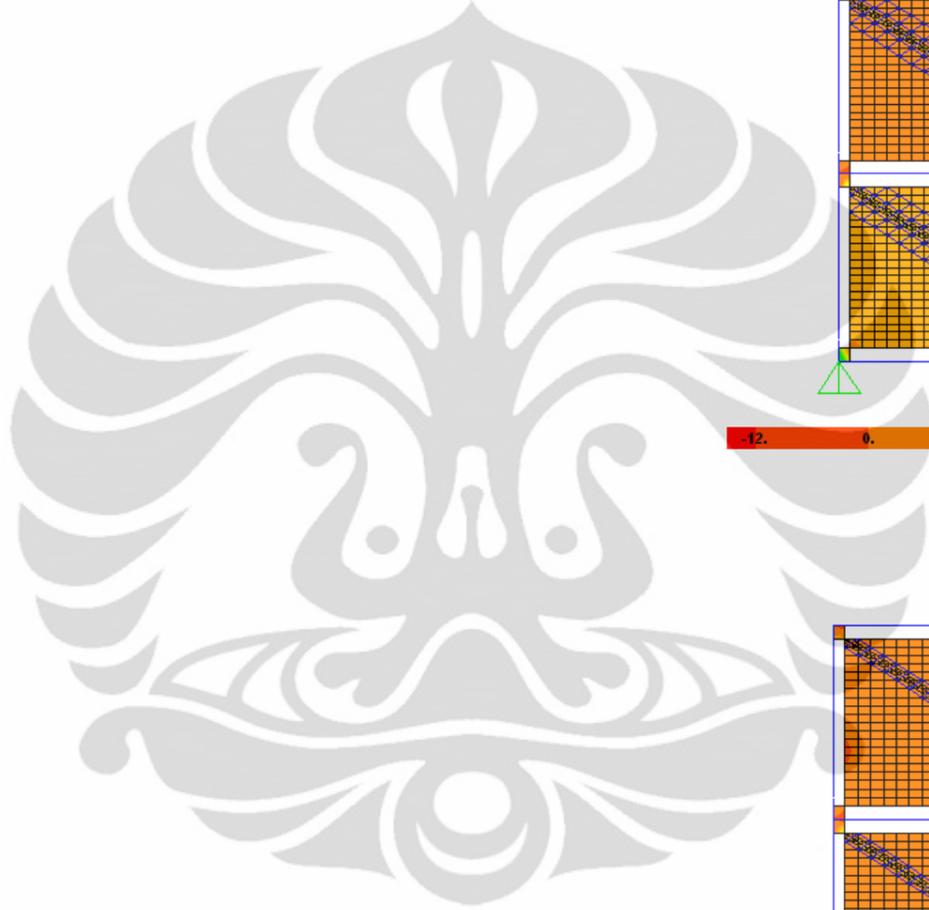
Variasi 6



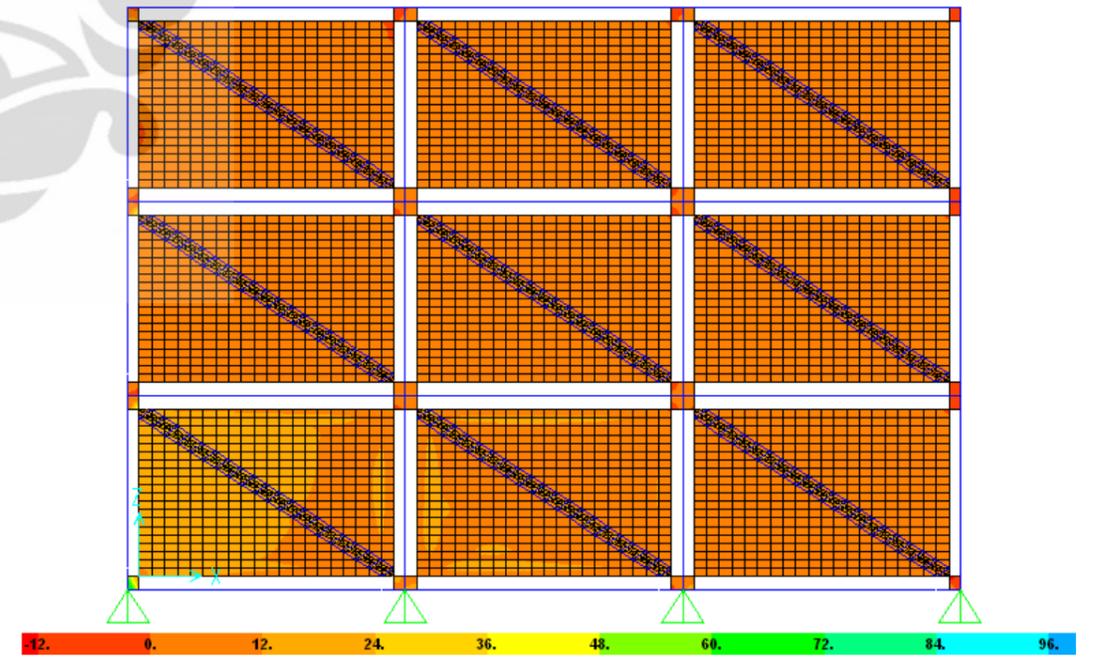
Variasi 7



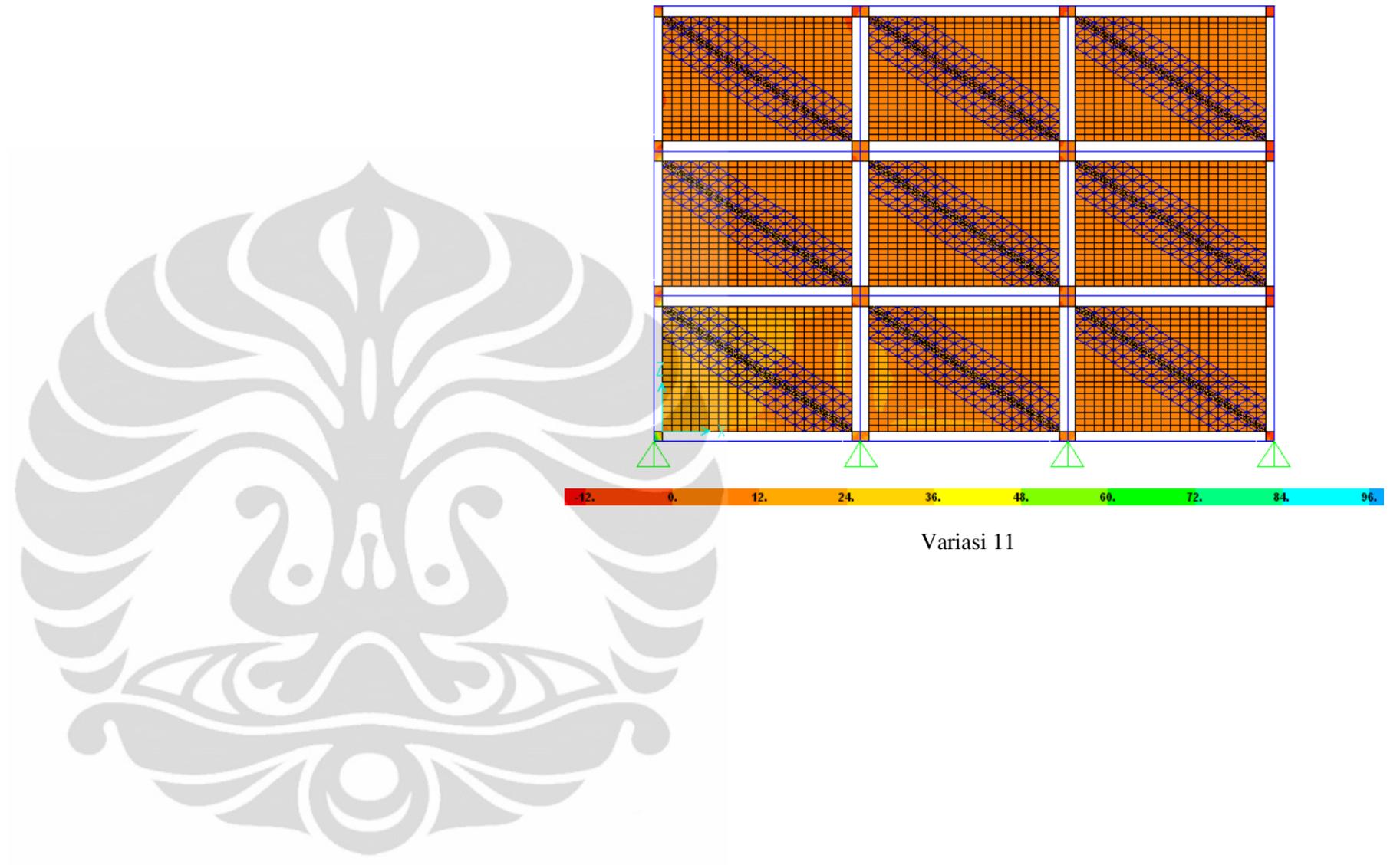
Variasi 8



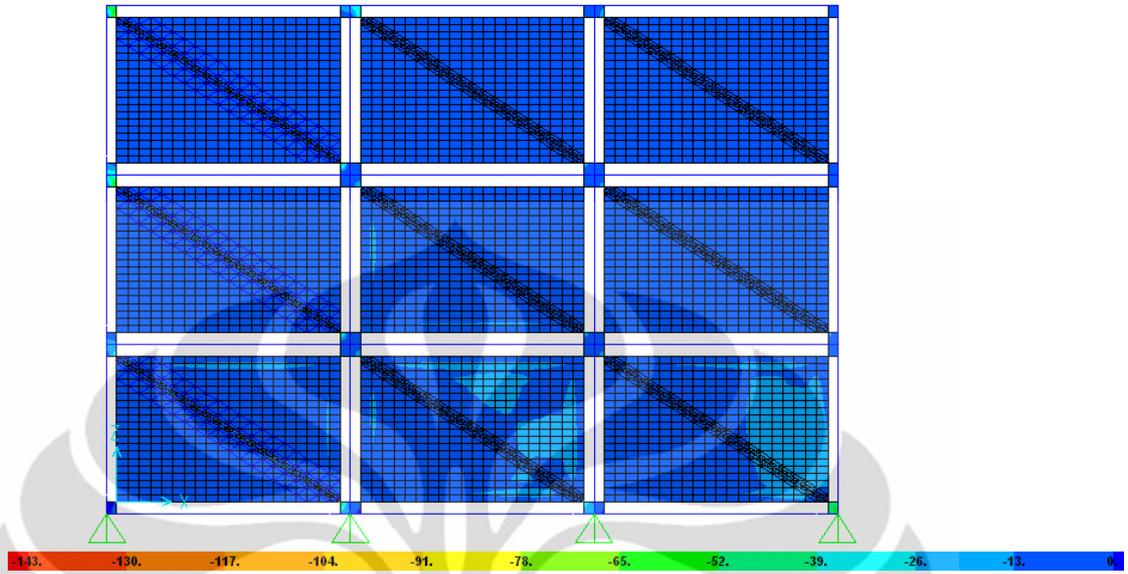
Variasi 9



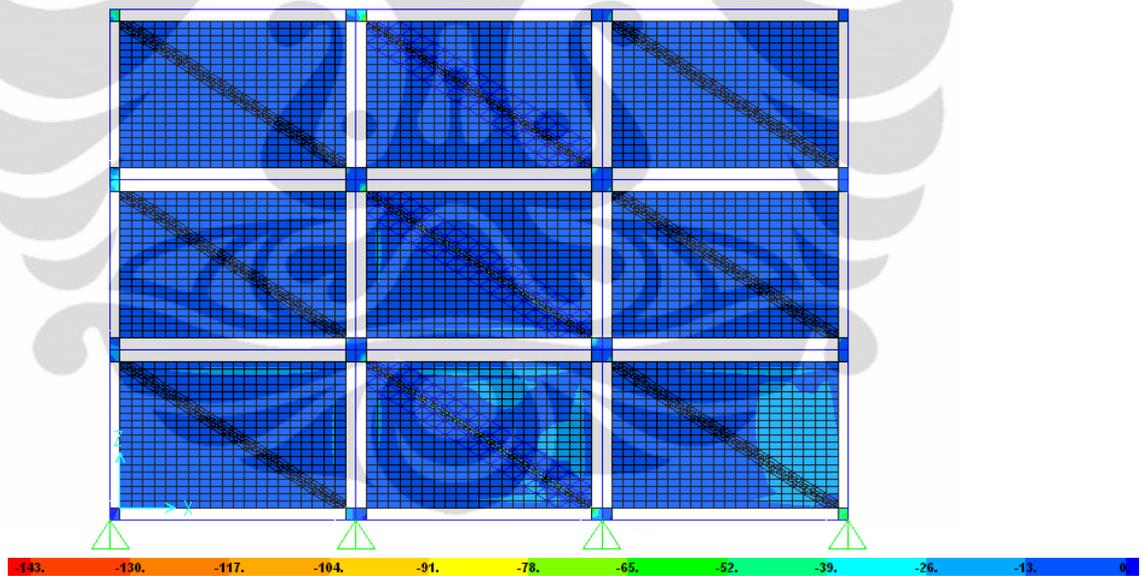
Variasi 10



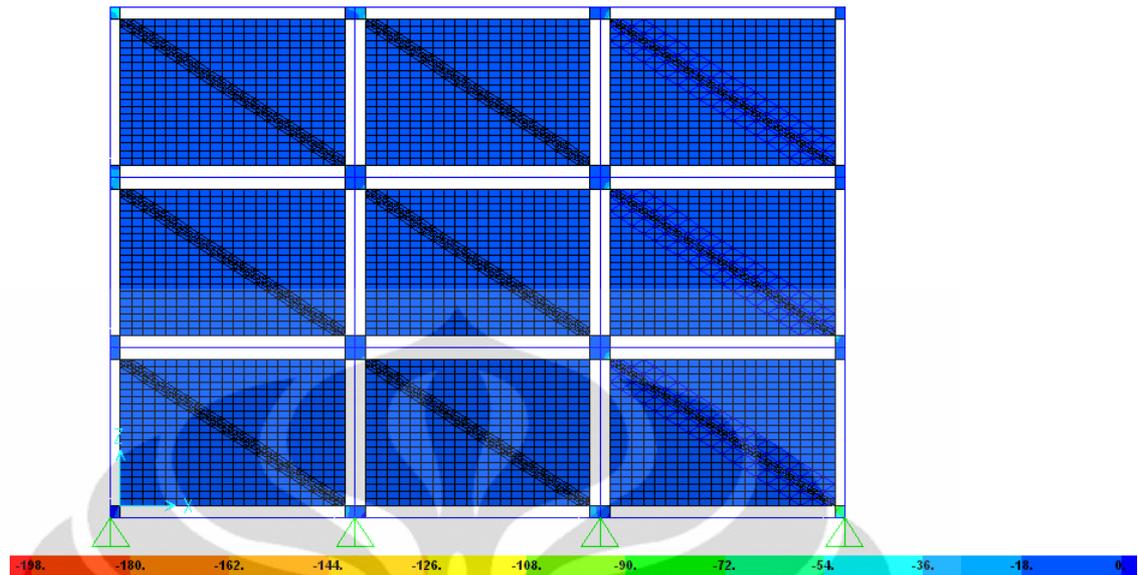
Lampiran 8: Distribusi Tegangan Minimum Model Ruko



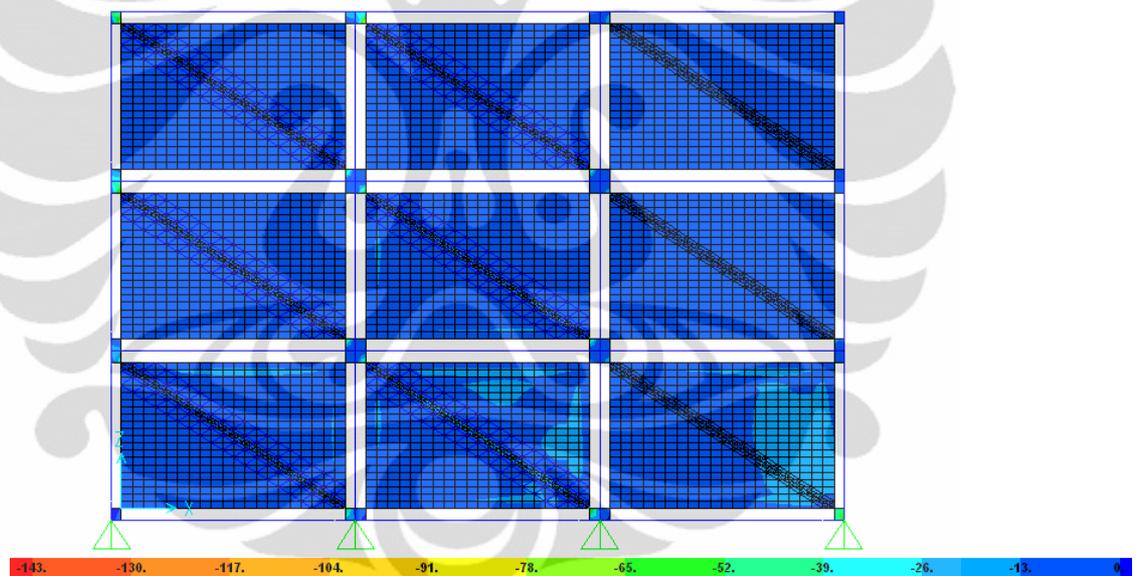
Variasi 1



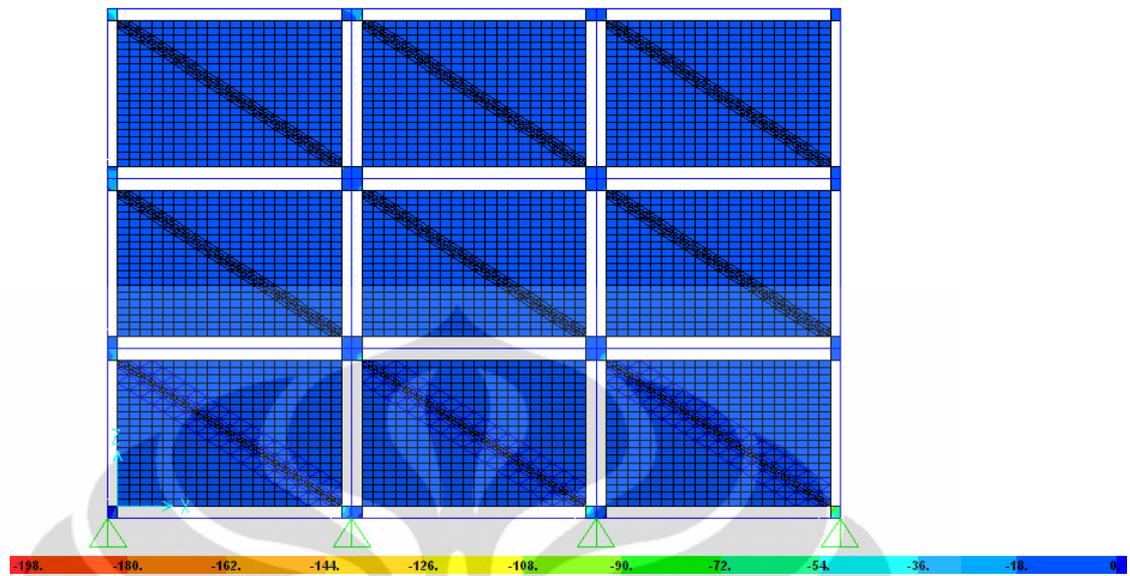
Variasi 2



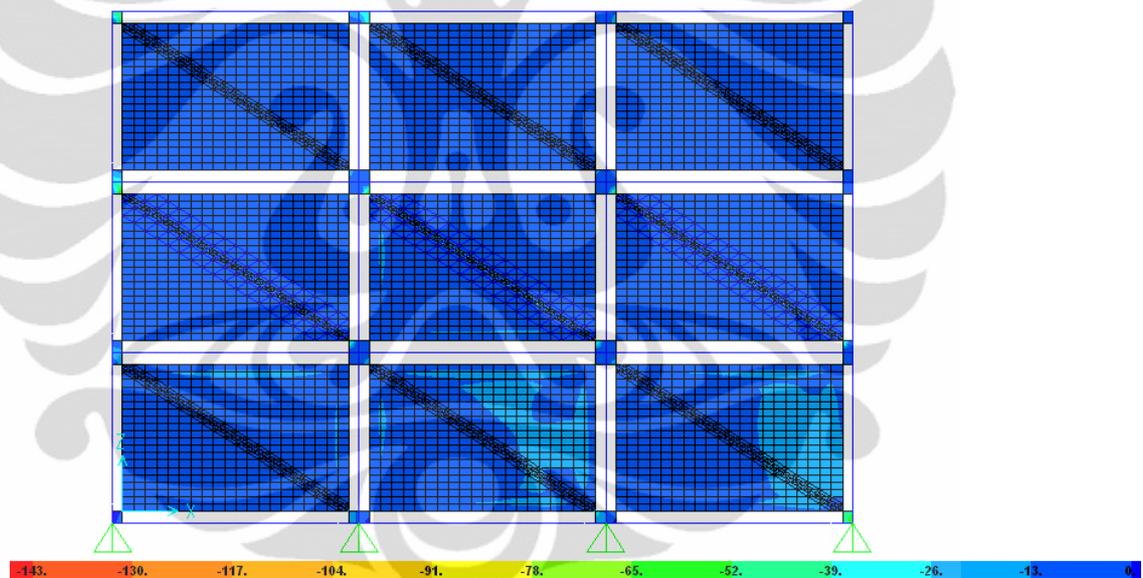
Variasi 3



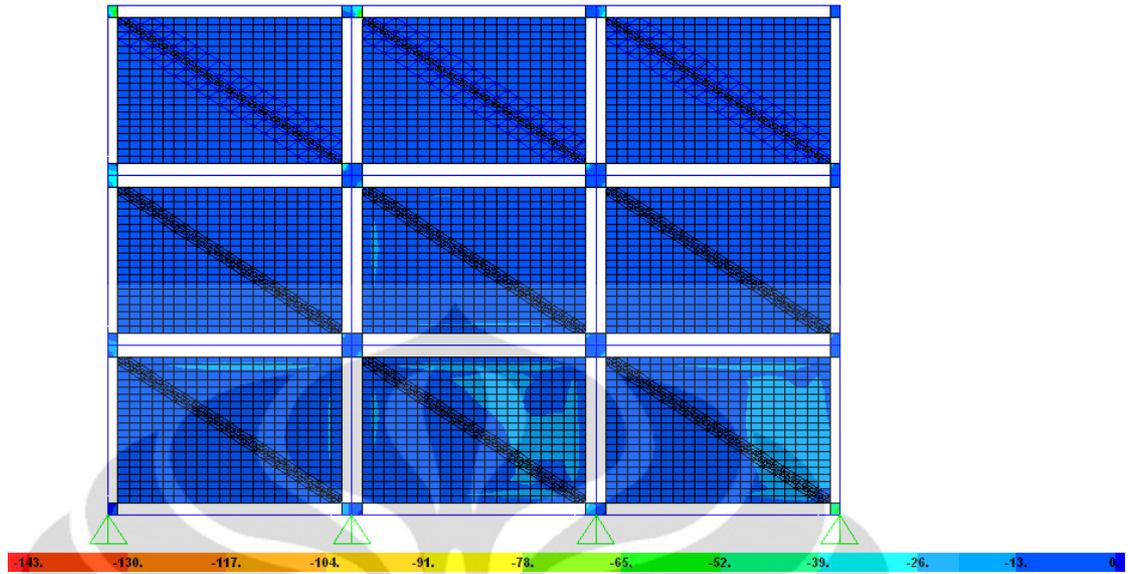
Variasi 4



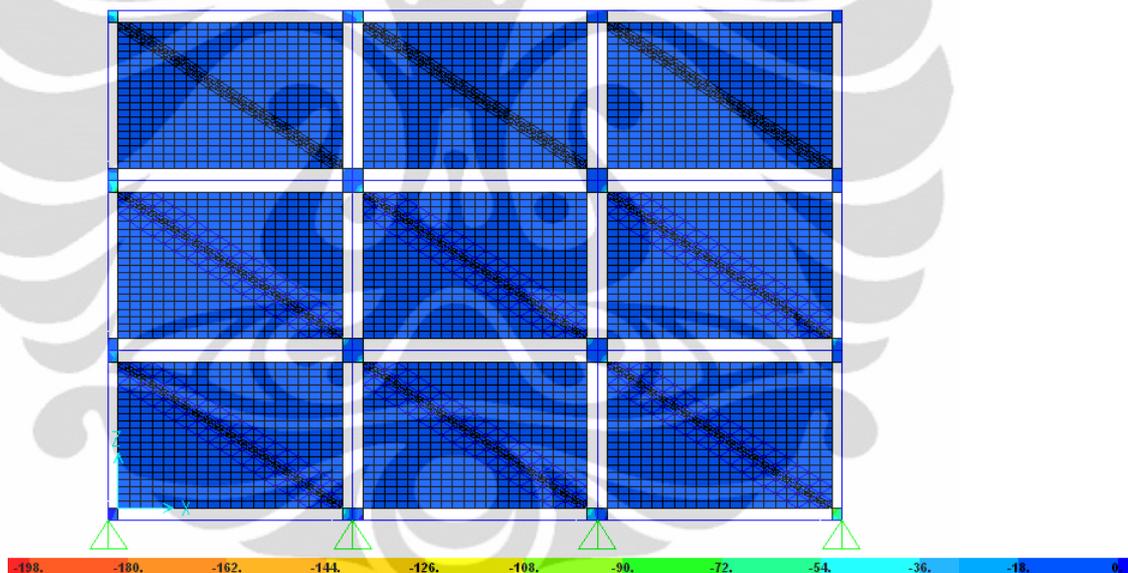
Variasi 5



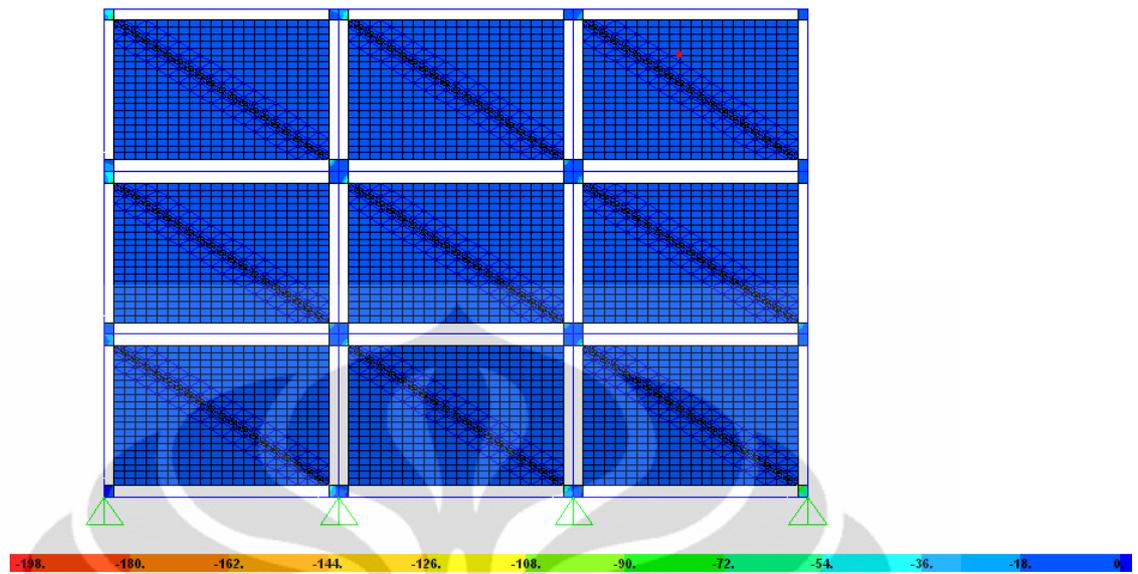
Variasi 6



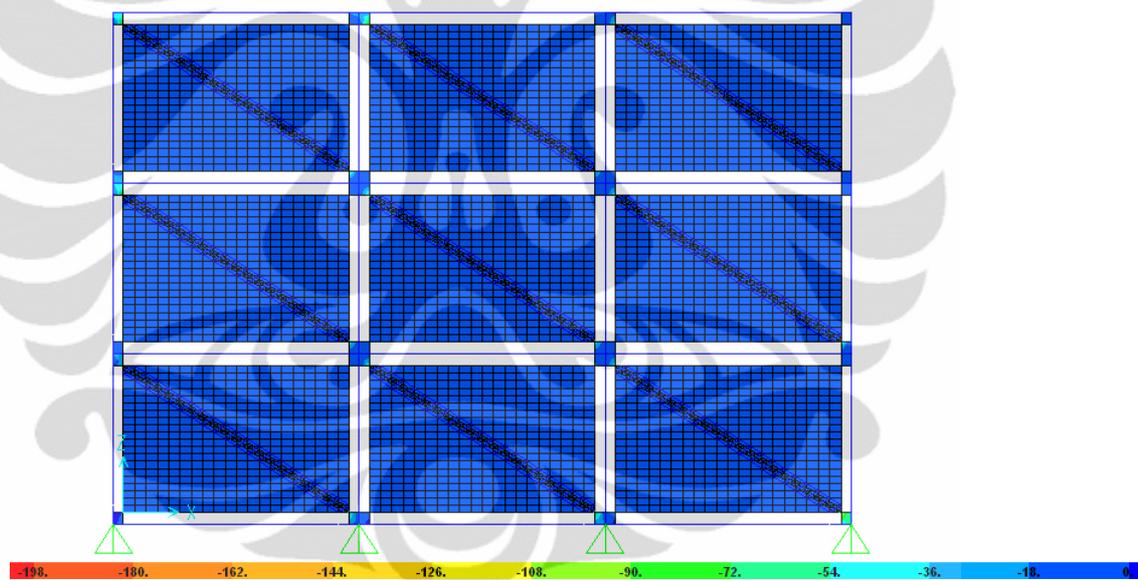
Variasi 7



Variasi 8

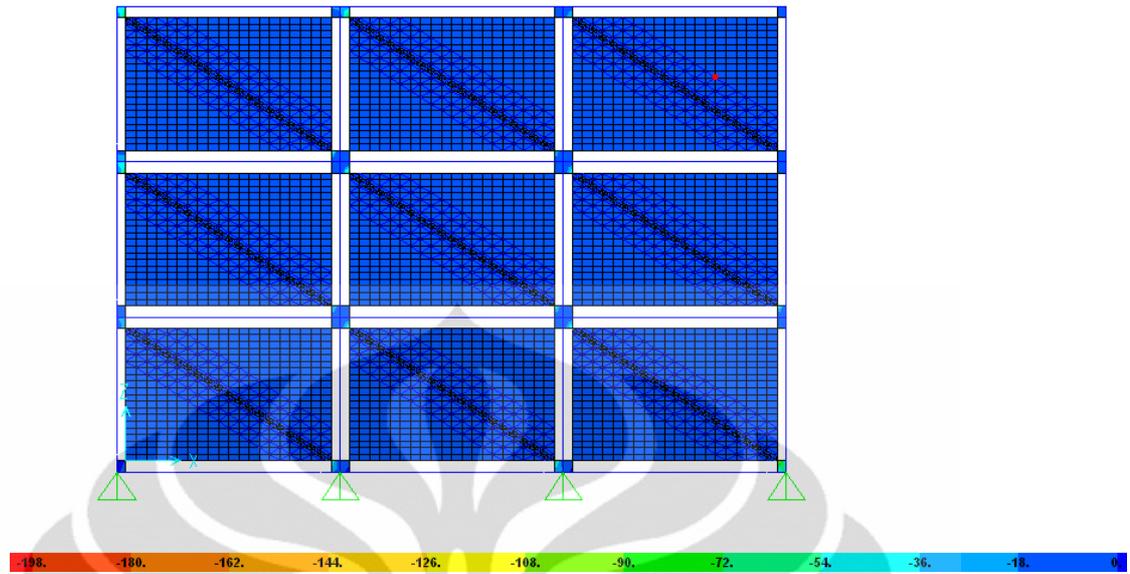


Variasi 9



Variasi 10

(Lanjutan)



Variasi 11