



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI
DENGAN PLESTER**

SKRIPSI

RAIS PAMUNGKAS

0706266563

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

1032/FT.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI
DENGAN PLESTER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RAIS PAMUNGKAS

0706266563

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

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rais Pamungkas

NPM : 0706266563

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rais Pamungkas
NPM : 0706266563
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Dinding Bata yang Diperbaiki dengan Plester

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) Bapak Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) 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.
- (3) Kedua orang tua, kakak, dan adik-adik saya yang memberikan doa, perhatian serta dukungan moral dan material..
- (4) Christy Natalia, Dian Pramitarini, dan Gregory F. Saragih selaku teman satu tim dalam penelitian ini yang telah bekerja sama dengan baik.
- (5) Teman-teman Sipil & Lingkungan 2007, yang selalu memberikan semangat dan doa untuk kelancaran skripsi ini.
- (6) 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, 6 Juni 2011



Penulis

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Rais Pamungkas
NPM : 0706266563
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

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.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok,

Yang menyatakan,



(Rais Pamungkas)

ABSTRAK

Nama : Rais Pamungkas

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Analisis Kinerja Dinding Bata yang Diperbaiki dengan Plester

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Banyak bangunan *non engineer* yang mengalami kerusakan pada dinding batanya akibat terkena beban gempa. Berdasarkan kebiasaan, masyarakat melakukan perbaikan dinding bata yang retak dengan plester tanpa mengetahui kinerja dari perbaikan ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji efek perbaikan dinding bata retak dengan plester. Pemodelan dinding bata dilakukan dengan pendekatan *continuum model* menggunakan perangkat lunak SAP2000 v14.1 yang dianalisis pada batas linier elastis. Elemen *link* digunakan sebagai penghubung dinding bata dengan portal beton.

Dua jenis struktur yang dimodelkan, yaitu struktur dengan satu panel dinding bata dan ruko tiga lantai tiga bentang. Kedua model dikenai beban lateral gempa berdasarkan SNI 03-1726-2002. Efek separasi antara dinding bata dan portal beton dimodelkan dengan melepas elemen *link*. Peningkatan kekuatan dinding bata dianalisis melalui evaluasi tegangan pada dinding bata dan plester sedangkan, perubahan kekakuannya melalui evaluasi karakteristik dinamik struktur. Hasil perbaikan dengan plester menunjukkan peningkatan kekakuan dan kekuatan dinding bata.

Kata Kunci : dinding bata, plester, linier elastis, beban lateral, *continuum model*, separasi, kekuatan, kekakuan.

ABSTRACT

Name : Rais Pamungkas
Major : Civil Engineering
Title : Analysis of Performance of Masonry Wall Repaired with Plaster

Indonesia is a vulnerable region of earthquake. Many non-engineering buildings undergo destructions on their masonry walls due to earthquake induced force. People used to repair the cracked masonry wall using plaster without clearly understanding the performance of such repairment. The aim of this research is to determine the effect of cracked masonry wall repairment using plaster. The modeling of masonry wall was done by continuum model approach using SAP 2000 v14.1 which was analyzed within the elastic linear limit state. The link element was used as the connector between masonry wall and concrete frame.

Two types of structure were modeled, a structure with one masonry wall panel and a three stories three bays store-house building. Both models were induced by lateral load based on SNI 03-1726-2002. The separation effect between masonry wall and concrete frame was modeled by releasing the link element. The increasing on strength of masonry wall was analyzed through a stress evaluation on wall and plaster, though the stiffness change was analyzed through the dynamic properties of the structures. The result of the repair using plaster indicated an increasing in both strength (capacity) and stiffness of masonry wall.

Keywords : masonry wall, plaster, elastic linear, lateral load, continuum model, separation, strength, stiffness

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Hipotesis.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
2 DASAR TEORI	5
2.1 Dinding Bata sebagai Bahan Bangunan	5
2.1.1 Batu Bata.....	5
2.1.1.1 Definisi	5
2.1.1.2 Karakteristik Material.....	5
2.1.2 Kegagalan dan Pola Retak pada Dinding Bata	7
2.1.3 Perbaikan Dinding Bata	9
2.1.4 Pemodelan Dinding Bata	11
2.2 Metode Elemen Hingga.....	12
2.2.1 Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga.....	12
2.2.2 Metode Elemen Hingga untuk elemen <i>Frame</i>	12
2.2.3 Metode Elemen Hingga untuk perilaku <i>plane stress</i>	14
2.2.4 Regangan dan Tegangan	15
2.2.5 <i>Stress Averaging</i>	16
2.3 Analisis Tegangan	16
2.3.1 Perilaku Material.....	16
2.3.2 Hukum Hooke	17
2.3.3 <i>Poisson's Ratio</i>	17
2.3.4 Transformasi Tegangan.....	18
2.3.5 <i>Principal Stresses</i>	19
2.4 Dinamika Struktur	20
2.4.1 Persamaan Dinamik akibat Gempa	20
2.4.2 Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Geratan Bebas.....	20
2.4.3 Analisis Statik Ekuivalen	22
3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Skema Penelitian	25

3.2	Pengetesan Karakteristik Material.....	26
3.3	Properti material	26
3.3.1	Dinding Bata	26
3.3.2	Plester.....	27
3.4	Modelisasi.....	29
3.4.1	Modelisasi Dinding 1B1S	29
3.4.2	Modelisasi Ruko	31
3.5	Variasi Parametrik.....	32
3.6	Pembebanan.....	33
3.6.1	Pembebanan pada Dinding 1B1S.....	33
3.6.2	Pembebanan pada Ruko	34
3.7	Prosedur Analisis.....	40
4	ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1	Dinding Bata 1B1S.....	41
4.1.1	Gaya Dalam Elemen	41
4.1.2	Pengaruh Perbaikan	42
4.1.2.1	Peninjauan Elemen Dinding Bata.....	42
4.1.2.2	Peninjauan Elemen Plester	47
4.1.3	Distribusi Tegangan Akibat Terjadinya Separasi	51
4.2	Dinding pada Ruko (3B3S)	66
4.2.1	Periode Natural dan Gaya Geser Dasar.....	67
4.2.2	Persentase Gaya Geser Dasar yang Diterima Kolom dan Dinding Bata	72
4.2.3	Kekakuan Lateral	76
4.2.4	Panel Dinding.....	84
5	KESIMPULAN DAN SARAN	86
5.1	Kesimpulan.....	86
5.2	Saran	87
	DAFTAR REFERENSI	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Zonasi Gempa Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2002	.....2
Gambar 2. 1	Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial Clay Brick Masonry P.A Hidalgo And C. Luders	.....6
Gambar 2. 2	Kurva Tegangan-Regangan Tekan Concrete Masonry	.....7
Gambar 2. 3	Sliding Failure Dan Shear Failure	.....8
Gambar 2. 4	Model <i>knee-braced frame</i> pada <i>Sliding shear failure</i>	.....9
Gambar 2. 5	Aplikasi <i>Shotcrete</i> Untuk Tes Specimen	.....10
Gambar 2. 6	Kurva specimen sebelum dan sesudah perbaikan dengan menggunakan <i>shotcrete</i>	.....10
Gambar 2. 7	Elemen <i>Frame</i>	.....13
Gambar 2. 8	Beban <i>In-Plane</i>	.....14
Gambar 2. 9	Elemen <i>Plane</i> dan Tegangan pada Elemen <i>Plane</i>	.....15
Gambar 2. 10	Tegangan pada <i>Gauss Points</i> diekstrapolasi ke sisi tepi elemen	....16
Gambar 2. 11	<i>Plane Stress</i> pada Sumbu $x-y$ dan x^2-y^2	.....19
Gambar 2. 12	<i>Principal Stress</i>	.....19
Gambar 3. 1	Alur Pengerjaan Penelitian	.....25
Gambar 3. 2	Pemodelan Dinding 1B1S	.....30
Gambar 3. 3	Pemodelan Dinding 1B1S Retak	.....31
Gambar 3. 4	Pemodelan Ruko 3B3S	.....32
Gambar 3. 5	Pembebanan pada Dinding 1B1S	.....34
Gambar 3. 6	Denah dan Daerah Pembebanan pada Ruko	.....35
Gambar 3. 7	Daerah Pembebanan Portal	.....36
Gambar 3. 8	Spektrum Gempa Wilayah 3	.....39
Gambar 3. 9	Prosedur Analisis Penelitian	.....40
Gambar 4. 1	Letak Elemen Tarik dan Tekan yang Ditinjau	.....42
Gambar 4. 2	Grafik Runtuh Tarik pada Dinding Bata	.....45
Gambar 4. 3	Grafik Runtuh Tekan pada Dinding Bata	.....45
Gambar 4. 4	Grafik Runtuh Tarik pada Plester	.....49
Gambar 4. 5	Grafik Runtuh Tekan pada Plester	.....49
Gambar 4. 6	Modelisasi Terjadinya Separasi dengan Cara Melepas <i>Link</i>	.....51
Gambar 4. 7	Pergerakan Tegangan Maksimum dan Minimum pada Sisi Portal	...53
Gambar 4. 8	Distribusi Tegangan Maksimum pada Sisi A	.....54
Gambar 4. 9	Distribusi Tegangan Minimum pada Sisi B	.....54
Gambar 4. 10	Distribusi Tegangan Minimum pada Sisi C	.....55
Gambar 4. 11	Distribusi Tegangan Maksimum pada Sisi D	.....55
Gambar 4. 12	Distribusi Tegangan pada Seluruh Sisi Portal	.....56
Gambar 4. 13	Distribusi Tegangan Tarik pada Sisi A	.....61
Gambar 4. 14	Distribusi Tegangan Tekan pada Sisi B	.....62
Gambar 4. 15	Distribusi Tegangan Tekan pada Sisi C	.....62
Gambar 4. 16	Distribusi Tegangan Tarik pada Sisi D	.....63
Gambar 4. 17	Distribusi Tegangan pada Seluruh Sisi Portal	.....64
Gambar 4. 18	Grafik Periode Natural untuk Variasi Dinding Pengisi	.....68
Gambar 4. 19	Grafik Periode Natural untuk Variasi Letak	.....69
Gambar 4. 20	Grafik Gaya Geser Dasar untuk Variasi Dinding Pengisi	.....71

Gambar 4. 21 Grafik Gaya Geser Dasar untuk Variasi Letak	71
Gambar 4. 22 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom untuk Variasi Dinding Pengisi.....	74
Gambar 4. 23 Grafik Gaya Geser yang Diterima Dinding Pengisi untuk Variasi Dinding Pengisi	74
Gambar 4. 24 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom untuk Variasi Letak	75
Gambar 4. 25 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Dinding Pengisi untuk Variasi Letak	76
Gambar 4. 26 Grafik Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi	80
Gambar 4. 27 Grafik Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Letak.....	81
Gambar 4. 28 Grafik Kekakuan Struktur untuk Variasi Dinding Pengisi	83
Gambar 4. 29 Grafik Kekakuan Struktur untuk Variasi Letak	83

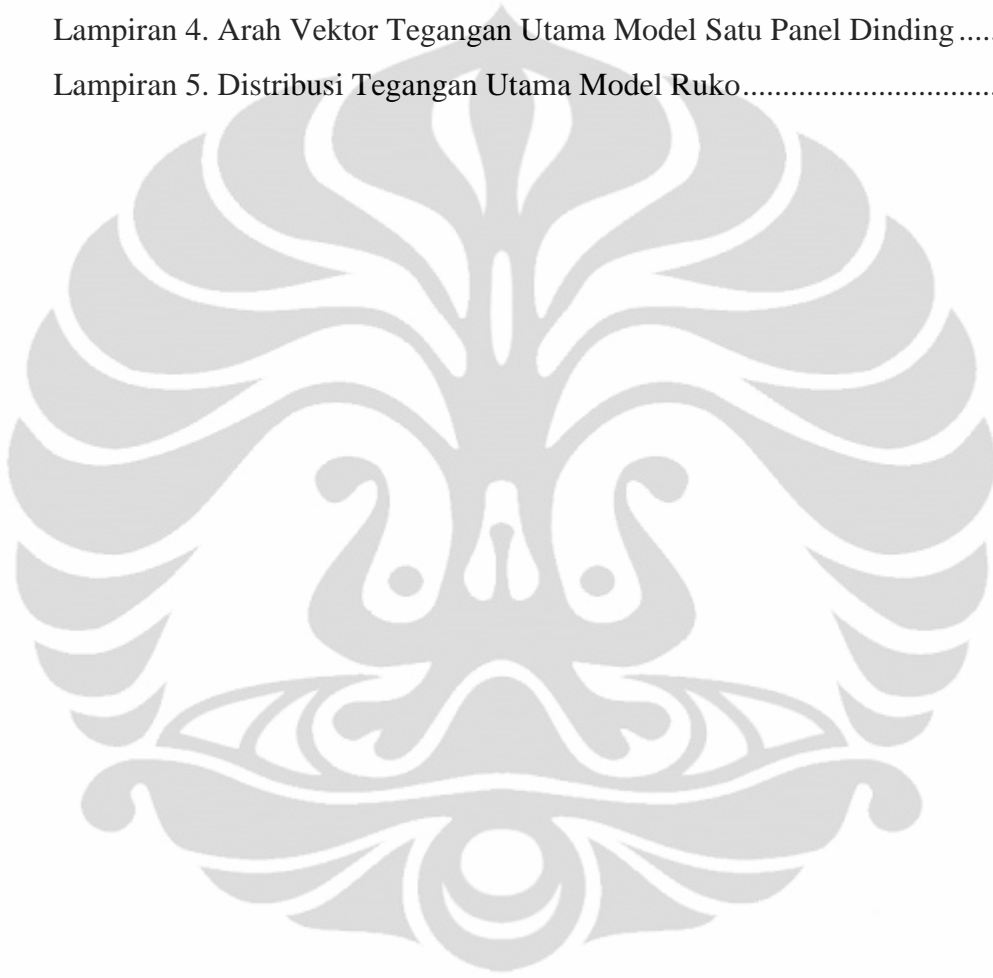


DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Variasi Parameter Perbaikan.....	33
Tabel 3. 2 Variasi Letak dan Perbaikan	33
Tabel 3. 3 Pembebanan pada Portal dengan Dinding sebagai Beban	37
Tabel 3. 4 Pembebanan pada Portal dengan Dinding sebagai Komponen Struktural.....	37
Tabel 3. 5 Berat Bangunan Lantai 1	38
Tabel 3. 6 Berat Bangunan Lantai 2	38
Tabel 3. 7 Berat Bangunan pada Atap	38
Tabel 4. 1 Gaya yang Dibutuhkan Sampai elemen di Bagian Dinding Bata Gagal	43
Tabel 4. 2 Gaya yang Dibutuhkan Sampai elemen di Bagian Plester Gagal	47
Tabel 4. 3 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN.....	52
Tabel 4. 4 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan var-1.....	60
Tabel 4. 5 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan var-2.....	60
Tabel 4. 6 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan var-3.....	60
Tabel 4. 7 Periode Natural untuk Variasi Dinding Pengisi.....	67
Tabel 4. 8 Periode Natural untuk Variasi Letak.....	67
Tabel 4. 9 Gaya Geser Dasar untuk Variasi Dinding Pengisi.....	70
Tabel 4. 10 Gaya Geser Dasar untuk Variasi Letak.....	70
Tabel 4. 11 Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom dan Dinding Pengisi untuk Variasi Dinding Pengisi	72
Tabel 4. 12 Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom dan Dinding Pengisi untuk Variasi Letak.....	73
Tabel 4. 13 Gaya Statik Ekuivalen dan Lendutan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi.....	77
Tabel 4. 14 Gaya Statik Ekuivalen dan Lendutan Tiap Lantai untuk Variasi Letak	77
Tabel 4. 15 Gaya Geser Lantai dan <i>Drift</i> tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi.....	78
Tabel 4. 16 Gaya Geser Lantai dan <i>Drift</i> tiap Lantai untuk Variasi Letak	78
Tabel 4. 17 Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi	79
Tabel 4. 18 Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Letak	79
Tabel 4. 19 Kekakuan Struktur untuk Variasi Dinding Pengisi.....	81
Tabel 4. 20 Kekakuan Struktur untuk Variasi Letak	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Faktor C sesuai SNI 03-1736-2002	90
Lampiran 2. Beban Gempa Nominal Setiap Lantai Sesuai SNI 03-1736-2002 dan Simpangan Tiap Lantai	90
Lampiran 3. Distribusi Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding	92
Lampiran 4. Arah Vektor Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding	112
Lampiran 5. Distribusi Tegangan Utama Model Ruko.....	142



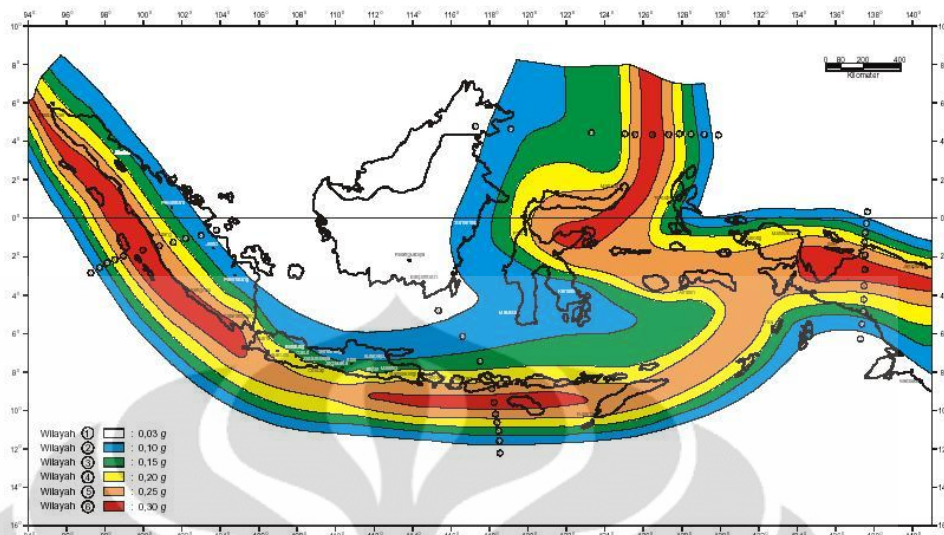
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bata merah merupakan salah satu material yang digunakan dalam suatu bangunan sebagai dinding pengisi struktur. Bata merah ini digunakan karena memiliki sifatnya yang ekonomis, mudah didapat, dan tahan terhadap cuaca. Pada umumnya dinding bata tidak diperhitungkan sebagai kesatuan dari struktur bangunan (non-struktural), melainkan hanya sebagai dinding pengisi yang bebannya akan disalurkan ke portal. Hal ini bertentangan dengan kenyataannya yang mana dinding bata sebenarnya dapat merubah perilaku dari struktur. Dinding bata ini pada dasarnya akan memberikan sumbangan kekakuan yang cukup berarti pada struktur, terutama untuk menahan gaya lateral. Gaya lateral yang sangat dominan yang membebani suatu struktur bangunan yaitu gaya gempa.

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap gempa karena terletak dalam pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Intensitas gempa di Indonesia ini sering terjadi baik yang berskala kecil maupun berskala besar. Kejadian ini dapat dilihat dari tahun 2004 sampai 2010. Terdapat beberapa gempa berskala besar yang dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan bahkan menimbulkan korban jiwa. Sebagai contoh gempa di Aceh pada tahun 2004, gempa di Padang pada tahun 2009, dan yang terakhir gempa di Mentawai pada tahun 2010.



Gambar 1. 1 Peta Zonasi Gempa Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2002

Kerusakan struktur ini sering terjadi pada bangunan yang tidak simetris, sebagai contoh bangunan ruko. Ketidaksimetrisan ini merupakan salah satu penyebab terjadinya kerusakan struktur yang terkena beban gempa. Selain itu bangunan-bangunan *non-engineer* (rumah) juga banyak terjadi kerusakan pada dinding batanya akibat adanya gempa.

Melihat kondisi ekonomi Indonesia yang tidak cukup baik maka diperlukan adanya solusi untuk menangani permasalahan di atas. Salah satu solusi untuk mengatasinya tanpa memerlukan biaya yang cukup tinggi yaitu dilakukan perbaikan pada dinding yang retak ini. Pada umumnya masyarakat Indonesia sudah melakukan perbaikan dinding yang retak menggunakan plesteran biasa. Akan tetapi secara penelitian hal ini belum pernah dilakukan. Oleh karena itu pada penelitian ini ingin mempelajari seberapa besar dan efektif perbaikan dinding retak dengan menggunakan plesteran.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui dampak atau kinerja dinding bata yang retak akibat terkena gempa dan diperbaiki dengan plester.

1.3 Hipotesis

Dalam penelitian ini akan terjadi peningkatan kinerja atau *performance* yang signifikan dari perbaikan dinding bata yang diperbaiki dengan plester.

Dengan kata lain perbaikan ini akan menambah peningkatan kekakuan dan kekuatan struktur.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Struktur yang dibahas adalah bangunan rumah toko (ruko) tiga tingkat.
2. Material yang digunakan adalah beton bertulang (portal), bata (dinding), dan plester.
3. Sistem struktur menggunakan portal dengan dinding pengisi bata yang dimodelkan dengan metode *Continuum Model*.
4. Gaya yang diberikan merupakan gaya lateral *in-plane*.
5. Wilayah gempa zona tiga.
6. Model sampai bata retak.
7. Analisis menggunakan bantuan program komputer SAP2000 v.14.1.

1.5 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Studi literatur. Dalam hal ini penulis mencari dan mempelajari berbagai macam sifat mengenai dinding bata pada struktur, mempelajari pola retak dinding bata, mempelajari teori dinamik, dan juga mengumpulkan data-data yang dibutuhkan.
2. Melakukan pemrograman dengan menggunakan bantuan program SAP2000 v.14.1. Melakukan variasi data sebagai *input* untuk perbandingan hasil.
3. Memperoleh *output* program SAP2000 v.14.1 berupa parameter struktur yaitu, periode alami, *simpangan*, gaya geser dasar, dan gaya dalam portal maupun dinding bata hasil analisis statik ekuivalen.
4. Analisis. Penulis menganalisis dan membandingkan *output* program.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan yaitu:

BAB 1 : Pendahuluan

Bab pendahuluan ini berisi Latar Belakang, Tujuan Penelitian, Hipotesis, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB 2 : Dasar Teori

Bab ini menguraikan teori-teori yang digunakan untuk menunjang penelitian ini yaitu mengenai dinding bata, dinamika struktur, dan *finite element method*.

BAB 3 : Metodologi Penelitian

Bab ini membahas tentang runtutan hal-hal yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB 4 : Analisis dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang hasil dari data-data yang diperoleh dari pemodelan struktur dan beserta analisisnya. Hasil-hasil yang ditampilkan berupa grafik-grafik gaya dalam elemen pengisi, gaya dalam struktur, dan respon struktur.

BAB 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan beserta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Dinding Bata sebagai Bahan Bangunan

2.1.1 Batu Bata

2.1.1.1 Definisi

Menurut SNI-15-2094-1991, 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 hancur lagi bila direndam dalam air. 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 plester 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.

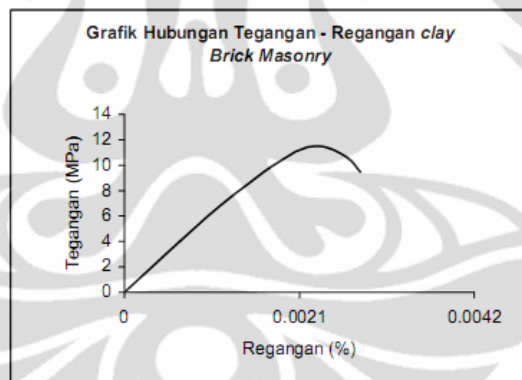
Tabel 2. 2 Kuat Tekan Pasangan Bata Merah

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

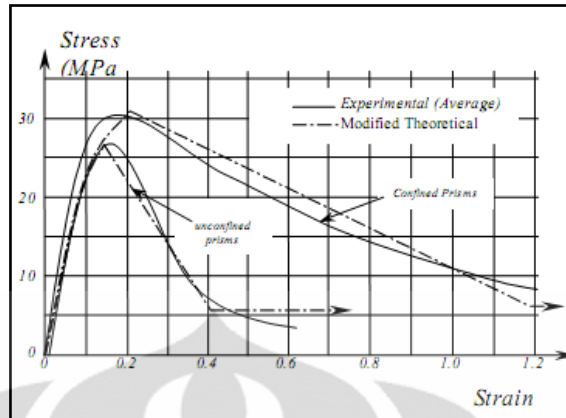
c. Kuat Tarik

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. 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. Ada dua jenis kegagalan pada dinding bata yang berkaitan dengan arah gaya yang bekerja.

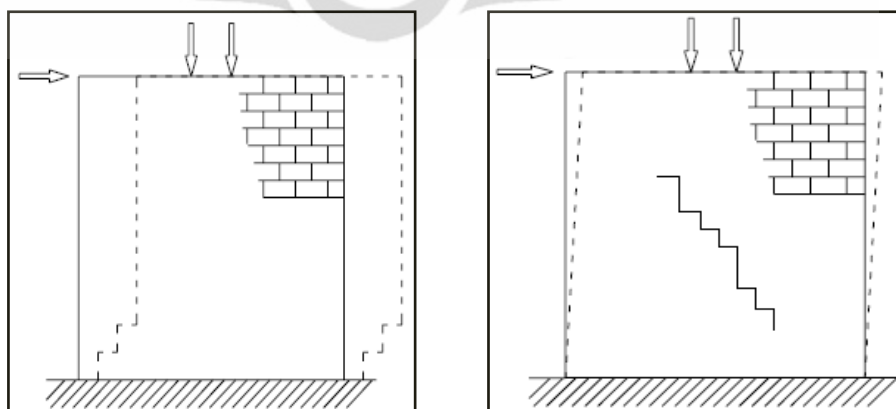
- a) *Out-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus pada bidang dinding. Dinding bata akan mengalami keruntuhan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*
- b) *In-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja sejajar pada bidang dinding. 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:
 - o *Tension Failure Mode*: Kegagalan tarik dari kolom yang tidak kuat menahan tarik akibat momen

- *Sliding shear failure*: Kegagalan geser pada dinding sepanjang arah horisontal 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.

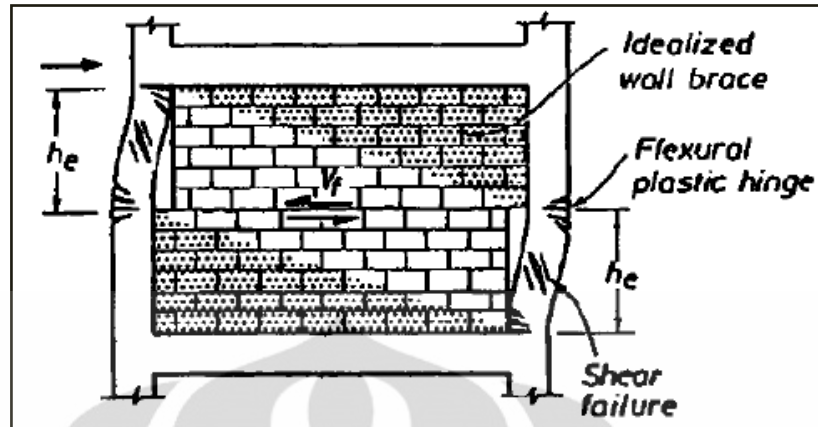
- *Sliding shear failure*

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 pengisi 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 *diagonal strut* 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

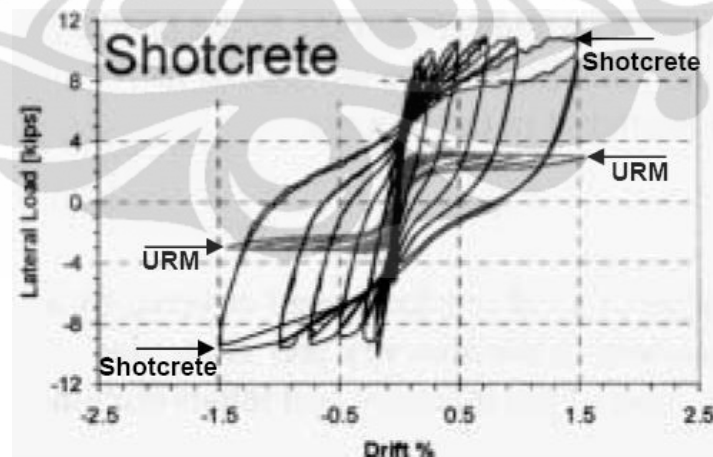
Mengacu pada ulasan yang dilakukan oleh M. Elgawadi, dkk pada *international Brick and block masonry conference* ke 13 tahun 2004, ada beberapa cara teknik konvensional yang kerap digunakan dalam perbaikan dan perkuatan *un-reinforced masonry* (URM) terhadap gaya seismik. Salah satunya adalah metode pelapisan permukaan dinding (*surface treatment*). Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan dan terus berkembang. Pelapisan permukaan dinding dibedakan dalam beberapa metode, salah satunya seperti *shotcrete*.

Shotcrete adalah metode perbaikan dinding dengan menyemprotkan 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 maksimum 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 maksimum pada dinding yang telah diperbaiki dengan faktor 3.



Gambar 2. 5 Aplikasi *Shotcrete* Untuk Tes Specimen

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



Gambar 2. 6 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.

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 Mode*

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

2.2 Metode Elemen Hingga

2.2.1 Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga

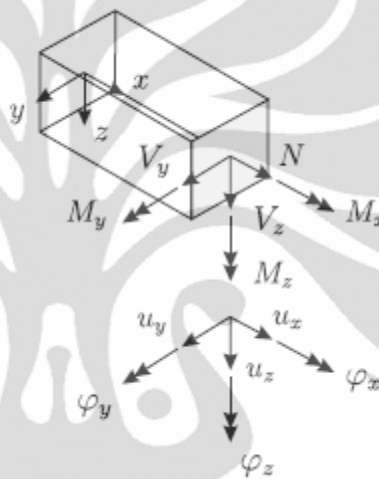
Menganalisa struktur dengan metode elemen hingga pada dasarnya adalah membatasi (*constraining*) struktur hingga menjadi sesuai dengan bentuk-bentuk (*shapes*) yang ditunjukkan oleh fungsi-fungsi bentuk (*shape functions*). Akurasi metode elemen hingga sangat bergantung pada bagaimana program (yang digunakan) 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.

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.



Gambar 2. 7 Elemen *Frame*

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

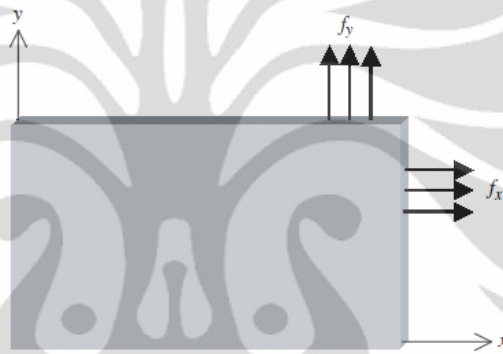
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L}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

dimana BNE adalah Beban Nodal Ekuivalen. 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 dianalisis sebagai elemen dua dimensi dengan beban *in-plane*.

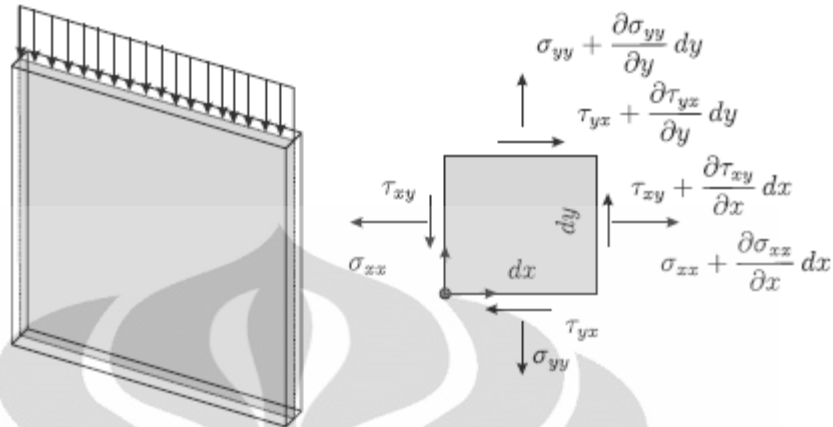


Gambar 2. 8 Beban *In-Plane*

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 praktik rekayasa adalah linier. 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.

2.2.4 Regangan dan Tegangan



Gambar 2. 9 Elemen *Plane* dan Tegangan pada Elemen *Plane*

Deformasi pada sebuah pelat dideskripsikan dengan vektor perpindahan:

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

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.

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} \quad (2.3)$$

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

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

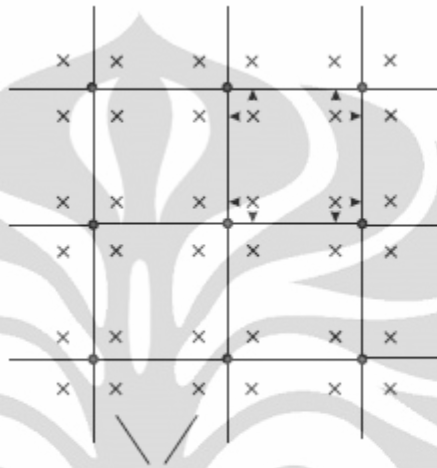
sehingga untuk mendapatkan regangan dari tegangan, digunakan perumusan:

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

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 (diutar 45°).

2.2.5 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. 10 Tegangan pada *Gauss Points* diekstrapolasi ke sisi tepi elemen

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.

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.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.6)$$

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.

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.

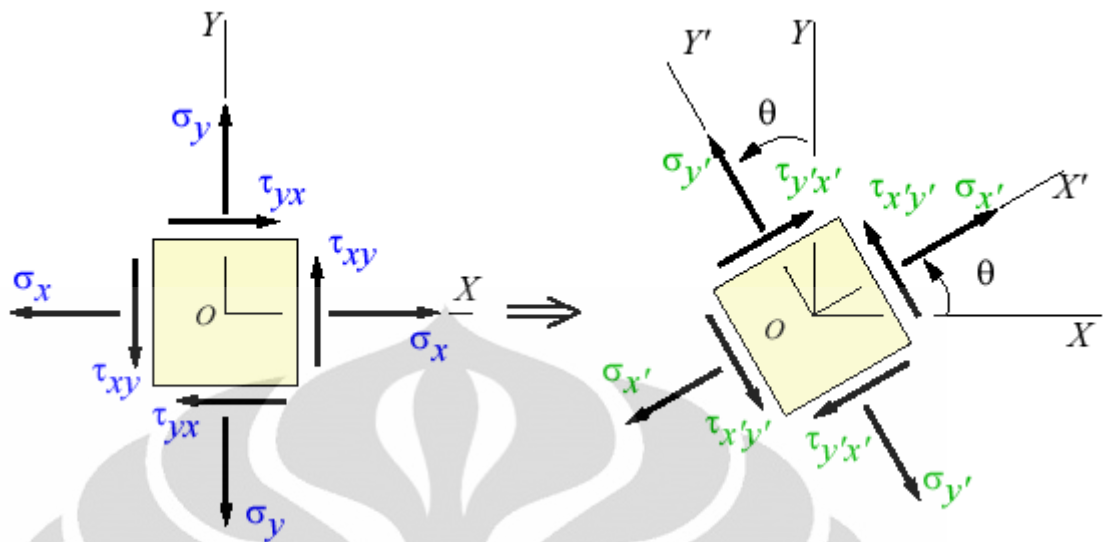
$$\nu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad (2.7)$$

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.

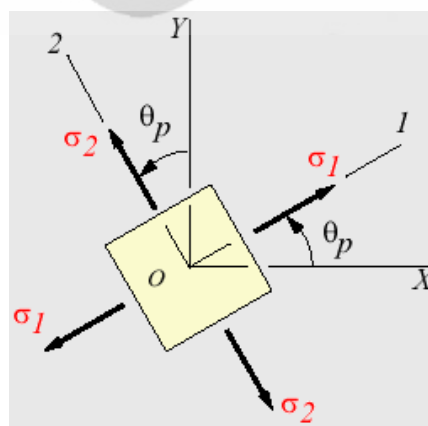
Tegangan normal dan geser ini merupakan tegangan-tegangan yang bekerja pada bidang x-y. Apabila tegangan-tegangan ini ditentukan pada kondisi elemen yang memiliki orientasi berbeda, maka tiga komponen tegangan ini didefinisikan sebagai σ_x , σ_y , dan τ_{xy} . Dengan kata lain, keadaan dari *plane stress* 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. 11 *Plane Stress* pada Sumbu x - y dan x' - y'

2.3.5 *Principal Stresses*

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. 12 *Principal Stress*

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. Gaya inersia selalu hadir berpasangan pada arah berlawanan dengan deformasi horisontal. 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:

$$[m] \{\ddot{u}\} + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.8)$$

$[m]$ 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:

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

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

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

$\{\ddot{u}_g\}$ 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:

$$\{\ddot{u}_g\} = \{i\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.11)$$

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

$$[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} = 0$$

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

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

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

jika dikombinasikan dengan persamaan sebelumnya, maka akan menghasilkan persamaan:

$$\{u\}(t) = \Phi_n (A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t) \quad (2.12)$$

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

$$\begin{aligned}\{u\}(t) &= \{\Phi_n\} \sin \omega t \\ \{\ddot{u}\}(t) &= -\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} &= 0 \\ [m](-\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t) + [k] \{\Phi_n\} \sin \omega t &= 0 \\ ([k] - \omega^2 [m]) \{\Phi_n\} \sin \omega t &= 0\end{aligned}$$

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:

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

Memiliki solusi nontrivial, sehingga:

$$\det ([k] - \omega_n^2 [m]) = 0 \quad (2.13)$$

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 memprediksi 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:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.14)$$

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.

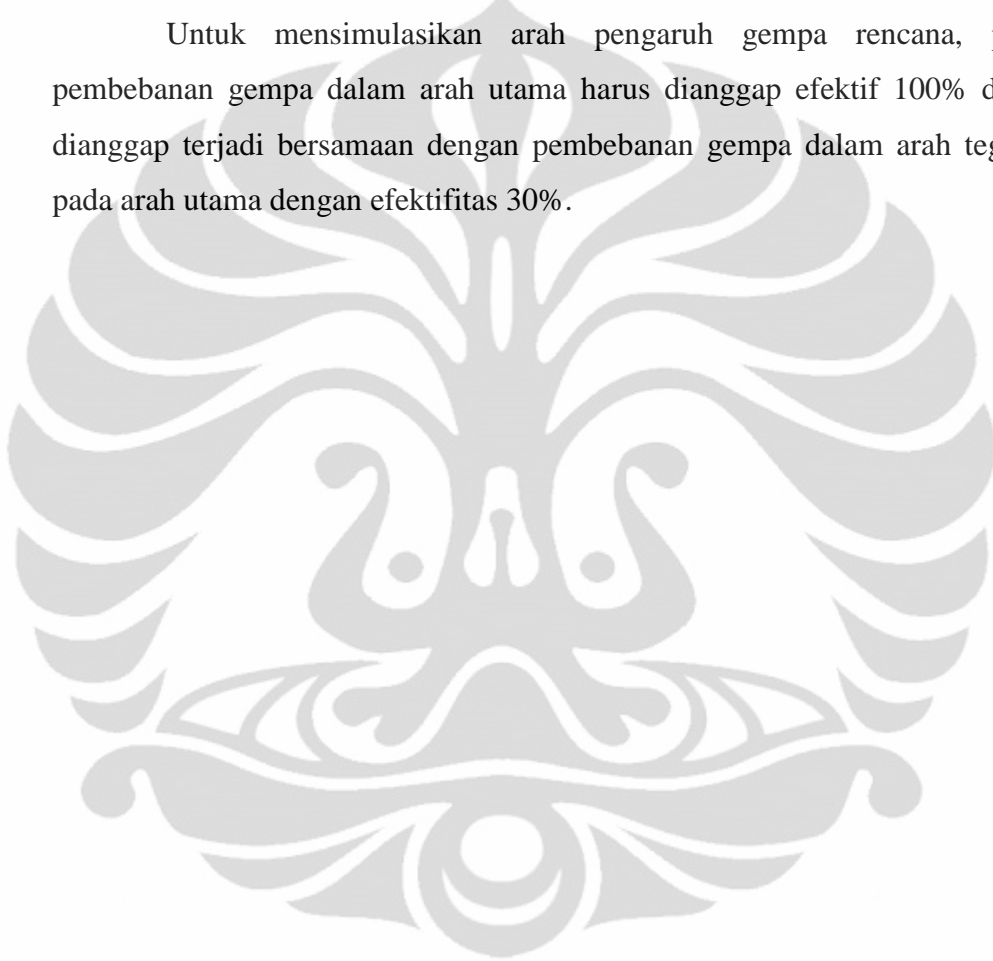
Nilai C_1 merepresentasikan percepatan tanah pada daerah tempat struktur berdiri dalam satuan gravitasi dan dependen terhadap nilai periode natural struktur. Periode natural struktur (T_1) adalah periode ketika struktur mengalami getaran bebas. Nilai tersebut sangat bergantung pada massa dan kekakuan 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 menagkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i mengikuti bentuk dari pola ragam getar mode pertama.

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2.15)$$

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 horisontal 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 statik ekuivalen menurut persamaan di atas.

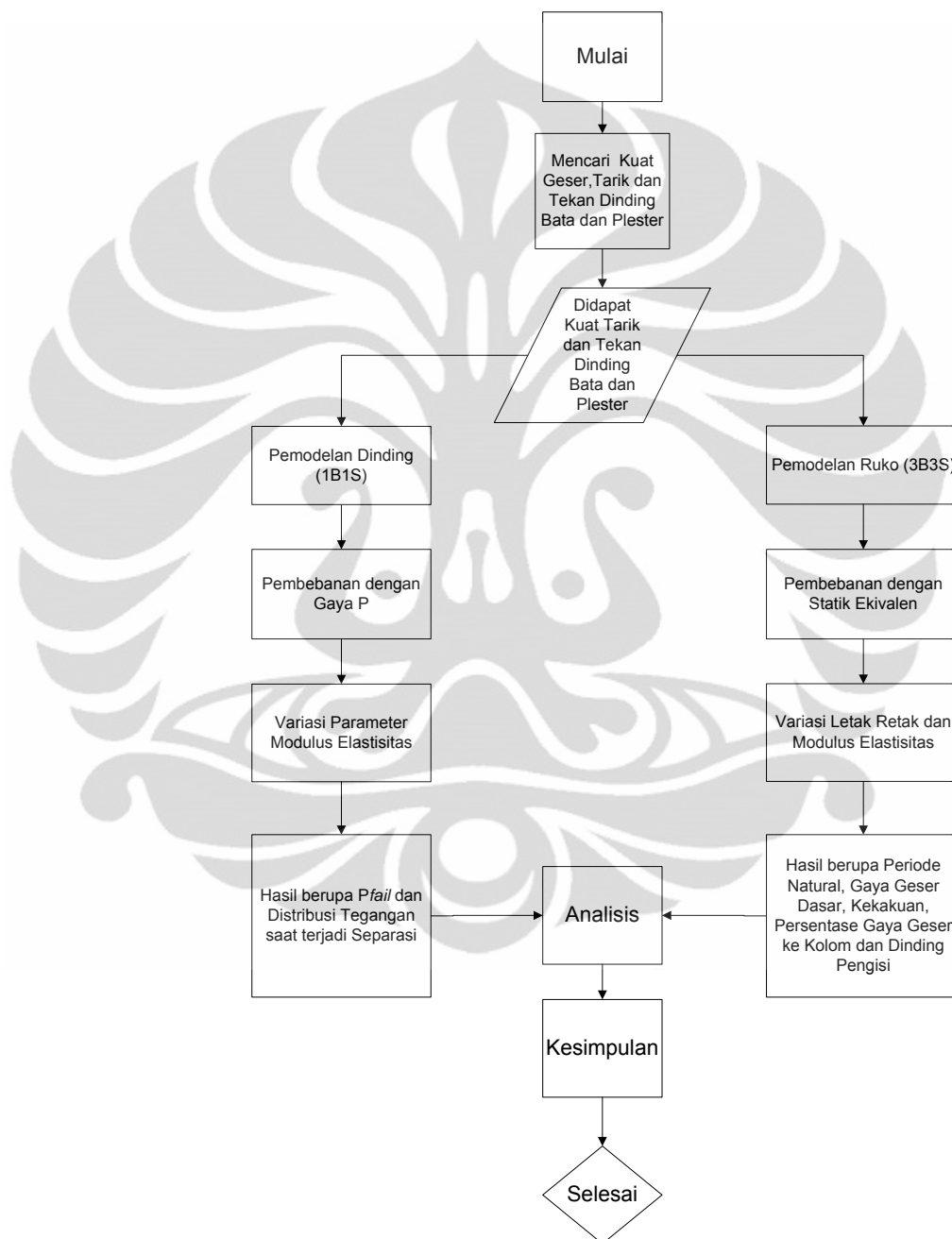
Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama dengan efektifitas 30%.



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Penelitian

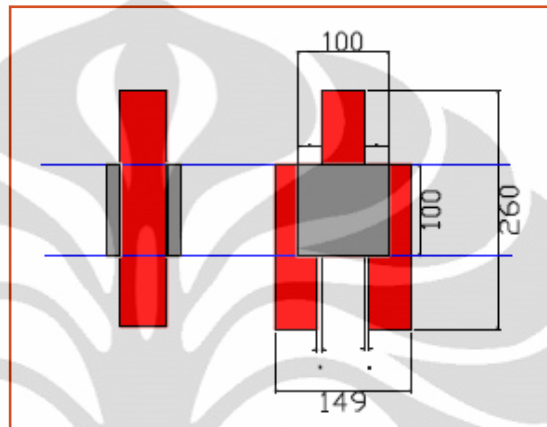
Alur Pengerjaan Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Penelitian

3.2 Pengetesan Karakteristik Material

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 terhadap Bata

3.3 Properti material

3.3.1 Dinding Bata

Dinding bata yang digunakan dalam penelitian ini merupakan dinding bata yang pada umumnya digunakan di Indonesia, berikut merupakan properti materialnya.

- Modulus Elastisitas : 3201,86 MPa
- Poisson's Ratio : 0,19
- Massa Jenis : 1700 kg/m³
- Tebal : 15 cm
- Kuat Tekan : 11,05 MPa
- Kuat Tarik : 0,219 MPa

Kuat tarik dinding bata didapatkan melalui pendekatan teoritis dengan rumus *direct tension test* untuk beton. Pendekatan untuk kuat tarik dinding bata dengan beton ini dilakukan karena dinding bata memiliki sifat getas seperti halnya beton. Beton yang memiliki sifat getas mempunyai persamaan kuat tarik yang mengandung unsur akar kuat tekannya yang dikalikan dengan suatu konstanta.

Begitu pula untuk modulus elastisitasnya yang mengandung unsur akar kuat tekannya yang dikalikan dengan suatu konstanta.

$$f_{t\text{Beton}} = \alpha_1 \sqrt{f_c'} \quad \text{dimana } \alpha_1 = 0,33 \lambda \text{ dan } \lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$E_{\text{Beton}} = \beta_1 \sqrt{f_c'} \quad \text{dimana } \beta_1 = 4700$$

Dengan memperhatikan persamaan sifat getasnya antara dinding bata dan beton ini maka dinding bata pun memiliki persamaan yang serupa dengan beton, yaitu kuat tarik dan modulus elastisitasnya merupakan akar dari kuat tekannya.

$$f_{t\text{Bata}} = \alpha_2 \sqrt{f_b}$$

$$E_{\text{Bata}} = \beta_2 \sqrt{f_b} \quad \text{dimana } E_{\text{bata}} = 3201,86 \text{ MPa}$$

Dengan demikian maka dilakukan komparasi antara beton dan dinding bata yang memiliki persamaan yang serupa ini baik untuk modulus elastisitasnya dan juga kuat tariknya. Maka akan didapatkan perbandingannya, yaitu:

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{E_{\text{Bata}}}{E_{\text{Beton}}} \sqrt{\frac{f_c'}{f_b}}$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{f_{t\text{Bata}}}{f_{t\text{Beton}}} \sqrt{\frac{f_c'}{f_b}}$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (3.1)$$

Jika $f_c' = f_b = 11,05 \text{ MPa}$, maka

$$\frac{f_{t\text{Bata}}}{f_{t\text{Beton}}} = \frac{E_{\text{Bata}}}{E_{\text{Beton}}} = 0,2$$

Dari perbandingan di atas dapat diketahui persentase kuat tarik dari dinding bata yang dibandingkan dengan kuat tarik beton, yaitu

$$f_{t\text{Bata}} = 20\% f_{t\text{Beton}} \quad (3.2)$$

Maka didapatkan,

$$f_{t\text{Bata}} = 0,219 \text{ MPa}$$

3.3.2 Plester

Plester yang digunakan dalam pemodelan ini memiliki perbandingan berat semen dengan pasir, yaitu 1:4. Berikut merupakan karakteristik material dari plester yang akan digunakan.

- Modulus Elastisitas : 5130,58 MPa
- *Poisson's Ratio* : 0,2
- Massa Jenis : 105 kg/m³
- Tebal : 2 x 2,5 cm
- Kuat Tekan : 17,64 MPa
- Kuat Tarik : 0,360 MPa

Modulus elastisitas plester didapatkan melalui hukum Hooke, yaitu

$$\Delta = \frac{PL}{EA} \quad (3.3)$$

Hal ini dilakukan karena gaya yang diterapkan hanya gaya aksial. Selain itu juga dengan memperhatikan kesetimbangan dan kompatibilitas dari dinding bata ini maka dapat digunakan persamaan ini. Oleh karena itu maka didapatkan modulus elastisitas plester $E_p = 5130,58 \text{ MPa}$

Kuat tarik plester juga didapatkan dengan pendekatan yang sama dengan kuat tarik dinding bata karena memiliki sifat yang getas. Beton yang memiliki sifat getas mempunyai persamaan kuat tarik yang mengandung unsur akar kuat tekannya yang dikalikan dengan suatu konstanta. Begitu pula untuk modulus elastisitasnya yang mengandung unsur akar kuat tekannya yang dikalikan dengan suatu konstanta.

$$f_{t_{Beton}} = \alpha_1 \sqrt{f'_c} \quad \text{dimana } \alpha_1 = 0,33 \lambda \text{ dan } \lambda = 1 \text{ (beton normal)}$$

$$E_{Beton} = \beta_1 \sqrt{f'_c} \quad \text{dimana } \beta_1 = 4700$$

Dengan memperhatikan persamaan sifat getasnya antara plester dan beton ini maka dinding bata pun memiliki persamaan yang serupa dengan beton, yaitu kuat tarik dan modulus elastisitasnya merupakan akar dari kuat tekannya.

$$f_{t_{Plester}} = \alpha_2 \sqrt{f_p}$$

$$E_{Plester} = \beta_2 \sqrt{f_p} \quad \text{dimana } E_{Plester} = 5130,58 \text{ MPa}$$

Dengan demikian maka dilakukan komparasi antara beton dan plester yang memiliki persamaan yang serupa ini baik untuk modulus elastisitasnya dan juga kuat tariknya. Maka akan didapatkan perbandingannya, yaitu:

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{E_{Plester}}{E_{Beton}} \sqrt{\frac{f_c'}{f_p}}$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{f_{tPlester}}{f_{tBeton}} \sqrt{\frac{f_c'}{f_p}}$$

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (3.4)$$

Jika $f_c' = f_p = 17,64$ MPa, maka

$$\frac{f_{tPlester}}{f_{tBeton}} = \frac{E_{Plester}}{E_{Beton}} = 0,26$$

Dari perbandingan di atas dapat diketahui persentase kuat tarik dari plester yang dibandingkan dengan kuat tarik beton, yaitu

$$f_{tPlester} = 26\% f_{tBeton} \quad (3.5)$$

Maka didapatkan,

$$f_{tPlester} = 0,36 \text{ MPa}$$

3.4 Modelisasi

Pada umumnya dalam memodelkan dinding bata dilakukan pemodelan dengan menggunakan *diagonal strut*, akan tetapi dalam penelitian ini akan memodelkan pula retak yang terjadi. Dengan pertimbangan tersebut maka untuk memodelkan retak dari dinding digunakan metode analisis menggunakan *continuum model*.

3.4.1 Modelisasi Dinding 1B1S

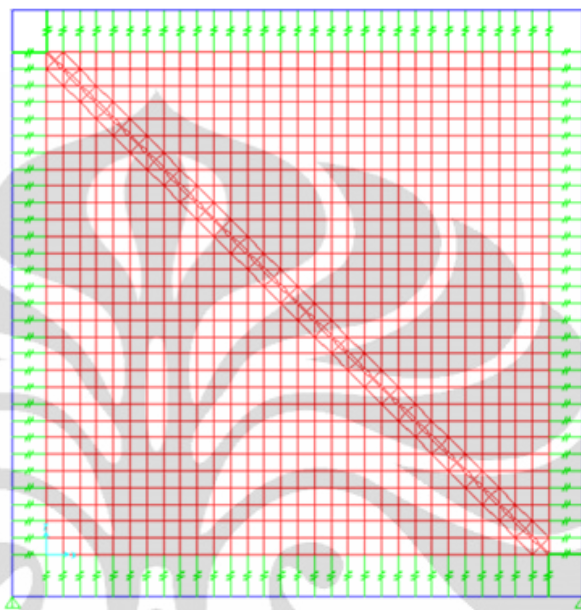
Pemodelan dinding bata untuk 1B1S ini menggunakan ukuran $3 \times 3 \text{ m}^2$.

Berikut merupakan spesifikasi dari dinding 1B1S yang digunakan.

- Ukuran panel bata : $3,25 \times 3,4 \text{ m}^2$
- Ukuran dinding : $3 \times 3 \text{ m}^2$
- Mutu beton : K300 ($f_c' = 25 \text{ Mpa}$)
- Balok : $500 \times 300 \text{ mm}^2$
- Kolom : $400 \times 400 \text{ mm}^2$
- Ukuran elemen : $10 \times 10 \text{ cm}^2$

Dalam pemodelan ini digunakan *link* yang berfungsi menyambungkan elemen dinding bata dengan portal sehingga elemen-elemen yang disambungkan memiliki perpindahan dan rotasi yang sama.

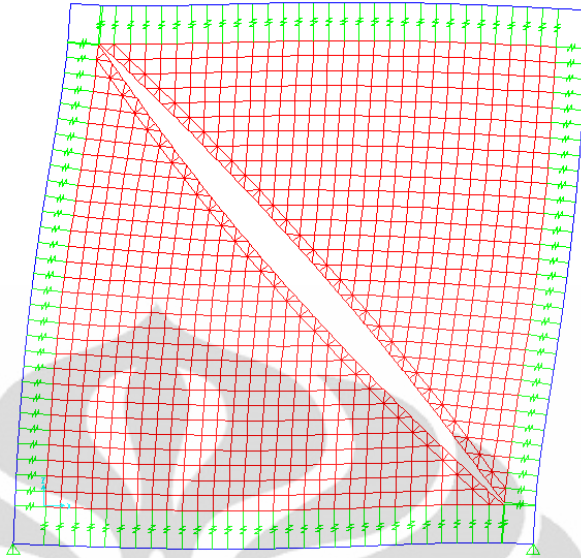
Berikut merupakan gambar pemodelan 1B1S yang dilakukan.



Gambar 3. 3 Pemodelan Dinding 1B1S

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa elemen dinding pengisi memiliki bentuk persegi, akan tetapi terdapat juga elemen dengan bentuk lainnya. Hal ini karena dibutuhkan adanya penyesuaian bentuk elemen apabila terdapat retak pada dinding ini. Meskipun pada daerah diagonal tekan memiliki ukuran elemen yang berbeda, tetapi material yang digunakan tetap merupakan dinding bata (untuk kondisi dinding bata utuh) dan merupakan material plester (untuk kondisi dinding diperbaiki).

Untuk memodelkan kondisi dimana dinding bata mengalami retak diberikan celah dengan lebar $10\sqrt{2} = 14,14$ mm pada arah diagonal tekan dinding bata ini. Berikut merupakan deformasi yang terjadi pada dinding bata retak yang diberi gaya *inplane* sebesar P.



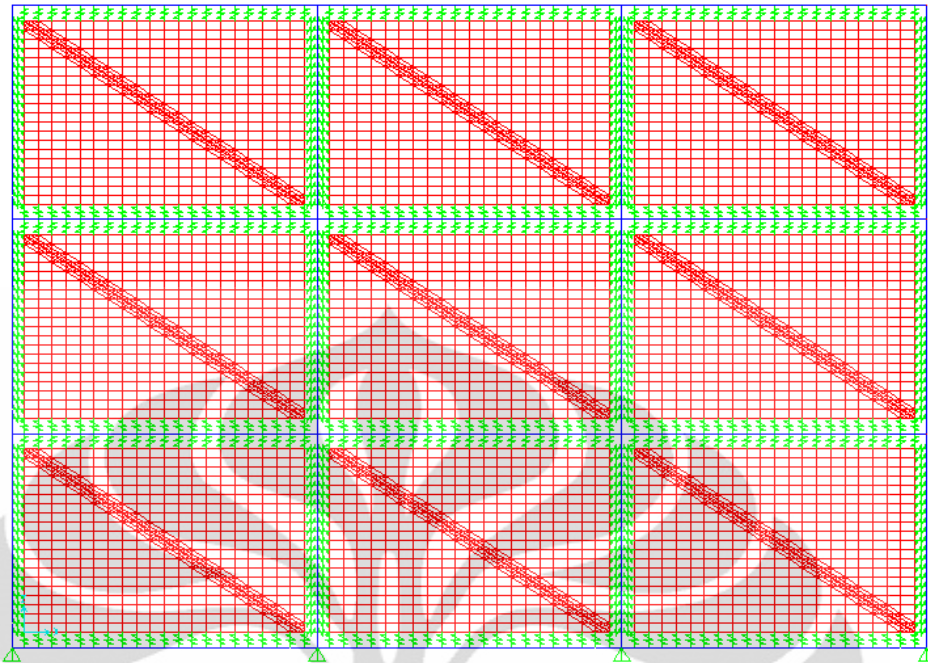
Gambar 3. 4 Pemodelan Dinding 1B1S Retak

3.4.2 Modelisasi Ruko

Pemodelan ruko ini dilakukan secara 2D dengan mengambil satu portal arah depan belakang. Berikut merupakan spesifikasi ruko yang digunakan.

- Ukuran panel : $3,5 \times 5 \text{ m}^2$
- Ukuran dinding pengisi : $3 \times 4,6 \text{ m}^2$
- Mutu beton : K300 ($f_c' = 25 \text{ Mpa}$)
- Balok : $500 \times 300 \text{ mm}^2$
- Kolom : $400 \times 400 \text{ mm}^2$
- Ukuran elemen : $230 \times 150 \text{ mm}^2$

Ukuran elemen ini ditentukan $230 \times 150 \text{ mm}^2$ karena untuk menyamakan perbandingannya dengan ukuran dinding pengisinya. Begitu pula dengan ukuran retak yang menyamakan perbandingan dengan ukuran dinding pengisinya sehingga didapat lebar retak $13,729 \text{ mm}$. Berikut merupakan gambar dari pemodelan ruko 3B3S.



Gambar 3. 5 Pemodelan Ruko 3B3S

Sama halnya dengan pemodelan 1B1S bahwa pada daerah diagonal tekan terdapat perbedaan bentuk dari elemen dinding pengisi. Akan tetapi elemen ini tetap menggunakan material dinding bata (untuk kondisi dinding bata utuh) dan merupakan material plester (untuk dinding bata diperbaiki).

3.5 Variasi Parametrik

Variasi parameter dalam penelitian ini yaitu variasi pada modulus elastisitas dari plester yang digunakan untuk memperbaiki dinding yang retak. Variasi ini dipilih karena ingin mengetahui pengaruh dari material yang akan digunakan untuk memperbaiki dinding yang retak.

Dengan terjadinya perubahan pada modulus elastisitas dari plester maka untuk kuat tekan dan kuat tariknya. Hal ini dikarenakan persamaan dari modulus elastisitas plester merupakan perkalian suatu konstanta dikalikan dengan akar dari kuat tekannya. Begitu pula dengan kuat tariknya yang merupakan perkalian suatu konstanta dengan akar dari kuat tekannya. Berikut merupakan variasi modulus elastisitas plester yang disertai dengan perubahan kuat tekan (f_c') dan kuat tariknya (f_t) dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Variasi Parameter Perbaikan

No.	Variasi Plester	Modulus Elastisitas (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)
1	Var-1 ($E = E_{\text{Plester}} - 20\%$ E_{Plester})	4104,464	11,29	0,288
2	Var-2 ($E = E_{\text{Plester}}$)	5130,580	17,64	0,36
3	Var-3 ($E = E_{\text{Plester}} + 20\%$ E_{Plester})	6156,696	25,4	0,432

Untuk variasi pada ruko tidak hanya dilakukan variasi pada modulus elastisitas plester saja, akan tetapi dilakukan juga variasi letak retak yang terjadi pada ruko ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

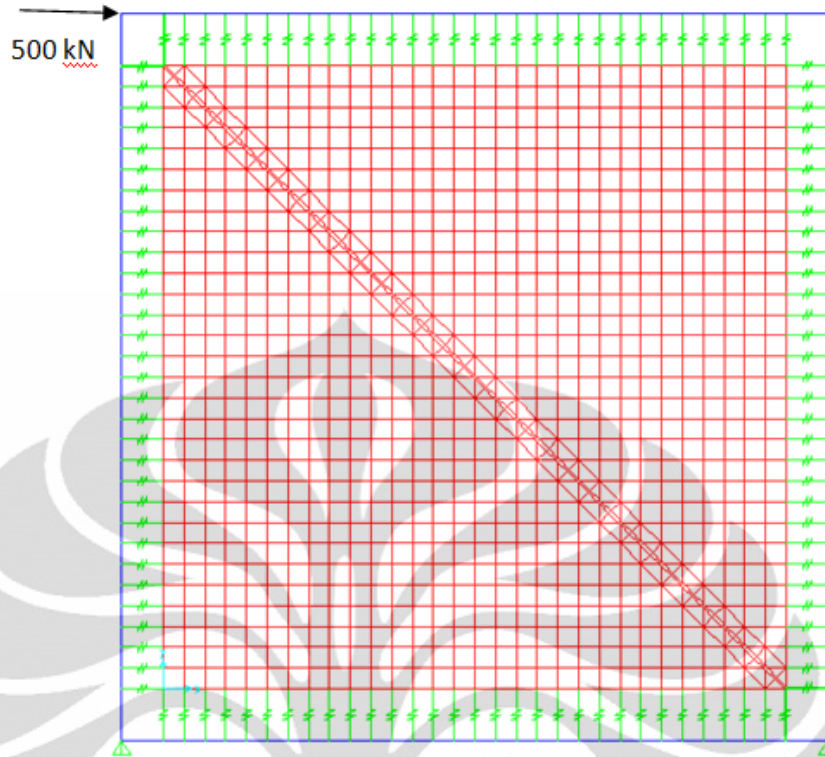
Tabel 3. 2 Variasi Letak dan Perbaikan

Model	Letak Retak						Plester		
	Bay 1	Bay 2	Bay 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Plester V-1	Plester V-2	Plester V-3
1	√			√	√	√		√	
2		√		√	√	√		√	
3			√	√	√	√		√	
4	√	√		√	√	√		√	
5	√	√	√	√				√	
6	√	√	√		√			√	
7	√	√	√			√		√	
8	√	√	√	√	√			√	
9	√	√	√	√	√	√	√		
10	√	√	√	√	√	√		√	
11	√	√	√	√	√	√			√

3.6 Pembebanan

3.6.1 Pembebanan pada Dinding 1B1S

Pada dinding 1B1S diberikan beban lateral terpusat pada bagian atas dari dinding ini dengan besar gaya 500 kN yang seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 3. 6 Pembebanan pada Dinding 1B1S

3.6.2 Pembebanan pada Ruko

Gaya yang diberikan ke bangunan ruko yaitu berupa gempa wilayah tiga pada analisis mode pertama sebagai gaya statik ekuivalen dengan alasan bentuk struktur ruko ini beraturan. Gaya gempa yang diberikan ke ruko yaitu dengan arah depan belakang agar dalam analisis tidak dipengaruhi oleh eksentrisitas kekakuan struktur yang dapat menyebabkan torsi karena adanya bukaan pada bagian depan ruko.

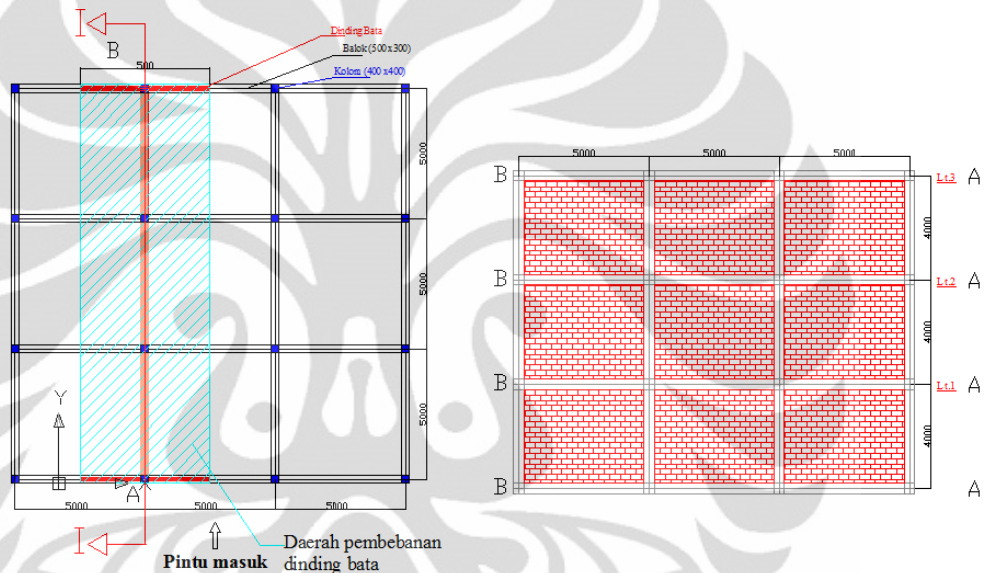
Spesifikasi dan pembebanan yang digunakan untuk ruko yaitu:

- Deskripsi bangunan ruko
Tipe Bangunan: komersial
Zona Gempa : wilayah tiga
- Beban Mati

Beton	: 2400 kg/m ³
Bata	: 250 kg/m ²
Screed + Waterproofing	: 150 kg/m ²
Screed + Finishing	: 110 kg/m ²

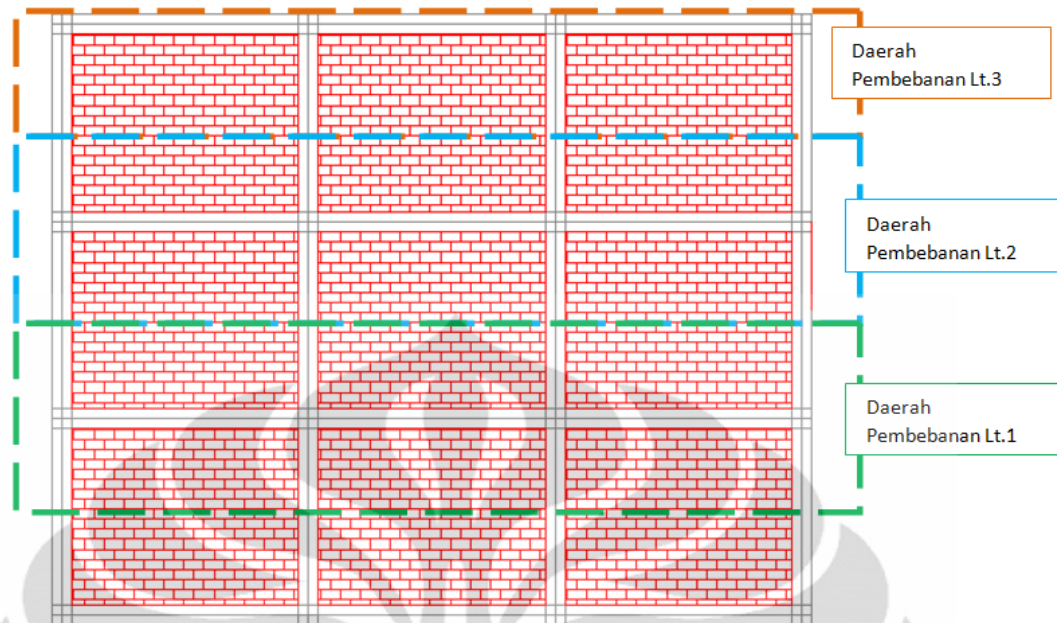
- Plafond + Elektrikal : 15 kg/m²
 Beban mati lantai : 288 kg/m²
- Beban Hidup
- LL atap : 100 kg/m²
 LL lantai : 250 kg/m²

Beban-belan di atas akan dibebani ke seluruh ruko. Dalam hal ini yang akan ditinjau hanya satu diantara beberapa portal yang ada. Dari satu portal ini akan dibebani sesuai dengan area pembebanan seperti gambar di bawah.



Gambar 3. 7 Denah dan Daerah Pembebanan pada Ruko

Beban yang diterima oleh portal yang ditinjau ada dua jenis, yaitu beban yang dikenai pada sisi portal dan beban titik yang berasal dari arah tegak lurus. 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. Untuk beban mati dan beban hidup pada bidang portal ini dibebani sesuai dengan area pembebanan yang membebani satu portal yang ditinjau sesuai dengan gambar di bawah.



Gambar 3. 8 Daerah Pembebanan Portal

Nilai-nilai beban yang diberikan pada balok maupun titik di masing-masing lantai sesuai dengan penjelasan di atas akan ditunjukkan pada tabel di bawah. Secara garis besar, tabel dibagi menjadi dua, yaitu untuk pembebanan portal dengan bata sebagai beban yang akan digunakan sebagai acuan dan portal dengan bata sebagai komponen struktural. Perbedaan nilainya ada pada besaran beban dinding bata yang diperhitungkan sebagai beban balok.

Tabel 3. 3 Pembebanan pada Portal dengan Dinding sebagai Beban

Lantai Dasar			
SDL	Balok	3.75	kN/m
	Titik luar kanan	18	kN
	Titik Luar kiri	36.75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		0	kN/m
Lantai 1-2			
SDL	Balok	28.15	kN/m
	Titik luar	55.5	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		12.5	kN/m
Atap			
SDL	Balok	26.4	kN/m
	Titik luar	36.75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		5	kN/m

Tabel 3. 4 Pembebanan pada Portal dengan Dinding sebagai Komponen Struktural

Lantai Dasar			
SDL	Balok	0	kN/m
	Titik luar kanan	18	kN
	Titik Luar kiri	36.75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		0	kN/m
Lantai 1-2			
SDL	Balok	20.65	kN/m
	Titik luar	55.5	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		12.5	kN/m
Atap			
SDL	Balok	22.65	kN/m
	Titik luar	36.75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		5	kN/m

Selain nilai beban yang diberikan pada portal, dihitung pula berat bangunan untuk 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. 5 Berat Bangunan Lantai 1

	Jenis Beban	Beban	Satuan
DL	Dinding Bata	15.975	Ton
	Balok	9	Ton
	Kolom	5.376	Ton
	Screed + Finishing	8.25	Ton
	Plafond + Electrical	1.125	Ton
	Beban Mati Lantai	21.6	Ton
	Jumlah DL	61.326	Ton
LL	Lantai	18.75	Ton
DL + αLL		66.951	Ton

Tabel 3. 6 Berat Bangunan Lantai 2

	Jenis Beban	Beban	Satuan
DL	Dinding Bata	17.85	Ton
	Balok	9	Ton
	Kolom	5.376	Ton
	Screed + Finishing	8.25	Ton
	Plafond + Electrical	1.125	Ton
	Beban Mati Lantai	21.6	Ton
	Jumlah DL	63.201	Ton
LL	Lantai	18.75	Ton
DL + αLL		68.826	Ton

Tabel 3. 7 Berat Bangunan pada Atap

	Jenis Beban	Beban	Satuan
DL	Dinding Bata	8.925	Ton
	Balok	9	Ton
	Kolom	2.688	Ton
	Screed + Waterproofing	11.25	Ton
	Plafond + Electrical	1.125	Ton
	Beban Mati Lantai	11.25	Ton
	Jumlah DL	44.238	Ton
LL	Lantai	7.5	Ton
DL + αLL		46.488	Ton

Sehingga total beban keseluruhannya (Wt) sebesar 182,265 ton.

- Beban lateral

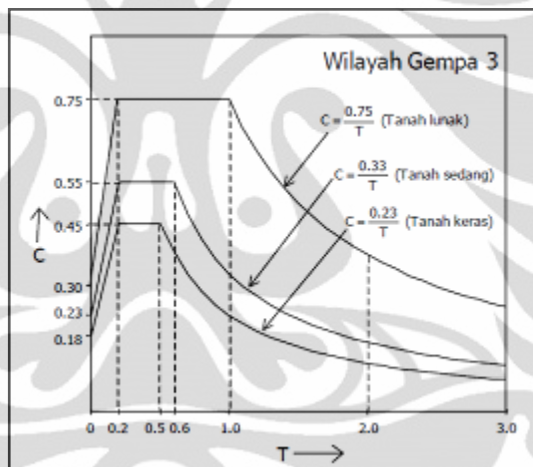
Beban lateral yang dikenakan ke ruko yaitu merupakan gaya gempa yang dianalisis pada mode pertama sebagai statik ekuivalen. Dengan rumus:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (3.6)$$

dengan nilai V yaitu:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.7)$$

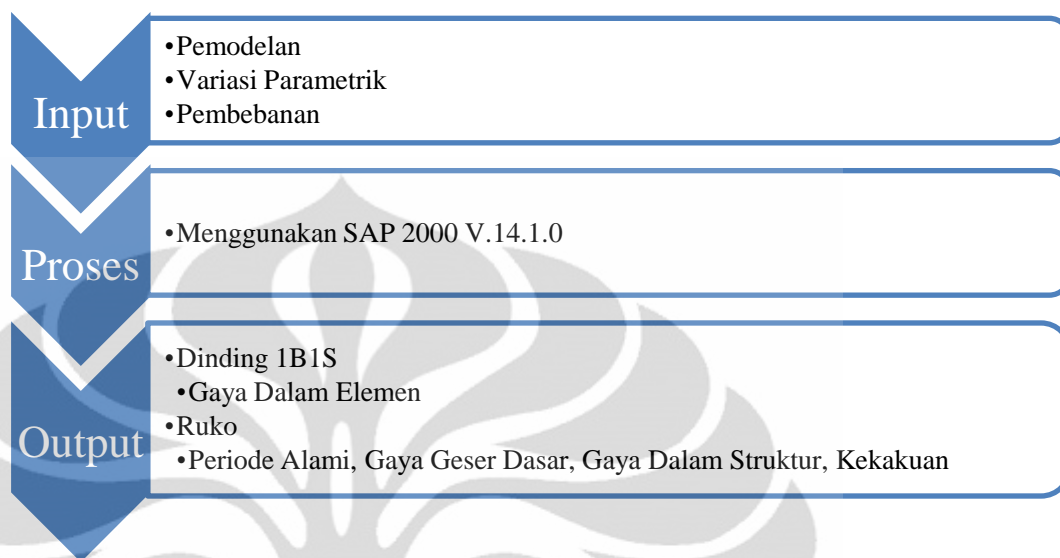
Peruntukan bangunan ruko ini merupakan perniagaan sehingga nilai I adalah 1, untuk parameter daktilitas struktur ruko nilai R yang digunakan yaitu 5,5 kemudian untuk nilai C_1 adalah nilai yang didapat dari spektrum gempa wilayah tiga (percepatan tanah 0,15g), jenis tanah lunak dan periode natural ditentukan sebagai periode getaran bebas struktur.



Gambar 3. 9 Spektrum Gempa Wilayah 3

3.7 Prosedur Analisis

Prosedur Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:



Gambar 3. 10 Prosedur Analisis Penelitian

Analisis untuk pemodelan dinding 1B1S yaitu mendapatkan gaya yang menyebabkan elemen yang ditinjau gagal dengan cara membandingkan tegangan maksimum elemen bersangkutan dengan gaya yang diaplikasikan ke dinding. Setelah itu dilakukan perbandingan antar jenis dinding pengisi, yaitu dinding bata utuh, dinding bata retak, dan dinding bata yang diperbaiki. Selain itu juga dilakukan analisis mengenai distribusi gaya yang terjadi pada dinding pengisi apabila terjadi separasi antara dinding pengisi dengan portal.

Berikutnya untuk analisis pada pemodelan ruko yang dilakukan yaitu berupa periode alami struktur, gaya geser dasar struktur, gaya dalam struktur, dan kekakuan struktur. Untuk masing-masing hasil tersebut dilakukan perbandingan dengan masing-masing jenis dinding pengisi sama halnya dengan analisis dinding 1B1S. Akan tetapi untuk analisis ruko ini terdapat satu jenis model tambahan, yaitu dinding sebagai beban (non-struktural).

BAB 4

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

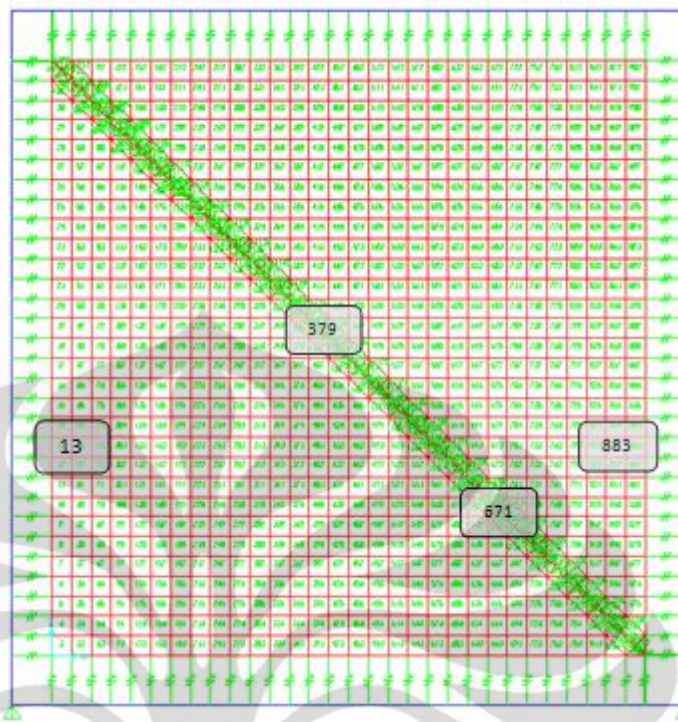
4.1 Dinding Bata 1B1S

4.1.1 Gaya Dalam Elemen

Pada pemodelan 1B1S ini ingin mengetahui pengaruh dari perbaikan yang dilakukan. Hal ini akan diketahui dari kemampuan elemen dalam menahan tegangan yang diterimanya. Peninjauan ini dilihat dari gaya yang dibutuhkan sampai elemen mengalami gagal baik akibat tekan maupun tarik. Gaya yang menyebabkan elemen gagal yaitu P_{fail} . Gaya ini didapat sampai tegangan yang terjadi akibat P mencapai tegangan batasnya. Dengan membatasi gaya ini bekerja pada elemen yang bersifat linier, gaya ini dapat dihasilkan dari membandingkan tegangan batas elemen dinding bata atau plester dengan tegangan maksimum yang terjadi akibat gaya P dan kemudian dikalikan dengan P yang di berikan ke dinding bata ini. Dengan kata lain P_{fail} didapatkan dengan persamaan berikut.

$$P_{fail} = \frac{\sigma_{batas}}{\sigma_{terjadi}} P_{apply} \quad (4.1)$$

Gaya yang di aplikasikan ke dinding bata ini yaitu sebesar 500 kN sehingga didapatkan P_{fail} untuk masing-masing dinding. P_{fail} ini dilihat dari elemen yang memiliki tegangan tarik dan tekan maksimum. Untuk semua variasi dinding, elemen yang ditinjau merupakan elemen yang sama berdasarkan elemen yang memiliki tegangan tarik dan tekan maksimum pada dinding utuh. Tegangan maksimum tarik dan tekan yang terjadi pada elemen dinding bata dan plester dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 4. 1 Letak Elemen Tarik dan Tekan yang Ditinjau

4.1.2 Pengaruh Perbaikan

Peninjauan besar pengaruh dari plester yang digunakan untuk memperbaiki dinding yang retak ini dilihat dari besar P_{fail} yang dibutuhkan sampai elemen yang ditinjau gagal. Dalam hal ini dilakukan peninjauan pada dua jenis elemen yang digunakan dalam pemodelan ini, yaitu dinding bata sebagai elemen dasarnya dan elemen plester sebagai elemen perbaikannya.

4.1.2.1 Peninjauan Elemen Dinding Bata

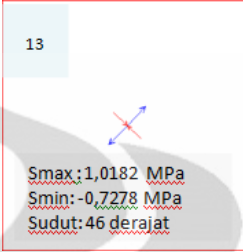
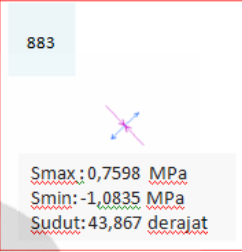
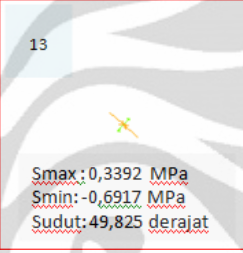
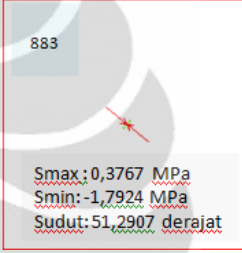
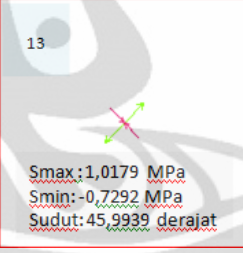
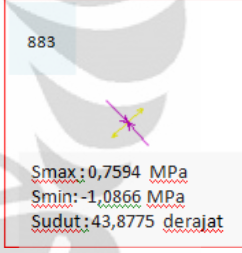
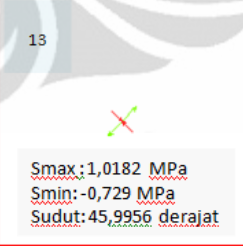
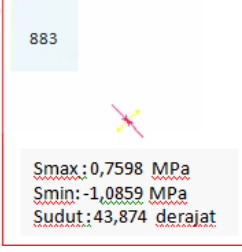
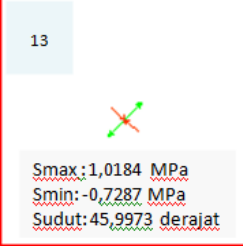
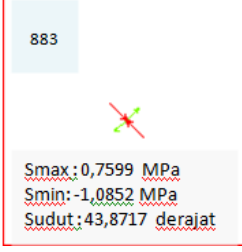
Untuk peninjauan elemen dinding bata akan dilihat pada elemen yang sama untuk dinding bata utuh, dinding bata retak, dan dinding bata yang diperbaiki. Hal ini agar bisa diketahui pengaruhnya untuk masing-masing jenis dinding pengisi. Elemen yang ditinjau yaitu elemen 13 (tegangan tarik) dan 883 (tegangan tekan) yang mengacu pada tegangan maksimum dan minimum pada dinding utuh. Berikut merupakan tabel tegangan yang dihasilkan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1 dan gaya yang dibutuhkan sampai elemen dinding bata gagal baik akibat tarik maupun tekan beserta dengan persentasenya jika dibandingkan dengan dinding bata utuh.

Tabel 4. 1 Gaya yang Dibutuhkan Sampai elemen di Bagian Dinding Bata Gagal

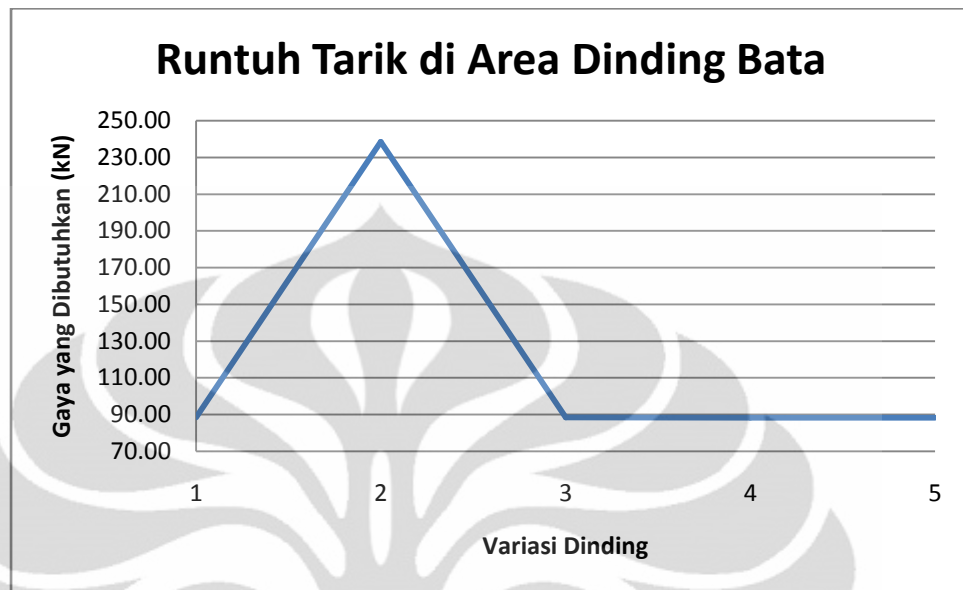
		Jenis Dinding	Tegangan (MPa)	P_{fail} (kN)	Perbandingan dengan Dinding Bata Utuh (%)
Tarik	1	Dinding Bata Utuh	1.241	88.39	100.00
	2	Dinding Bata Retak	0.46	238.47	269.78
	3	Dinding Bata dengan Var-1	1.241	88.39	100.00
	4	Dinding Bata dengan Var-2	1.242	88.32	99.92
	5	Dinding Bata dengan Var-3	1.242	88.32	99.92
Tekan	1	Dinding Bata Utuh	1.321	4182.44	100.00
	2	Dinding Bata Retak	2.093	2639.75	63.12
	3	Dinding Bata dengan Var-1	1.325	4169.81	99.70
	4	Dinding Bata dengan Var-2	1.324	4172.96	99.77
	5	Dinding Bata dengan Var-3	1.323	4176.11	99.85

Adapun ilustrasi besar dan arah vektor tegangan utama pada elemen acuan nomor 13 (tarik) dan 883 (tekan) untuk masing-masing kondisi panel sebagai berikut.

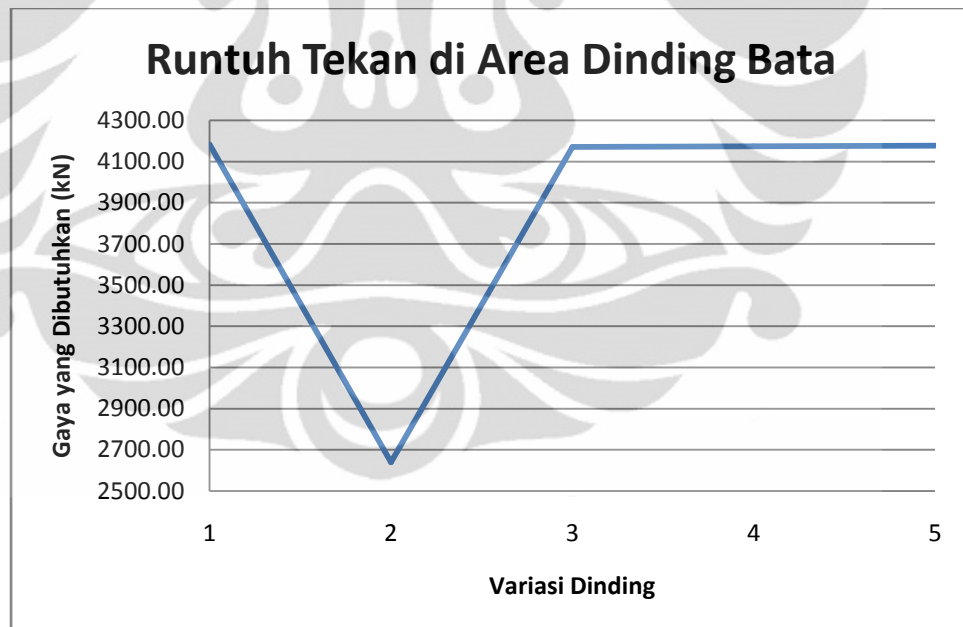
Tabel 4. 2 Ilustrasi Tegangan Utama pada Elemen Acuan Nomor 13 dan 883

Dinding Panel Pengisi	Besaran dan Arah Tegangan Utama Elemen Acuan	
Dinding Bta Utuh	 <p>13</p> <p>Smax: 1,0182 MPa Smin: -0,7278 MPa Sudut: 46 derajat</p>	 <p>883</p> <p>Smax: 0,7598 MPa Smin: -1,0835 MPa Sudut: 43,867 derajat</p>
Dinding Bata Retak	 <p>13</p> <p>Smax: 0,3392 MPa Smin: -0,6917 MPa Sudut: 49,825 derajat</p>	 <p>883</p> <p>Smax: 0,3767 MPa Smin: -1,7924 MPa Sudut: 51,2907 derajat</p>
Dinding Bata dengan Plester Var-1	 <p>13</p> <p>Smax: 1,0179 MPa Smin: -0,7292 MPa Sudut: 45,9939 derajat</p>	 <p>883</p> <p>Smax: 0,7594 MPa Smin: -1,0866 MPa Sudut: 43,8775 derajat</p>
Dinding Bata dengan Plester Var-2	 <p>13</p> <p>Smax: 1,0182 MPa Smin: -0,729 MPa Sudut: 45,9956 derajat</p>	 <p>883</p> <p>Smax: 0,7598 MPa Smin: -1,0859 MPa Sudut: 43,874 derajat</p>
Dinding Bata dengan Plester Var-3	 <p>13</p> <p>Smax: 1,0184 MPa Smin: -0,7287 MPa Sudut: 45,9973 derajat</p>	 <p>883</p> <p>Smax: 0,7599 MPa Smin: -1,0852 MPa Sudut: 43,8717 derajat</p>

Grafik di bawah ini merupakan hubungan antara jenis dari dinding bata dengan gaya yang dibutuhkan sampai elemen di dinding bata gagal.



Gambar 4. 2 Grafik Runtuh Tarik pada Dinding Bata



Gambar 4. 3 Grafik Runtuh Tekan pada Dinding Bata

Pengaruh dari plesteran akan dianalisis dari gaya yang dibutuhkan sampai elemen yang ditinjau gagal, baik akibat tarik maupun tekan. Pada dinding retak gaya yang dibutuhkan sampai elemen gagal akibat tarik lebih besar jika dibanding dengan dinding utuh. Hal ini dikarenakan pada dinding retak area *ties*

pada dinding ini terputus sehingga elemen yang ditinjau ini hanya mendapatkan sedikit tegangan tarik. Dapat terlihat dari hubungan gaya yang diterima dengan kekakuannya yang mana gaya berbanding lurus dengan kekakuannya. Saat *ties* pada dinding terputus maka kekakuan untuk tariknya pun berkurang, dengan demikian gaya tarik yang diterima oleh elemen ini menjadi lebih kecil. Oleh karena itu gaya yang dibutuhkan sampai elemen ini gagal akibat tarik jauh lebih besar jika dibandingkan dengan dinding yang utuh. Berbeda dengan tekannya, pada saat *ties* terputus maka *strut* pada dinding akan menerima gaya yang lebih besar karena gaya yang seharusnya ditanggung oleh *ties* sebagian dilimpahkan ke *strut*. Dengan demikian gaya yang dibutuhkan agar elemen gagal karena tekan akan lebih kecil.

Perbaikan dinding bata menggunakan plester Var-1, Var-2, dan Var-3 ini jika dilihat dari tegangan yang diterima sangat mendekati dengan keadaan dimana dinding masih utuh. Hal ini dikarenakan plester yang digunakan dapat mengembalikan kekakuan tarik dari keadaan retak ke keadaan utuh. Oleh karena itu gaya tarik dan tekan yang menyebabkannya gagal hanya kurang sedikit jika dibandingkan dengan keadaan dimana dinding bata ini masih utuh. Untuk gaya yang dibutuhkan sampai terjadi gagal tarik di dinding bata hanya kurang dari 0,08% dari gaya yang dibutuhkan pada dinding bata yang masih utuh. Sedangkan gaya yang dibutuhkan sampai terjadi gagal tekan di dinding bata hanya kurang dari 0,3% dari gaya yang dibutuhkan pada dinding bata yang masih utuh. Pengaruh dari perbaikan ini cukup signifikan jika dilihat dari elemen di dinding yang memiliki tegangan tarik dan tekan maksimum karena hanya berada sedikit di bawah keadaan dimana dinding ini masih dalam keadaan utuh.

Apabila dilihat dari variasi plester yang digunakan hal ini tidak terlalu berpengaruh terhadap besar gaya yang diperlukan sampai elemen dinding bata ini gagal terutama untuk tariknya. Untuk gagal di tarik pada elemen bata ini variasi plester Var-1 yang paling mendekati dengan keadaan dimana dinding bata masih dalam keadaan utuh, sedang untuk tekannya variasi plester Var-3 yang paling dekat dengan dinding bata utuh. Variasi plester Var-3 menerima tegangan tekan terbesar diantara variasi lainnya karena plester ini memiliki modulus elastisitas

terbesar. Oleh karena itu pada elemen dinding bata membutuhkan gaya tekan yang lebih kecil dibanding dua lainnya sampai gagal.

4.1.2.2 Peninjauan Elemen Plester

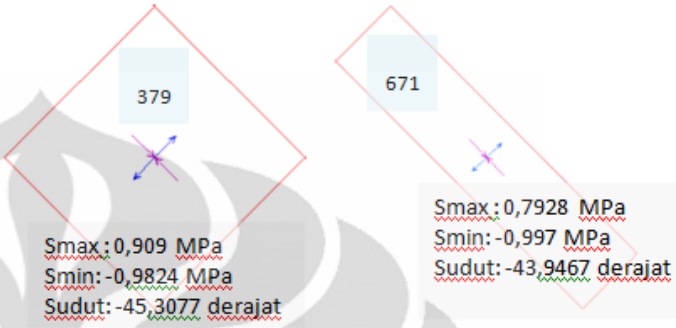
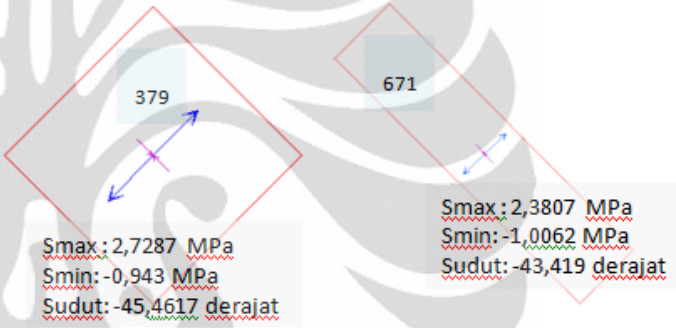
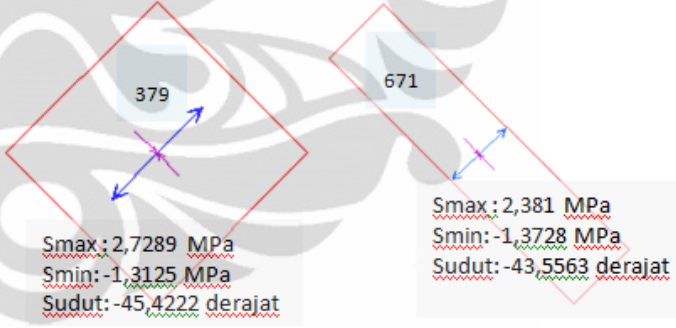
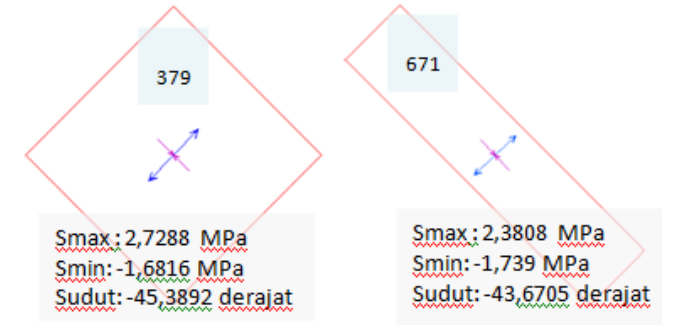
Sama halnya dengan peninjauan elemen dinding bata, peninjauan elemen plester ini pun melihat elemen yang sama untuk masing-masing jenis dinding, yaitu elemen 379 (tegangan tarik) dan 671 (tegangan tekan). Berikut merupakan tabel tegangan dihasilkan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1 dan gaya yang dibutuhkan sampai elemen plester gagal baik akibat tarik maupun tekan beserta dengan persentasenya jika dibandingkan dengan dinding bata utuh.

Tabel 4. 3 Gaya yang Dibutuhkan Sampai elemen di Bagian Plester Gagal

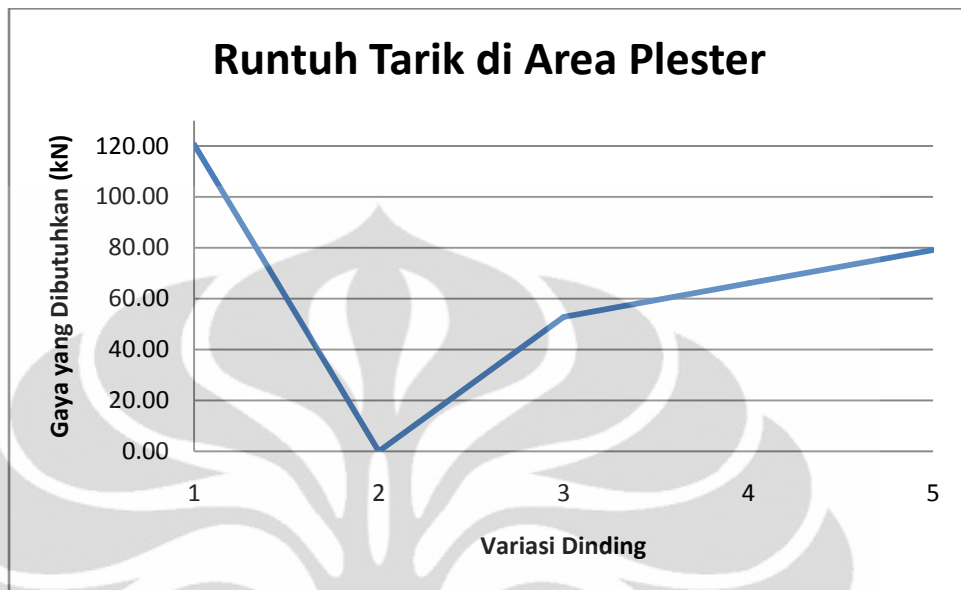
		Jenis Dinding	Tegangan (MPa)	P_{fail} (kN)	Perbandingan dengan Dinding Bata Utuh (%)
Tarik	1	Dinding Bata Utuh	0.909	120.68	100
	2	Dinding Bata Retak	0	0	0
	3	Dinding Bata dengan Var-1	2.729	52.80	43.75
	4	Dinding Bata dengan Var-2	2.730	65.98	54.67
	5	Dinding Bata dengan Var-3	2.730	79.17	65.61
Tekan	1	Dinding Bata Utuh	1.001	5519.48	100
	2	Dinding Bata Retak	0	0	0
	3	Dinding Bata dengan Var-1	1.015	5561.38	100.76
	4	Dinding Bata dengan Var-2	1.382	6382.05	115.63
	5	Dinding Bata dengan Var-3	1.749	7261.75	131.57

Adapun ilustrasi besar dan arah vektor tegangan utama pada elemen acuan nomor 379 (tarik) dan 671 (tekan) untuk masing-masing kondisi panel.

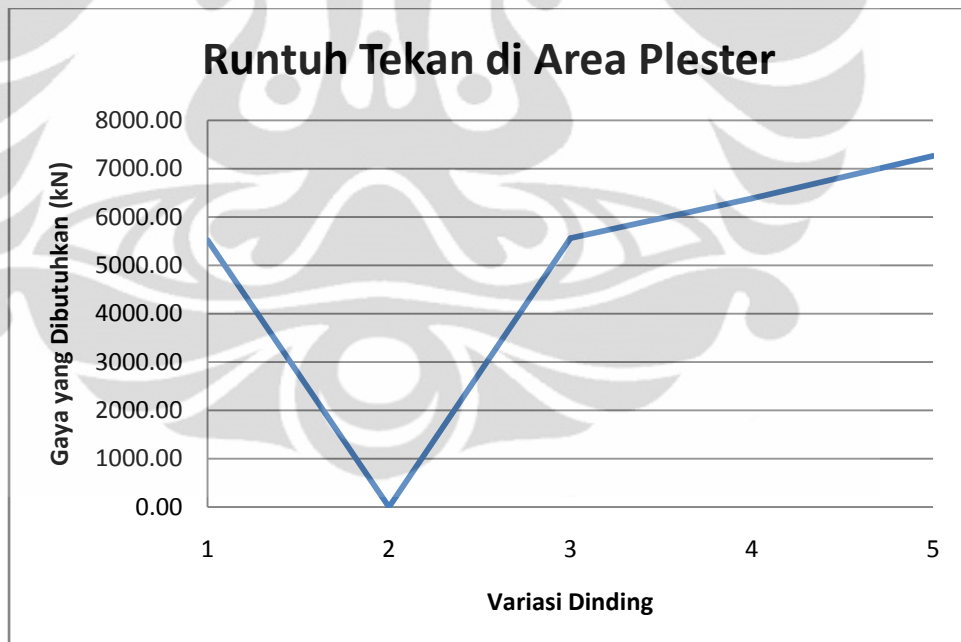
Tabel 4. 4 Ilustrasi Tegangan Utama pada Elemen Acuan Nomor 379 dan 671

Dinding Panel Pengisi	Besarnya dan Arah Tegangan Utama Elemen Acuan
Dinding Bata Utuh	 <p> 379 $S_{max} : 0,909 \text{ MPa}$ $S_{min} : -0,9824 \text{ MPa}$ $Sudut : -45,3077 \text{ derajat}$ </p> <p> 671 $S_{max} : 0,7928 \text{ MPa}$ $S_{min} : -0,997 \text{ MPa}$ $Sudut : -43,9467 \text{ derajat}$ </p>
Dinding Bata dengan Plester Var-1	 <p> 379 $S_{max} : 2,7287 \text{ MPa}$ $S_{min} : -0,943 \text{ MPa}$ $Sudut : -45,4617 \text{ derajat}$ </p> <p> 671 $S_{max} : 2,3807 \text{ MPa}$ $S_{min} : -1,0062 \text{ MPa}$ $Sudut : -43,419 \text{ derajat}$ </p>
Dinding Bata dengan Plester Var-2	 <p> 379 $S_{max} : 2,7289 \text{ MPa}$ $S_{min} : -1,3125 \text{ MPa}$ $Sudut : -45,4222 \text{ derajat}$ </p> <p> 671 $S_{max} : 2,381 \text{ MPa}$ $S_{min} : -1,3728 \text{ MPa}$ $Sudut : -43,5563 \text{ derajat}$ </p>
Dinding Bata dengan Plester Var-3	 <p> 379 $S_{max} : 2,7288 \text{ MPa}$ $S_{min} : -1,6816 \text{ MPa}$ $Sudut : -45,3892 \text{ derajat}$ </p> <p> 671 $S_{max} : 2,3808 \text{ MPa}$ $S_{min} : -1,739 \text{ MPa}$ $Sudut : -43,6705 \text{ derajat}$ </p>

Grafik di bawah ini merupakan hubungan antara jenis dari dinding bata dengan gaya yang dibutuhkan sampai elemen di plester gagal.



Gambar 4. 4 Grafik Runtuh Tarik pada Plester



Gambar 4. 5 Grafik Runtuh Tekan pada Plester

Pada daerah yang diperbaiki, jika dilihat pada gaya yang dibutuhkan sampai terjadi gagal pada dinding yang diperbaiki di daerah ini cukup signifikan jika dibandingkan dengan dinding utuh baik untuk gagal tarik maupun tekan.

Untuk tarik, hasil perbaikan dari ketiga variasi plester ini berada di bawah dari keadaan dinding utuh dengan hasil yang paling mendekati dengan keadaan awal yaitu plester Var-3. Sedangkan untuk tekannya berada di atas gaya yang dibutuhkan pada dinding utuh untuk gagal dengan hasil yang paling mendekati keadaan awal yaitu plester Var-1.

Dapat dilihat pada tegangan tekan mengalami peningkatan tegangan yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan terjadi penurunan kekakuan tarik pada dinding ini. Selain itu peningkatan tegangan tekan pada plester juga dipengaruhi oleh modulus elastisitas dari material tersebut. Dari hukum Hooke dapat diketahui bahwa modulus elastisitas berbanding lurus dengan tegangannya. Elemen pada daerah perbaikan ini terjadi kenaikan modulus elastisitas yang cukup signifikan sehingga tegangan yang diterima elemen ini pun meningkat. Dengan demikian tegangan tekan yang diterima pada elemen plester ini lebih besar dibanding dengan dinding bata utuh pada daerah retak, akan tetapi gaya yang diperlukan sampai elemen plester ini gagal tetap lebih besar jika dibanding dengan elemen dinding bata. Hal ini dikarenakan kuat tekan plester lebih besar dibanding kuat tekan dinding bata.

Untuk tegangan tariknya pada bagian elemen yang ditinjau mengalami peningkatan tegangan yang sangat signifikan. Hal ini menyebabkan gaya yang dibutuhkan sampai elemen plester ini gagal akibat tarik menjadi lebih kecil meskipun elemen plester memiliki kuat tarik yang lebih besar dibanding kuat tarik dinding bata.

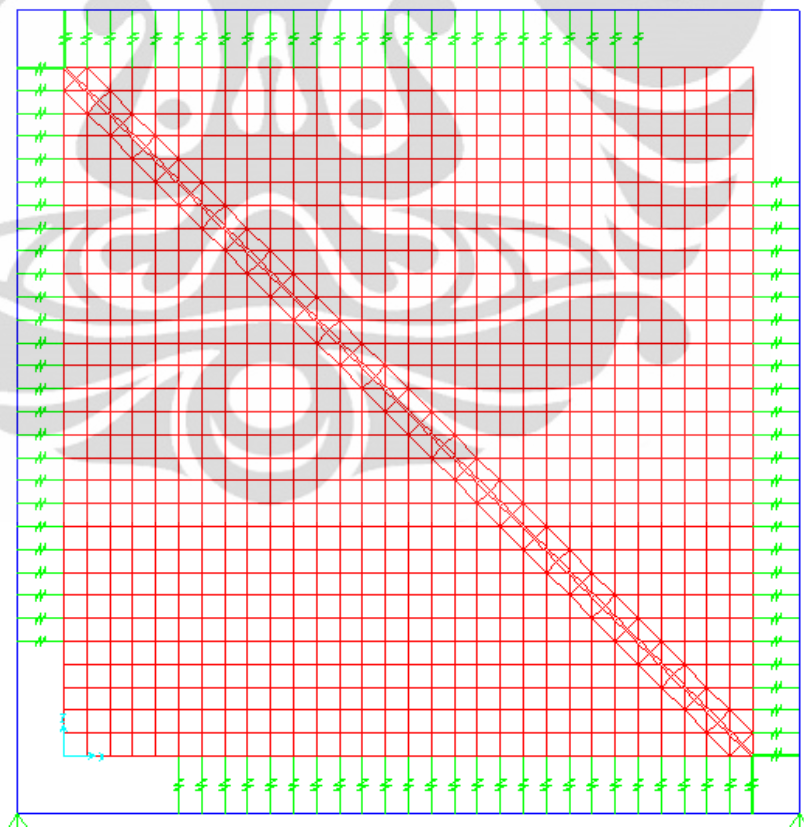
Apabila dilihat dari masing-masing perbaikan ini memiliki perbedaan gaya yang cukup besar, pada tarik perbedaan antara plester Var-1 dengan Var-2 10,92% dan Var-2 dengan Var-3 10,94% dari gaya yang dibutuhkan pada dinding bata utuh sampai gagal. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa variasi plester cukup memengaruhi keadaan pada elemen yang berada pada daerah retaknya. Pengaruh variasi plester lebih besar jika ditinjau gagal terhadap tekan jika dibandingkan dengan gagal tarik. Perbedaan antar plester ini yaitu untuk plester Var-1 dengan Var-2 14,87 % sedangkan Var-2 dengan Var-3 15,94% dari gaya yang dibutuhkan pada dinding bata utuh sampai gagal.

4.1.3 Distribusi Tegangan Akibat Terjadinya Separasi

Apabila dinding diberi gaya lateral yang rendah maka dinding pengisi dan portal akan bersifat komposit. Akan tetapi seiring meningkatnya deformasi lateral maka perilakunya akan menjadi kompleks yang mana portal akan berdeformasi dalam mode lentur sedangkan dinding pengisi akan berdeformasi dalam mode geser. Oleh karena itu akan terjadi separasi pada sudut diagonal tarik.

Di sini akan dibahas pengaruh dari panjang separasi yang terjadi terhadap perubahan letak tegangan maksimum (tarik) dan minimum (tekan) yang terjadi pada dinding pengisi ini. Selain itu juga akan terlihat distribusi tegangan yang terjadi untuk masing-masing variasi jarak separasi. Untuk memodelkan terjadinya separasi antara dinding pengisi dengan portal, maka akan dilakukan pelepasan *link* yang fungsinya menghubungkan dinding pengisi ini dengan portal.

Berikut merupakan contoh dari salah satu pemodelan terjadinya separasi dengan cara melepaskan *link*.



Gambar 4. 6 Modelisasi Terjadinya Separasi dengan Cara Melepaskan *Link*

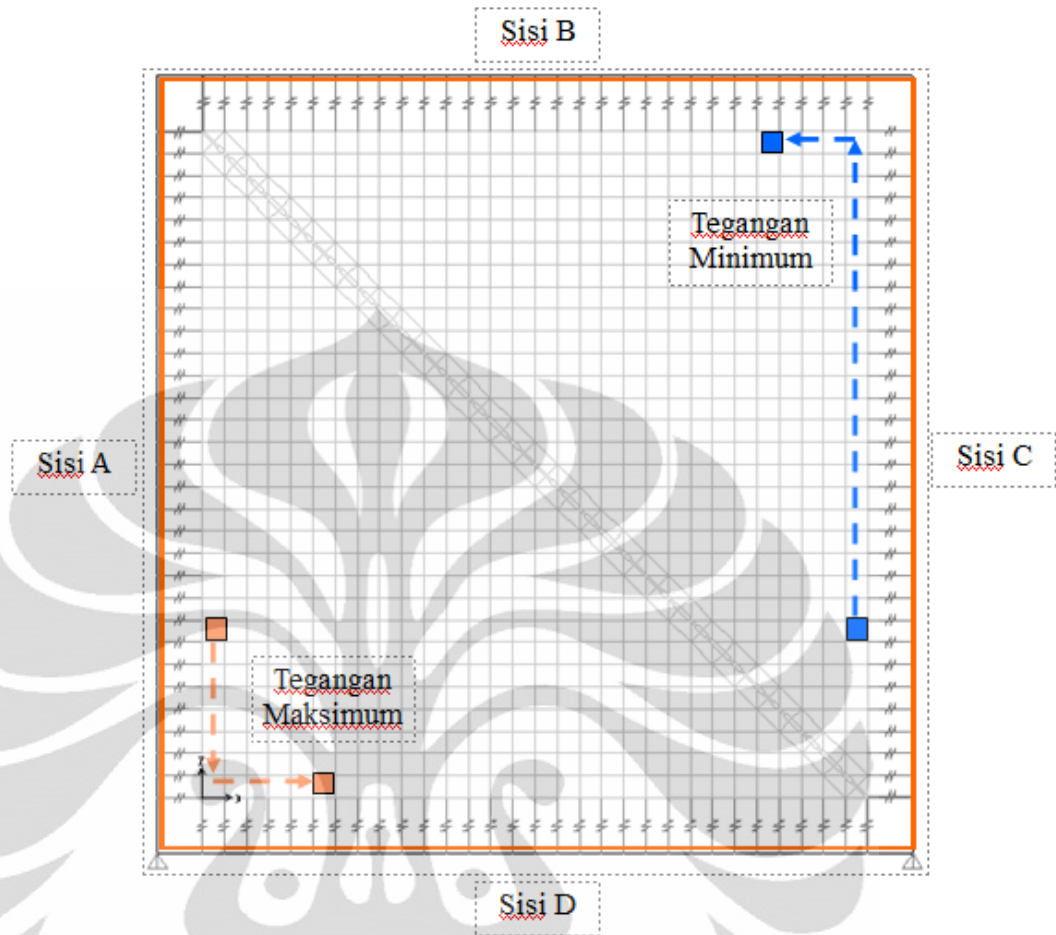
- Pergerakan Elemen pada Dinding Bata Utuh

Apabila dilakukan pelepasan *link* pada daerah diagonal tarik dinding, tegangan-tegangan maksimum dan minimum yang terjadi pada dinding bata berada pada elemen di sisi-sisi luar dari dinding bata. Berikut merupakan tabel tegangan maksimum dan minimum yang terjadi dan juga letak elemennya dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1.

Tabel 4. 5 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen Akibat Beban 500 kN

<i>Unlink</i>	Tegangan Tarik	No Elemen	Tegangan Tekan	No Elemen
0	1.241	13	-1.321	883
1	1.402	3	-1.806	902
2	1.406	63	-1.624	901
3	1.728	93	-1.685	842
4	2.015	123	-1.915	7
5	2.268	153	-2.165	8

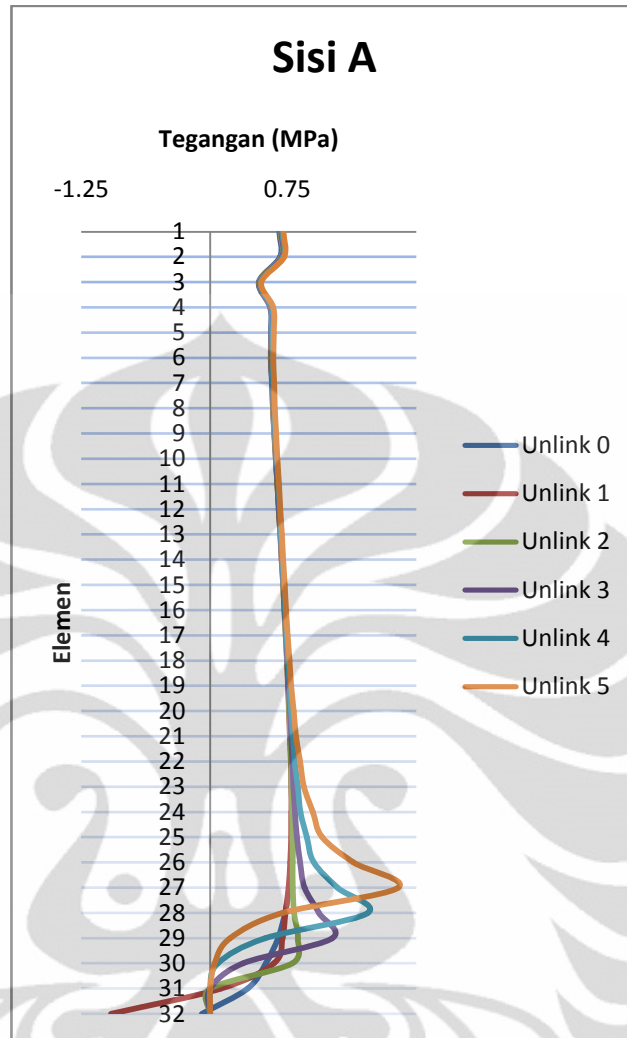
Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini pergerakan dari elemen apabila *link* dilepas.



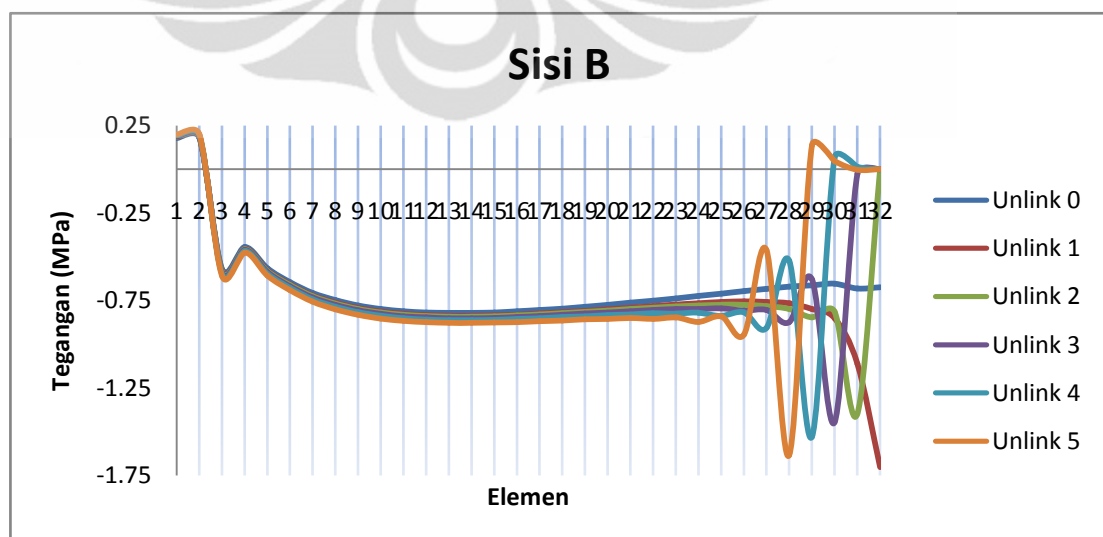
Gambar 4. 7 Pergerakan Tegangan Maksimum dan Minimum pada Sisi Portal

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa pergerakan tegangan maksimum terjadi pada sisi A dan D sedangkan untuk tegangan minimum terjadi pada sisi B dan C. Oleh karena itu pada sisi A dan D akan dilihat pergerakan tegangan maksimum saja dan pada sisi B dan C dilihat pergerakan tegangan minimumnya.

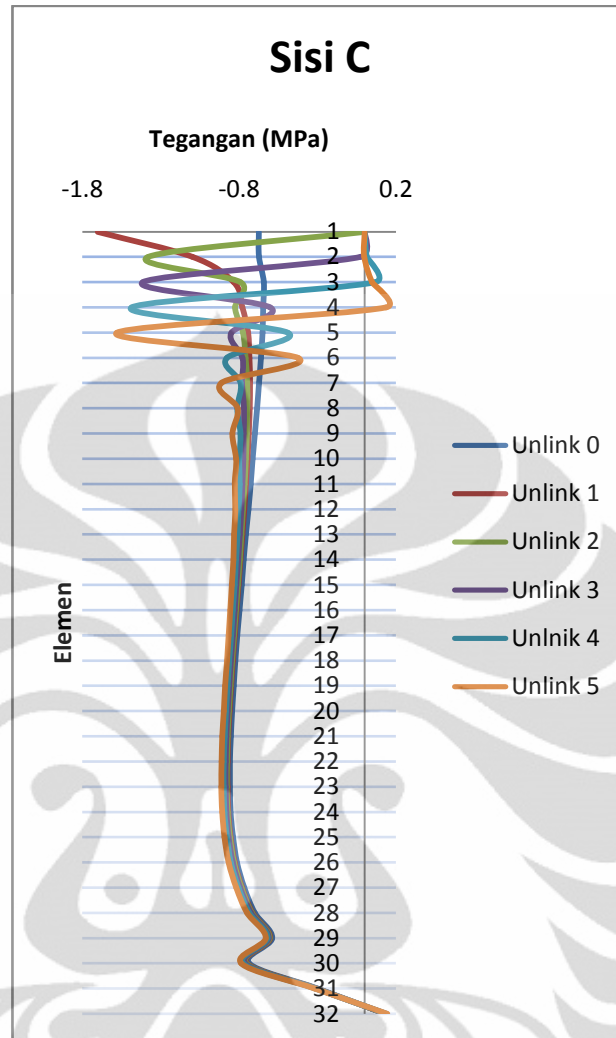
Hasil yang akan ditampilkan pada pembahasan kali ini yaitu pergerakan tegangan maksimum dan minimum pada masing-masing sisinya selain itu juga akan terlihat distribusi tegangannya yang terjadi. Berikut merupakan grafik hubungan antara elemen pengisi dengan tegangan yang terjadi baik untuk masing-masing sisi dan gabungannya.



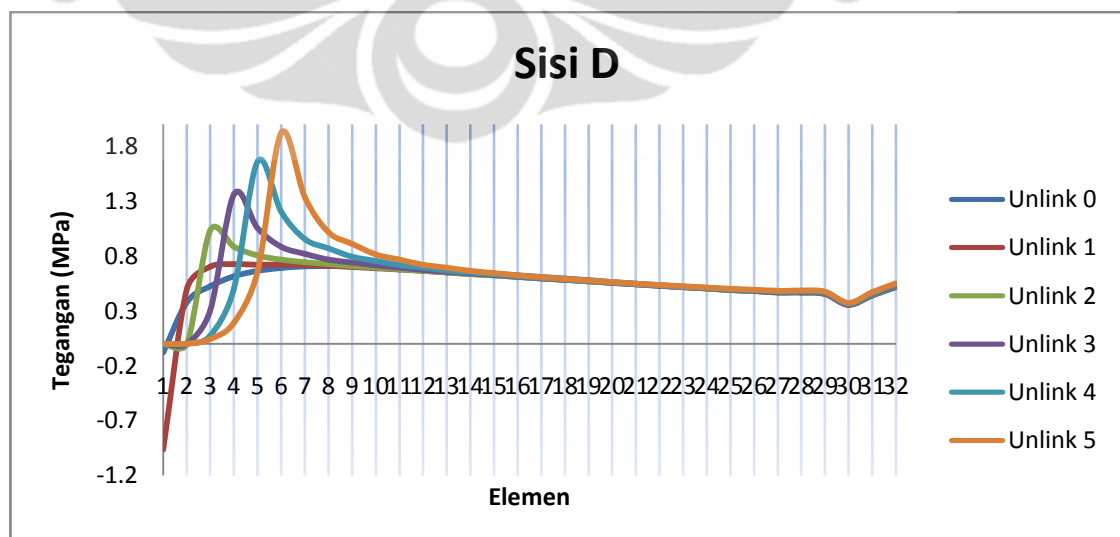
Gambar 4. 8 Distribusi Tegangan Maksimum pada Sisi A



Gambar 4. 9 Distribusi Tegangan Minimum pada Sisi B

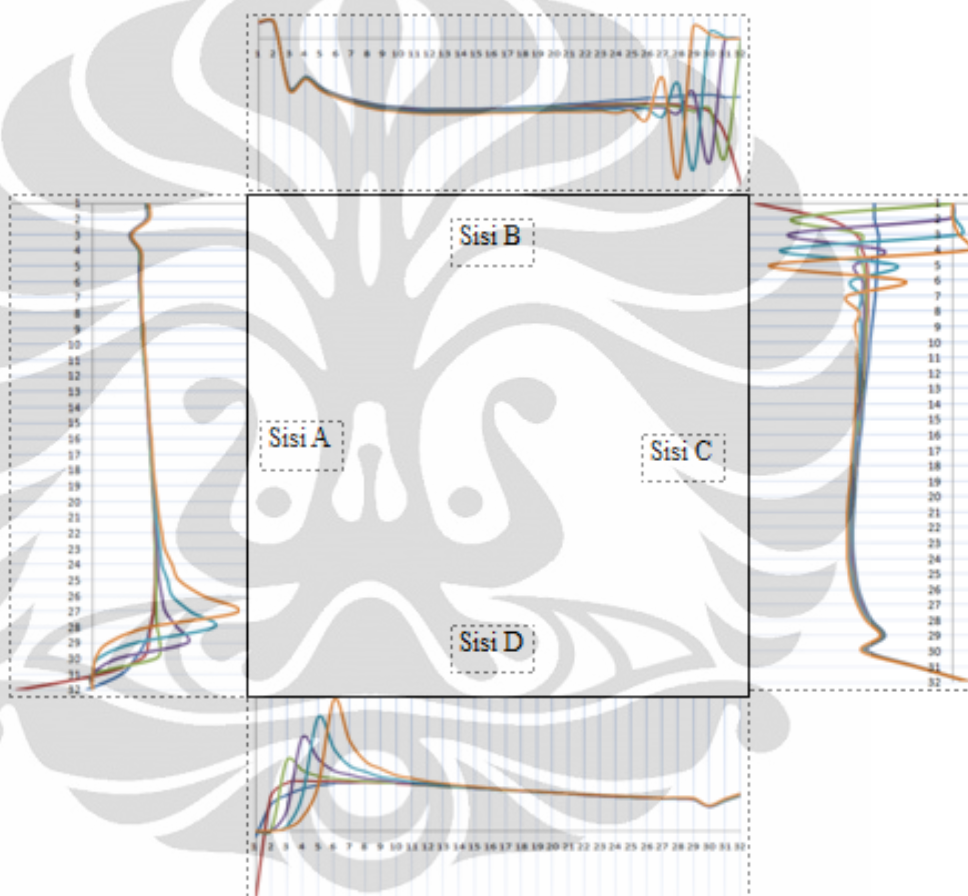


Gambar 4. 10 Distribusi Tegangan Minimum pada Sisi C



Gambar 4. 11 Distribusi Tegangan Maksimum pada Sisi D

Keempat grafik di atas yang merepresentasikan distribusi tegangan tarik dan tekan yang terjadi pada masing-masing sisi memiliki perilaku yang sama mengenai pergerakan konsentrasi tegangan yang terjadi, yaitu pada saat *link* dilepas pertama kali mendekati diagonal tarikannya. Kemudian untuk pelepasan *link* kedua sampai kelima konsentrasi tegangan ini bergerak mendekati diagonal tekannya. Berikut merupakan rangkuman dari keempat grafik untuk masing-masing sisinya.

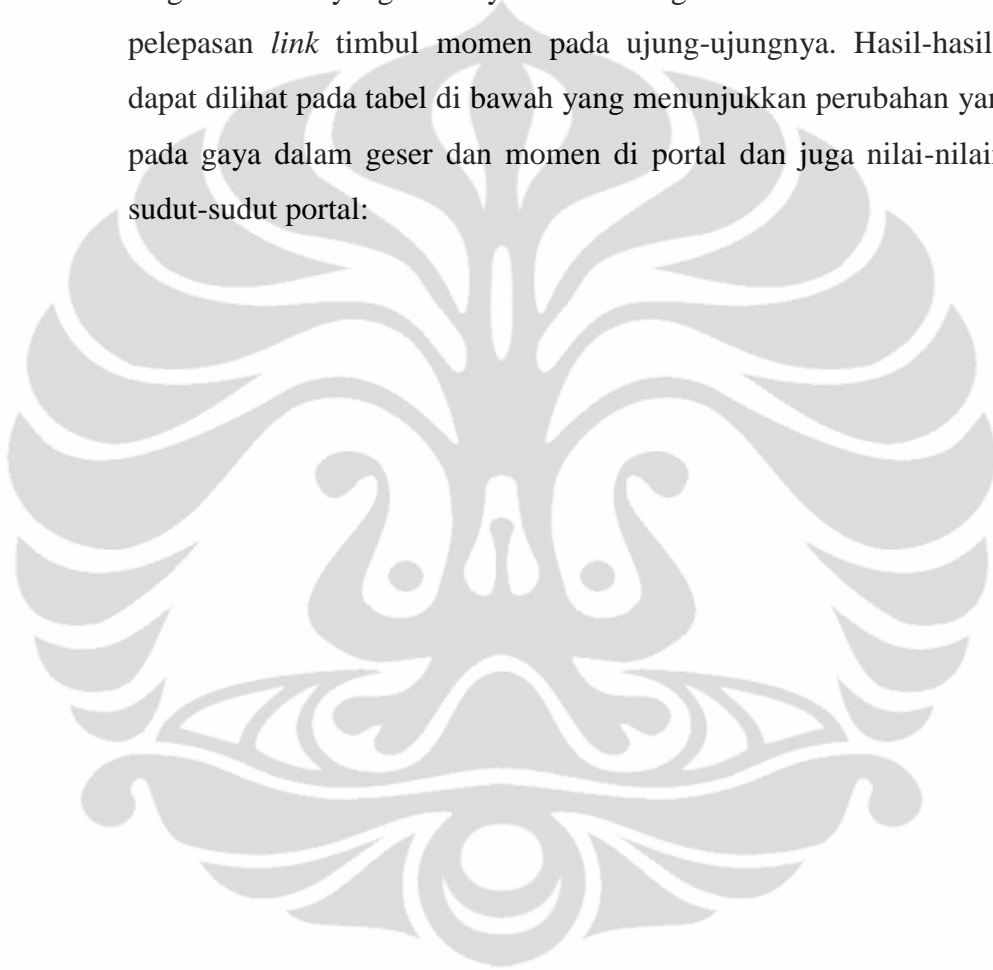


Gambar 4. 12 Distribusi Tegangan pada Seluruh Sisi Portal

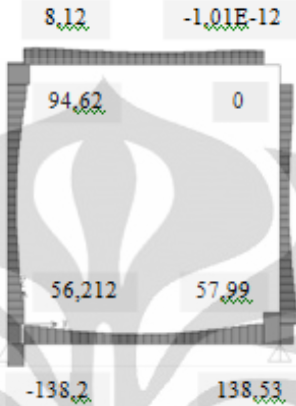
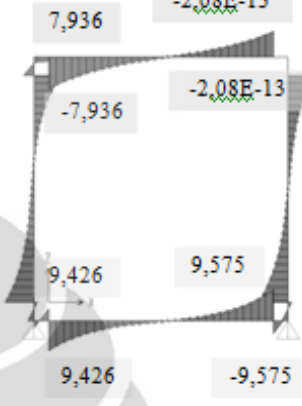
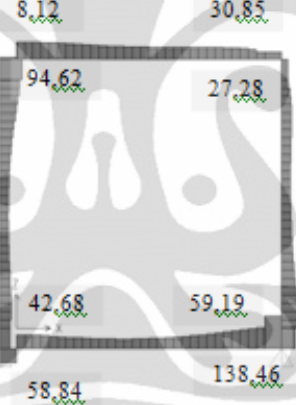
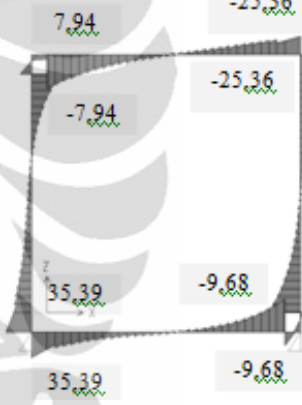
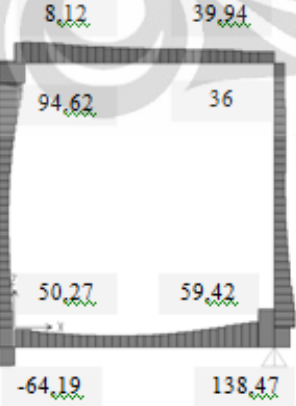
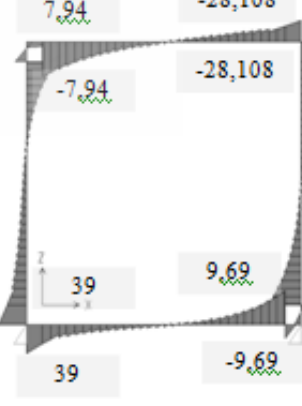
Grafik di atas menunjukkan bahwa tegangan maksimum (tarik) maupun minimum (tekan) pada masing-masing sisi berada di dekat daerah yang terjadi separasi. Pergerakan tegangan maksimum dan minimum ini bergerak dari daerah diagonal tarik mendekati diagonal tekannya, hal ini dikarenakan pada saat terjadi separasi, kekakuan tarik dinding ini berkurang. Dengan

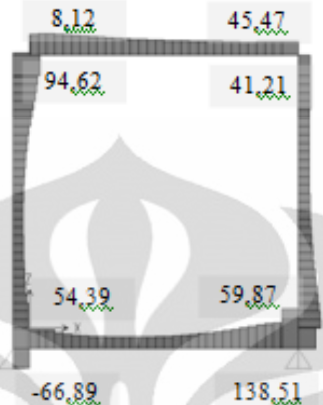
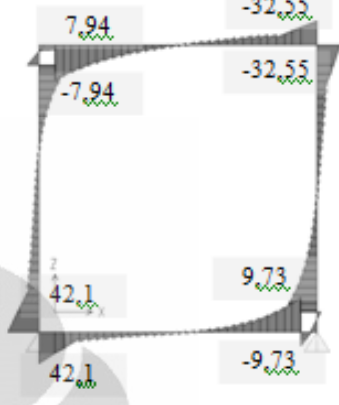

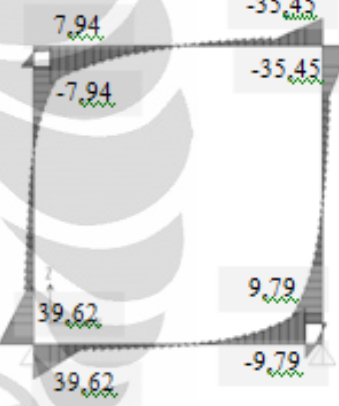
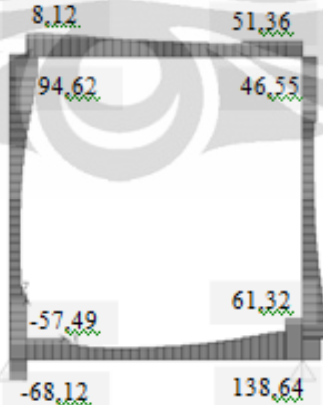
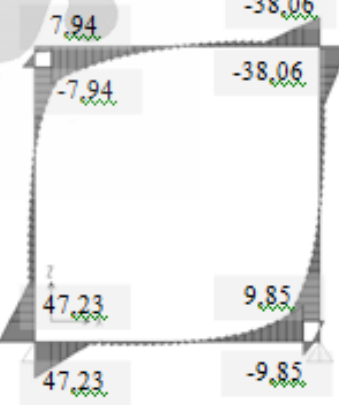
demikian kapasitas tarik yang dapat diterima berkurang sehingga gaya yang masuk diberikan ke diagonal tekannya.

Adapun perubahan yang terjadi pada portal yaitu pada gaya dalam geser dan momennya. Ketika *link* dilepas, diagonal tarik atas mengalami peningkatan gaya geser. Sedangkan gaya dalam momen portal, untuk kedua ujung diagonal tarik yang awalnya tidak mengalami momen ketika dilakukan pelepasan *link* timbul momen pada ujung-ujungnya. Hasil-hasil tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah yang menunjukkan perubahan yang terjadi pada gaya dalam geser dan momen di portal dan juga nilai-nilainya pada sudut-sudut portal:



Tabel 4. 6 Gaya Dalam Lintang dan Momen pada Pelepasan *Link*

Link yang Terlepas	<i>Shear 2-2</i> (kN)	<i>Moment 3-3</i> (kNm)
0		
1		
2		

Link yang Terlepas	<i>Shear 2-2 (kN)</i>	<i>Moment 3-3 (kNm)</i>
3		
4		
5		

- Pergerakan Elemen pada Dinding Bata Perbaikan
Untuk dinding bata perbaikan ini sama halnya dengan dinding bata utuh yang dilakukan pelepasan *link* pada daerah diagonal tarikannya. Berikut

merupakan tabel tegangan tarik dan tekan untuk masing-masing variasi plester dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1.

Tabel 4. 7 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan Plester Var-1

<i>Unlink</i>	Tegangan Tarik	No Elemen	Tegangan Tekan	No Elemen
0	1.241	13	-1.325	883
1	1.401	3	-1.806	902
2	1.406	63	-1.624	901
3	1.727	93	-1,686	842
4	2.014	123	-1.915	7
5	2.267	153	-2.165	8

Tabel 4. 8 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan Plester Var-2

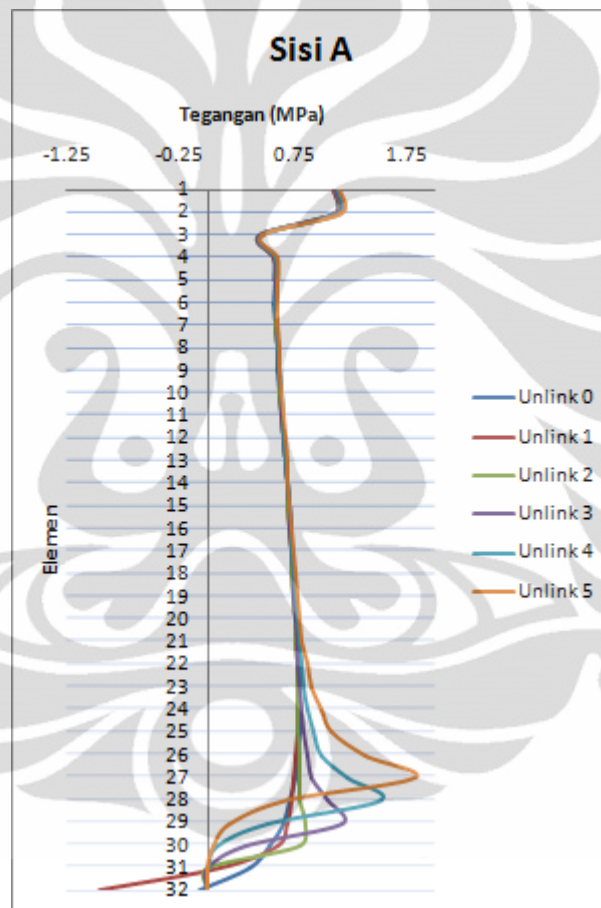
<i>Unlink</i>	Tegangan Tarik	No Elemen	Tegangan Tekan	No Elemen
0	1.242	13	-1.324	883
1	1.402	3	-1.806	902
2	1.406	63	-1.625	901
3	1.728	93	-1.686	842
4	2.015	123	-1.915	7
5	2.268	153	-2.166	8

Tabel 4. 9 Tegangan Tarik dan Tekan dan No. Elemen akibat Beban 500 kN dengan Perbaikan Plester Var-3

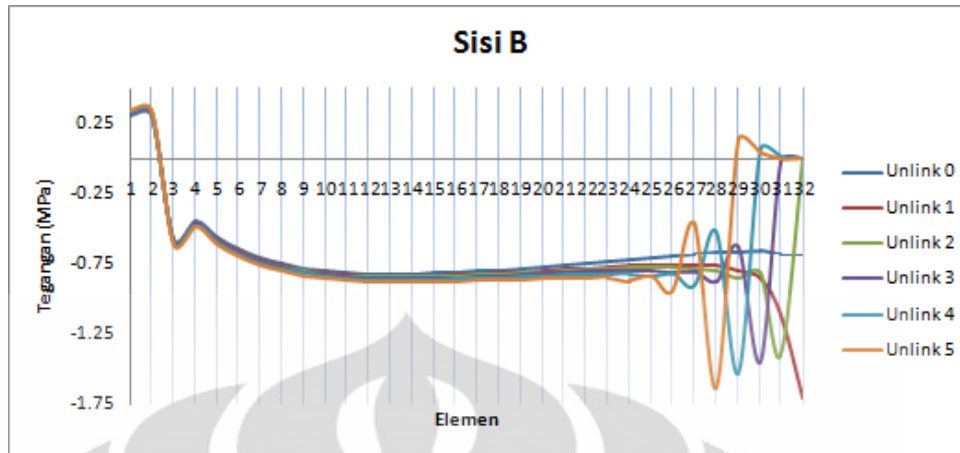
<i>Unlink</i>	Tegangan Tarik	No Elemen	Tegangan Tekan	No Elemen
0	1.242	13	-1.324	883
1	1.402	3	-1.806	902
2	1.406	63	-1.625	901
3	1.728	93	-1.686	842
4	2.015	123	-1.915	7
5	2.268	153	-2.166	8

Dari tabel di atas dapat diketahui untuk ketiga jenis variasi plester ini memiliki pergerakan elemen yang sama. Oleh karena itu akan diambil salah

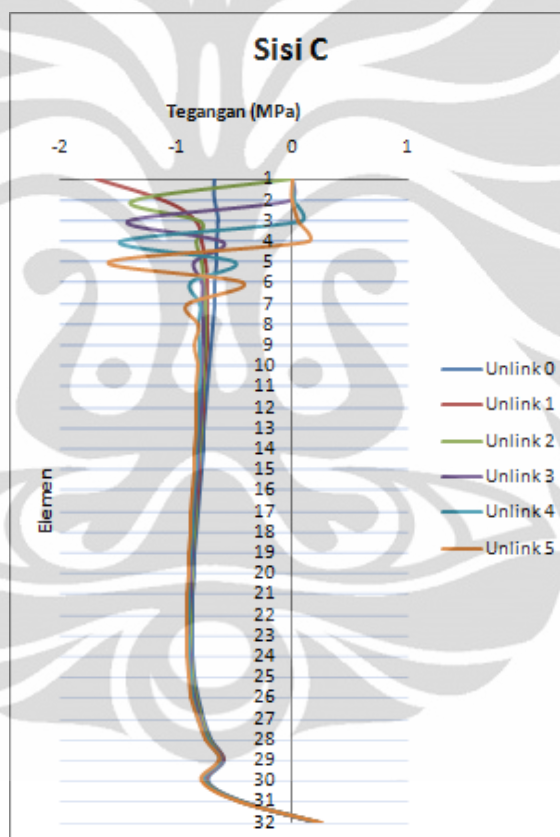
satu contoh saja untuk pembahasannya, yaitu digunakan variasi 2. Pergerakan elemen ini memiliki pergerakan elemen yang sama dengan dinding bata utuh, maka grafik hubungan antara elemen dengan tegangannya akan sama dengan dinding bata utuh, yaitu sisi A dan D akan ditinjau tegangan tariknya sedangkan sisi B dan C ditinjau tegangan tekannya. Berikut merupakan grafik hubungan antara elemen pengisi dengan tegangan yang terjadi baik untuk masing-masing sisi dan gabungannya.



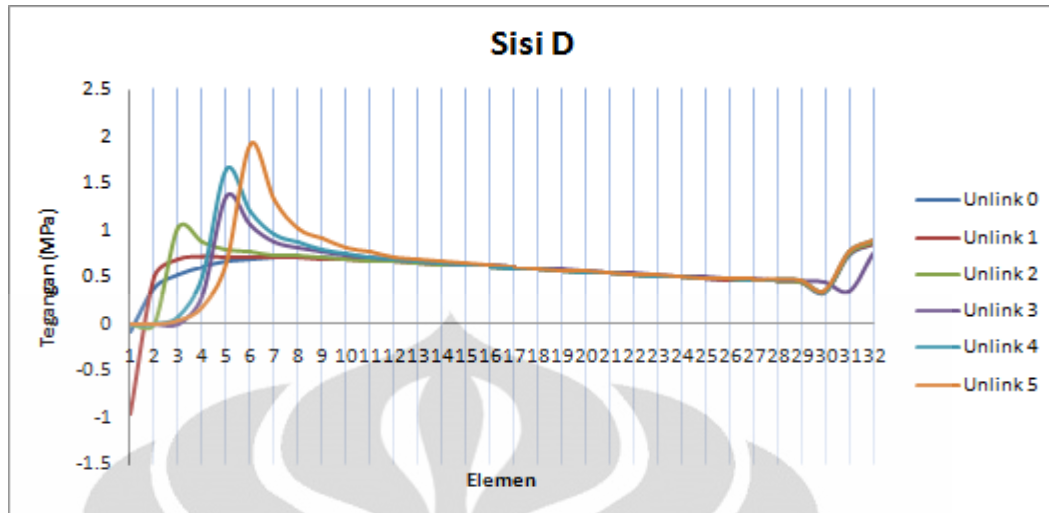
Gambar 4. 13 Distribusi Tegangan Tarik pada Sisi A



Gambar 4. 14 Distribusi Tegangan Tekan pada Sisi B

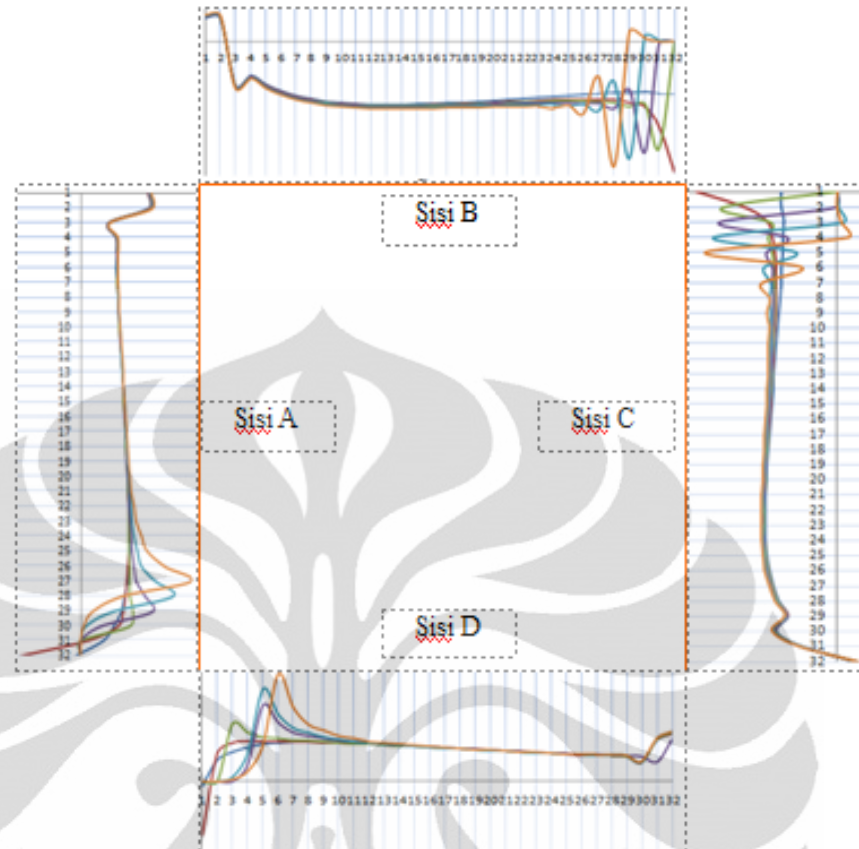


Gambar 4. 15 Distribusi Tegangan Tekan pada Sisi C



Gambar 4. 16 Distribusi Tegangan Tarik pada Sisi D

Pada dinding bata yang diperbaiki memiliki perilaku yang sama dengan dinding bata utuh mengenai pergerakan konsentrasi tegangan yang terjadi, yaitu pada saat *link* dilepas pertama kali mendekati diagonal tarikannya. Kemudian untuk pelepasan *link* kedua sampai kelima konsentrasi tegangan ini bergerak mendekati diagonal tekannya. Berikut merupakan rangkuman dari keempat grafik untuk masing-masing sisinya.



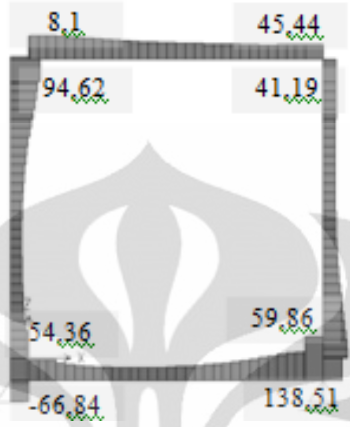
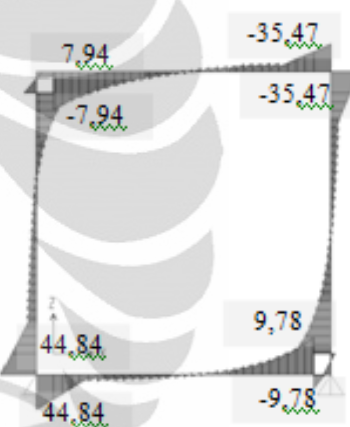
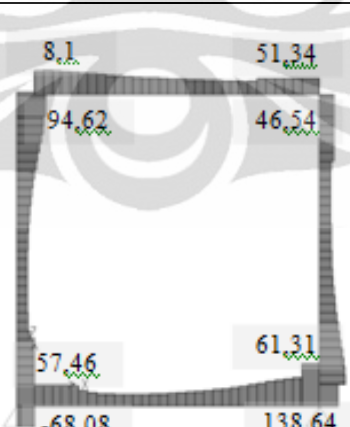
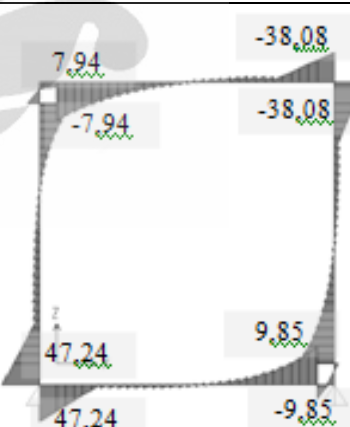
Gambar 4. 17 Distribusi Tegangan pada Seluruh Sisi Portal

Sama halnya dengan dinding utuh, dinding yang diperbaikipun menunjukkan bahwa tegangan maksimum (tarik) maupun minimum (tekan) bergerak dari daerah diagonal tarik mendekati diagonal tekannya, hal ini dikarenakan pada saat terjadi separasi, kekakuan tarik dinding ini berkurang. Dengan demikian kapasitas tarik yang dapat diterima berkurang sehingga gaya yang masuk diberikan ke diagonal tekannya.

Sama halnya dengan dinding panel bata utuh, pada saat panel merupakan dinding yang diperbaiki terjadi perubahan juga pada portal yaitu pada gaya dalam geser dan momennya. Ketika *link* dilepas, diagonal tarik atas mengalami peningkatan gaya geser. Sedangkan gaya dalam momen portal, untuk kedua ujung diagonal tarik yang awalnya tidak mengalami momen ketika dilakukan pelepasan *link* timbul momen pada ujung-ujungnya. Hasil-hasil tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah yang menunjukkan perubahan yang terjadi pada gaya dalam geser dan momen di portal:

Tabel 4. 10 Gaya Dalam Lintang dan Momen pada Pelepasan *Link*

Link yang Terlepas	<i>Shear 2-2</i> (kN)	<i>Moment 3-3</i> (kNm)
0		
1		
2		

Link yang Terlepas	Shear 2-2 (kN)	Moment 3-3 (kNm)
3		
4		
5		

4.2 Dinding pada Ruko (3B3S)

Dalam pembahasan kali ini mengenai ruko (dinding 3B3S) akan membandingkan beberapa kondisi dinding dan juga beberapa variasi letak. Hal-

hal yang akan dibandingkan yaitu periode natural struktur, gaya geser dasar, kekakuan lateral, dan juga kekuatannya.

4.2.1 Periode Natural dan Gaya Geser Dasar

- Periode Natural

Dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1 dapat diketahui periode natural struktur yang dilakukan dengan cara analisis modal. Pembebanan yang diberikan disesuaikan dengan masing-masing kondisi dinding. Berikut merupakan hasil yang didapatkan untuk beberapa jenis dinding dan variasi letak.

Tabel 4. 11 Periode Natural untuk Variasi Dinding Pengisi

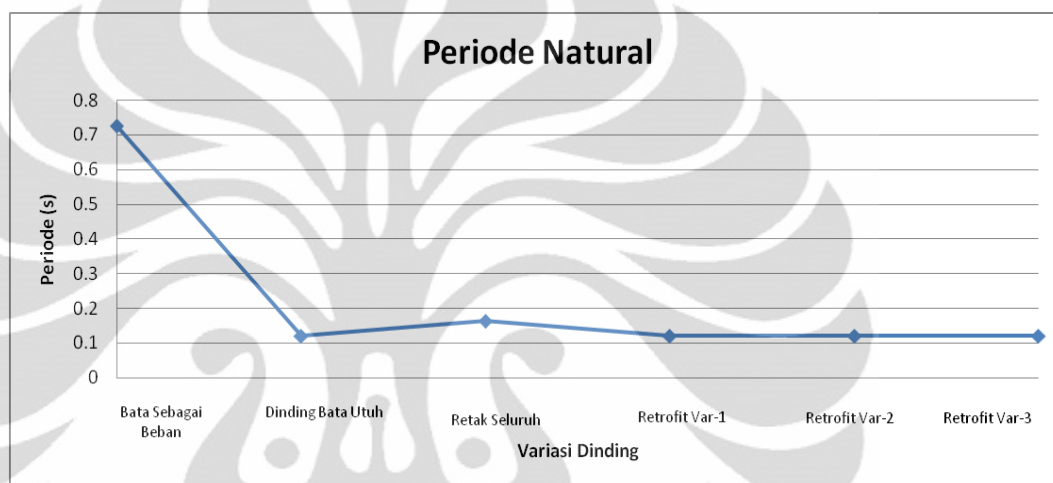
Variasi Dinding	Periode (detik)
Bata Sebagai Beban	0.726572
Dinding Bata Utuh	0.120511
Retak Seluruh	0.163181
Perbaikan Seluruh Var-1	0.120686
Perbaikan Seluruh Var-2	0.120626
Perbaikan Seluruh Var-3	0.12058

Tabel 4. 12 Periode Natural untuk Variasi Letak

Variasi Letak	Periode (detik)	
	Kondisi Retak	Setelah Perbaikan
1	0.133163	0.120545
2	0.134347	0.120556
3	0.130208	0.120545
4	0.148235	0.12059
5	0.148228	0.120588
6	0.137515	0.120553
7	0.126563	0.120505
8	0.159535	0.120631
9	0.163181	0.120626

Dari hasil di atas diketahui pada kondisi dinding pengisi yang berbeda terdapat perbedaan periode natural yang cukup signifikan, terutama untuk dinding bata yang hanya sebagai beban. Pada saat dinding bata dianggap sebagai komponen struktural periode yang dihasilkan akan menjadi jauh

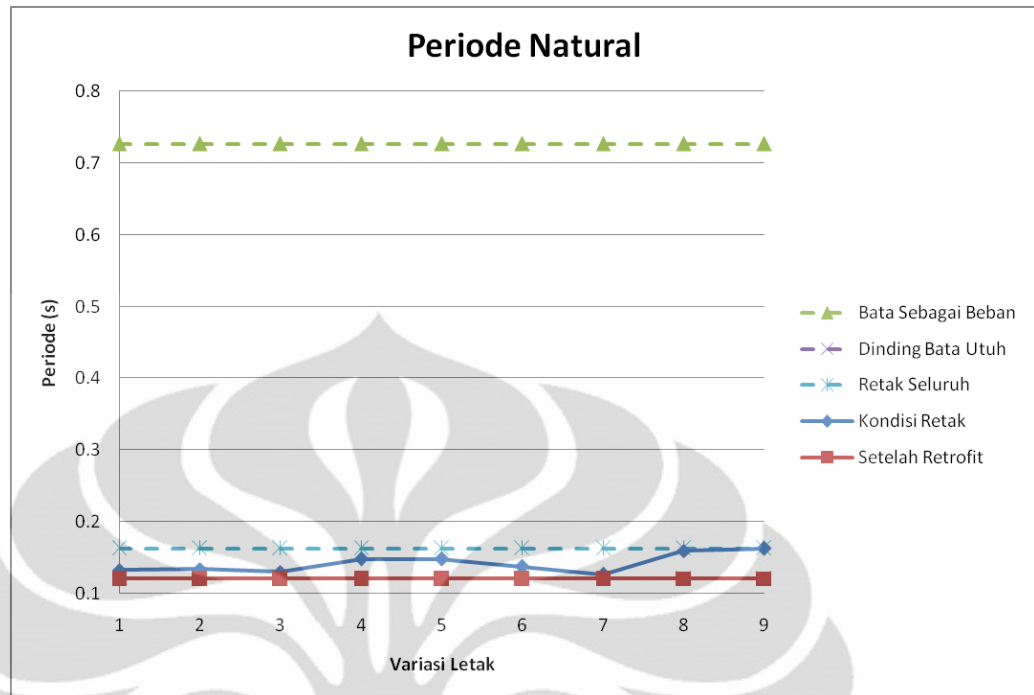
lebih kecil. Setelah dinding mengalami retak periode natural ini akan meningkat kembali, akan tetapi tidak mencapai kondisi dimana dinding hanya dianggap sebagai beban. Setelah dilakukan perbaikan dengan plester periode natural yang terjadi akan berkurang kembali. Meskipun tidak mengembalikan sampai kondisi dinding bata utuh, periode pada saat dilakukan perbaikan sangat mendekati kondisi dinding bata utuh terutama yang diperbaiki dengan plester var-3. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 18 Grafik Periode Natural untuk Variasi Dinding Pengisi

Terjadinya penurunan periode dari kondisi dinding bata sebagai beban ke kondisi bata sebagai komponen struktural mengindikasikan bahwa dinding bata ini menyumbangkan kekakuan yang cukup berarti untuk struktur ini. Dan pada saat dinding mengalami retak kekakuan yang dimiliki menurun yang diindikasikan dengan naiknya periode naturalnya. Setelah dilakukan perbaikan dengan plester kekakuan dinding akan meningkat kembali meskipun tidak seperti kondisi dimana dinding bata utuh.

Pada saat dilakukan perbandingan periode natural dengan melakukan variasi letak ternyata hasil yang didapatkan cukup bervariasi untuk kondisi dinding retak sebagian. Sedangkan variasi letak ini tidak terlalu berbeda untuk kondisi dinding yang dilakukan perbaikan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 19 Grafik Periode Natural untuk Variasi Letak

Dari beberapa variasi letak retak, yang memiliki periode natural terkecil yaitu pada saat retak berada pada lantai 3 (variasi letak 7). Sedangkan periode natural terbesar terjadi pada saat dinding retak seluruhnya (variasi letak 9). Dari hasil ini juga didapatkan bahwa untuk variasi letak lantai semakin ke atas periode natural yang terjadi akan semakin kecil.

- **Gaya Geser Dasar**

Gaya geser dasar didapatkan dengan mengaplikasikan gaya statik ekuivalen sesuai dengan SNI-03-1726-2002. Nilai C didapatkan dari periode natural untuk masing-masing variasi dan juga dari respon spektrum gempa wilayah 3 tanah lunak. Berikut merupakan gaya geser dasar untuk masing-masing variasi dinding dan variasi letaknya yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1.

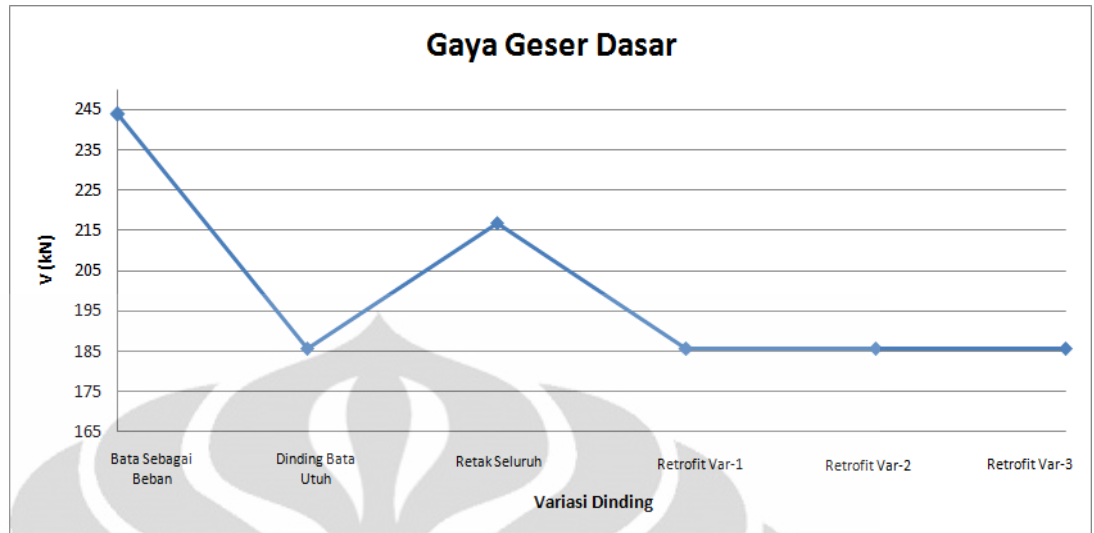
Tabel 4. 13 Gaya Geser Dasar untuk Variasi Dinding Pengisi

Variasi Dinding	V (kN)
Bata Sebagai Beban	243.821
Dinding Bata Utuh	185.678
Retak Seluruh	216.889
Perbaikan Seluruh Var-1	185.806
Perbaikan Seluruh Var-2	185.762
Perbaikan Seluruh Var-3	185.728

Tabel 4. 14 Gaya Geser Dasar untuk Variasi Letak

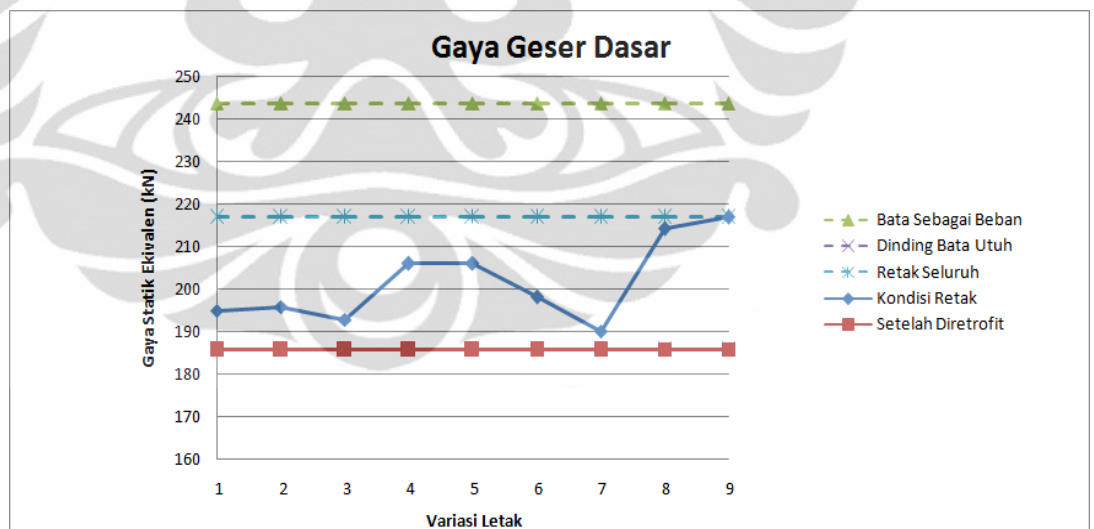
Variasi Letak	V (kN)	
	Kondisi Retak	Setelah Diperbaiki
1	194.932	185.703
2	195.798	185.711
3	192.771	185.703
4	205.957	185.735
5	205.952	185.734
6	198.115	185.708
7	190.104	185.673
8	214.222	185.765
9	216.889	185.762

Hasil dari gaya geser dasar ini memiliki kesamaan dengan periode natural yang terjadi, yang mana pada kondisi dinding pengisi yang berbeda terdapat perbedaan gaya geser dasar yang cukup signifikan, terutama untuk dinding bata yang hanya sebagai beban. Pada saat dinding bata dianggap sebagai komponen struktural, gaya geser dasar yang dihasilkan akan menjadi jauh lebih kecil. Setelah dinding mengalami retak gaya geser dasar ini akan meningkat kembali, akan tetapi tidak mencapai kondisi dimana dinding hanya dianggap sebagai beban. Setelah dilakukan perbaikan dengan plester gaya geser dasar yang terjadi akan berkurang kembali. Meskipun tidak mengembalikan sampai kondisi dinding bata utuh, gaya geser dasar pada saat dilakukan perbaikan sangat mendekati kondisi dinding bata utuh terutama yang diperbaiki dengan plester var-3. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 20 Grafik Gaya Geser Dasar untuk Variasi Dinding Pengisi

Untuk perbandingan gaya geser dasar dengan melakukan variasi letak ternyata hasil yang didapatkan cukup bervariasi untuk kondisi dinding retak sebagian. Sedangkan variasi letak ini tidak terlalu berbeda untuk kondisi dinding yang dilakukan perbaikan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 21 Grafik Gaya Geser Dasar untuk Variasi Letak

Dari beberapa variasi letak retak, yang memiliki gaya geser dasar terkecil yaitu pada saat retak berada pada lantai 3 (variasi letak 7). Sedangkan gaya geser dasar terbesar terjadi pada saat dinding retak seluruhnya (variasi letak 9). Sama halnya dengan analisis periode natural, dari hasil ini juga

didapatkan bahwa untuk variasi letak lantai semakin ke atas gaya geser dasar yang terjadi akan semakin kecil.

4.2.2 Persentase Gaya Geser Dasar yang Diterima Kolom dan Dinding Bata

Gaya geser dasar yang terjadi akibat terjadinya gempa yang mengenai struktur bangunan akan diterima oleh struktur pada bagian bawah. Gaya ini akan diterima oleh struktur yang bersentuhan langsung dengan tanah. Pada kasus ini struktur yang bersentuhan dengan tanah yaitu kolom lantai dasar dan juga dinding pengisi pada lantai dasar pula. Gaya geser yang diterima kolom didapatkan dengan menjumlahkan gaya geser yang diterima oleh masing-masing kolom (K1, K2, K3, dan K4) yang kemudian dibandingkan dengan gaya geser yang mengenai struktur tersebut. Setelah didapatkan gaya geser yang diterima kolom baru bisa didapatkan gaya geser yang diterima dinding pengisi dengan mengurangi gaya geser dasar dengan gaya geser yang diterima kolom. Berikut merupakan tabel hasil dari gaya geser yang diterima kolom dan dinding pengisi untuk masing-masing jenis dinding dan juga untuk masing-masing variasi letak.

Tabel 4. 15 Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom dan Dinding Pengisi untuk Variasi Dinding Pengisi

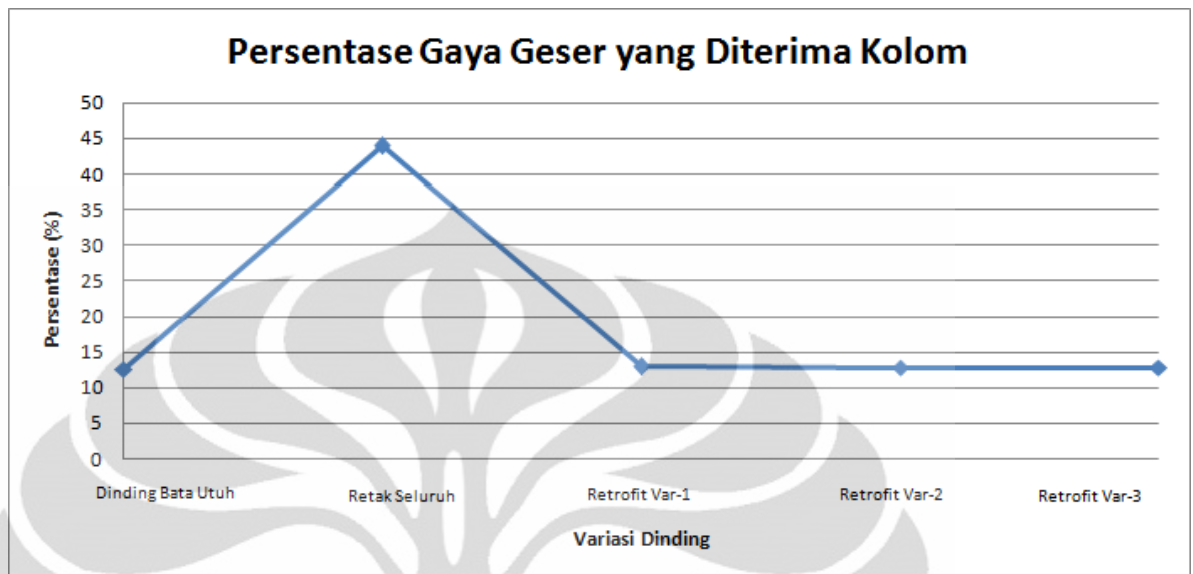
Variasi Dinding	Gaya Geser Dasar (kN)	Gaya Diterima Kolom (kN)	Persentase (%)	Gaya Diterima Dinding (kN)	Persentase (%)
Dinding Bata Utuh	185.678	23.441	12.625	162.237	87.375
Retak Seluruh	216.889	95.239	43.911	121.650	56.089
Perbaikan Seluruh Var-1	185.806	23.929	12.879	161.877	87.121
Perbaikan Seluruh Var-2	185.762	23.766	12.794	161.996	87.206
Perbaikan Seluruh Var-3	185.728	23.661	12.740	162.067	87.260

Tabel 4. 16 Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom dan Dinding
Pengisi untuk Variasi Letak

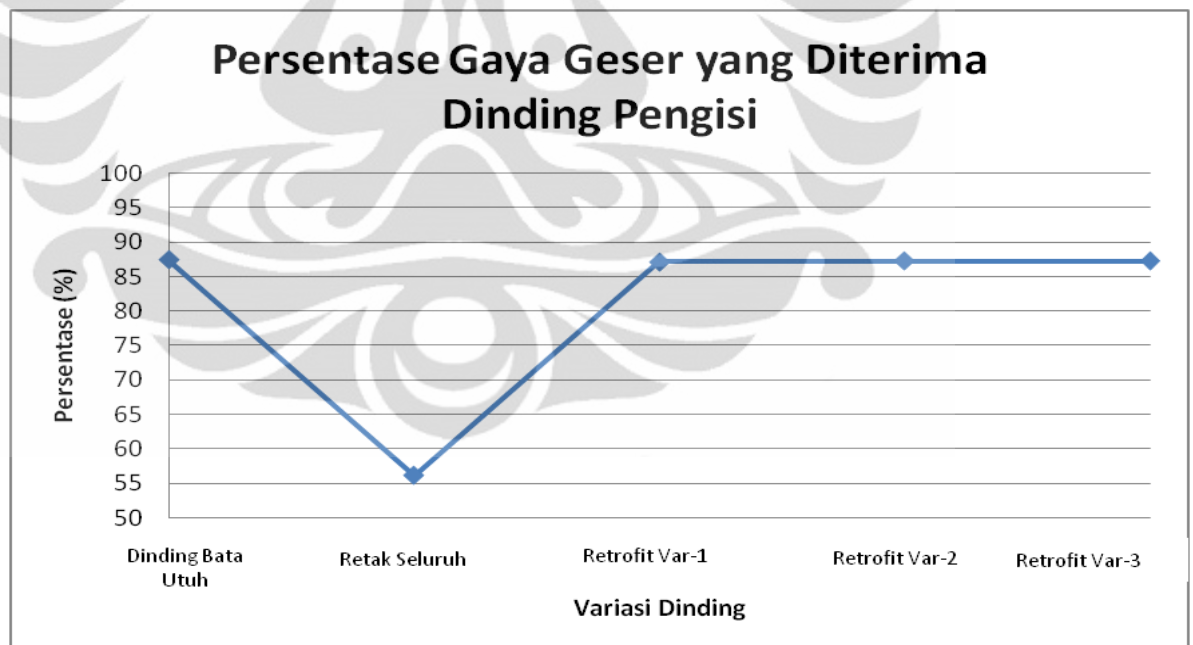
	Variasi Letak	Gaya Geser Dasar (kN)	Gaya yang Diterima Kolom (kN)	Persentase (%)	Gaya yang Diterima Dinding (kN)	Persentase (%)
Kondisi Retak	1	194.932	51.146	26.238	143.786	73.762
	2	195.798	33.851	17.289	161.947	82.711
	3	192.771	33.851	17.560	158.920	82.440
	4	205.957	67.712	32.877	138.245	67.123
	5	205.952	88.583	43.012	117.369	56.988
	6	198.115	27.727	13.995	170.388	86.005
	7	190.104	24.201	12.730	165.903	87.270
	8	214.222	94.111	43.931	120.111	56.069
	9	216.889	95.239	43.911	121.650	56.089
Setelah Diperbaiki	1	185.703	23.559	12.686	162.144	87.314
	2	185.711	23.539	12.675	162.172	87.325
	3	185.703	23.555	12.684	162.148	87.316
	4	185.735	23.656	12.736	162.079	87.264
	5	185.734	23.766	12.796	161.968	87.204
	6	185.708	23.449	12.627	162.259	87.373
	7	185.673	23.441	12.625	162.232	87.375
	8	185.765	23.773	12.797	161.992	87.203
	9	185.762	23.766	12.794	161.996	87.206

Dari hasil di atas diketahui bahwa gaya geser yang diterima kolom untuk kondisi dinding utuh hanya 12,625% dari gaya geser dasarnya. Sisa gaya geser yang mengenai struktur akan diterima oleh dinding pengisi dengan persentase 87,375%. Pada saat dinding pengisi ini mengalami retak, dinding pengisi masih tetap menerima gaya geser meskipun tidak sebesar pada saat dinding utuh. Kemudian setelah dilakukan perbaikan dengan plester dinding pengisi ini kembali menerima gaya geser dasar yang cukup besar, akan tetapi dinding yang diperbaiki ini belum bisa menerima gaya geser sebesar yang diterima jika dinding pengisinya utuh. Untuk jenis variasi plester yang dapat menerima gaya geser terbesar yaitu perbaikan dengan var-3. Lebih

jelasan bisa dilihat pada grafik persentase gaya geser yang diterima kolom dan dinding pengisi di bawah ini.



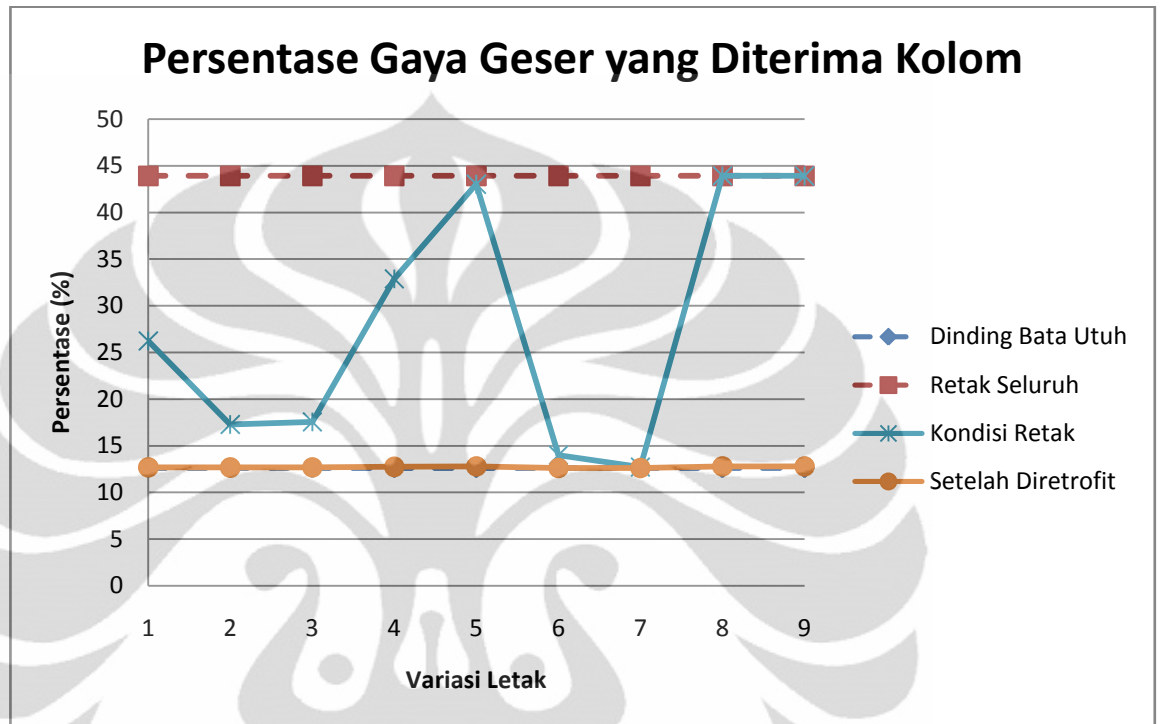
Gambar 4. 22 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom untuk Variasi Dinding Pengisi



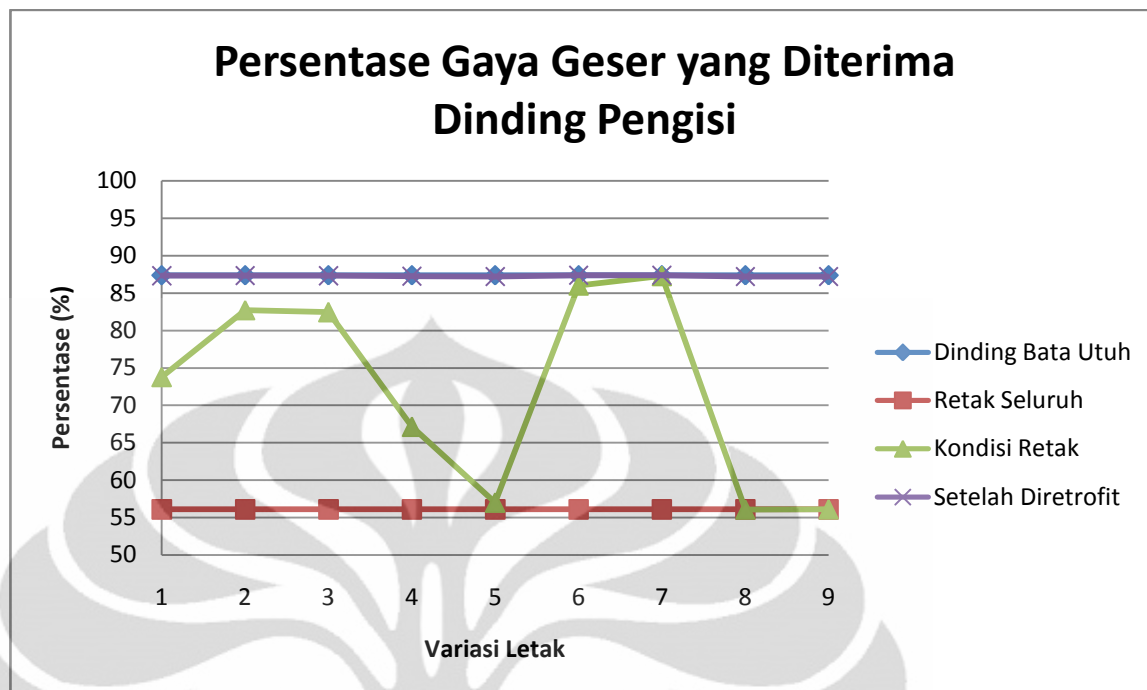
Gambar 4. 23 Grafik Gaya Geser yang Diterima Dinding Pengisi untuk Variasi Dinding Pengisi

Apabila dilihat pada variasi letaknya, pada kondisi dinding retak menghasilkan perbedaan yang cukup signifikan antar letak retaknya.

Berbeda dengan kondisi dinding yang diperbaiki, persentase gaya geser yang diterima kolom atau dinding pengisi untuk kondisi ini hampir sama dengan kondisi dinding bata utuh pada semua variasi letak. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 24 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Kolom untuk Variasi Letak



Gambar 4. 25 Grafik Persentase Gaya Geser yang Diterima Dinding Pengisi untuk Variasi Letak

Bisa terlihat dari grafik persentase gaya geser yang diterima kolom bahwa pada kondisi retak terdapat dua kondisi letak retak yang hampir sama dengan kondisi dinding retak seluruhnya, yaitu pada saat retak berada pada lantai 1 (variasi letak 5) dan lantai 1, 2 (variasi letak 8). Selain itu ada juga dua kondisi letak retak yang memiliki persentase gaya geser yang diterima kolom yang mendekati keadaan dinding utuh, yaitu pada saat letak berada pada lantai 2 (variasi letak 6) dan lantai 3 (variasi letak 7).

4.2.3 Kekakuan Lateral

Di sini kekakuan struktur yang dibahas yaitu kekakuan arah lateralnya, hal ini dikarenakan gaya yang diaplikasikan ke struktur merupakan gaya *inplane*. Angka kekakuan ini didapatkan dari gaya geser lantai dibagi dengan *drift* yang terjadi. Gaya geser lantai didapat dari perhitungan berdasar SNI-03-1726-2002 yang merupakan akumulasi gaya statik ekuivalen dari lantai di atasnya dan untuk *drift* yang merupakan selisih lendutan yang terjadi didapat dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v.14.1. Berikut merupakan tabel statik ekuivalen dan lendutan tiap lantai, kemudian disertai dengan tabel gaya geser tiap lantai dan juga

drift yang terjadi. Berikut merupakan tabelnya untuk beberapa variasi dinding dan juga variasi letak.

Tabel 4. 17 Gaya Statik Ekuivalen dan Lendutan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi

Model	Gaya Statik Ekuivalen (kN)			Lendutan (mm)		
	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Frame Tanpa Bata	47.444	97.546	98.830	8.8241	16.9382	21.4717
Dinding Bata Utuh	36.130	74.285	75.263	0.1670	0.3162	0.4135
Retak Seluruh	42.204	86.772	87.914	0.4286	0.7112	0.8756
Perbaikan Seluruh V-1	36.155	74.336	75.314	0.1678	0.3176	0.4153
Perbaikan Seluruh V-2	36.147	74.318	75.297	0.1676	0.3172	0.4148
Perbaikan Seluruh V-3	36.140	74.305	75.283	0.1674	0.3169	0.4144

Tabel 4. 18 Gaya Statik Ekuivalen dan Lendutan Tiap Lantai untuk Variasi Letak

	Variasi Letak	Gaya Statik Ekuivalen (kN)			Lendutan (mm)		
		Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Kondisi Retak	1	37.931	77.987	79.014	0.2155	0.4036	0.5257
	2	38.100	78.334	79.365	0.2247	0.4175	0.5466
	3	37.511	77.122	78.138	0.2293	0.4014	0.5041
	4	40.077	82.398	83.482	0.2917	0.5335	0.6922
	5	40.076	82.396	83.480	0.3819	0.5467	0.6541
	6	38.551	79.261	80.304	0.1998	0.4709	0.5754
	7	36.992	76.056	77.057	0.1722	0.3314	0.4911
	8	41.685	85.705	86.833	0.4212	0.6920	0.8016
	9	42.204	86.772	87.914	0.4286	0.7112	0.8756
Setelah Diperbaiki	1	36.135	74.295	75.273	0.1672	0.3165	0.4139
	2	36.137	74.298	75.276	0.1672	0.3166	0.4140
	3	36.135	74.295	75.273	0.1672	0.3165	0.4139
	4	36.142	74.308	75.286	0.1674	0.3169	0.4144
	5	36.141	74.307	75.285	0.1675	0.3168	0.4141
	6	36.136	74.297	75.275	0.1671	0.3166	0.4140
	7	36.130	74.283	75.261	0.1670	0.3162	0.4137
	8	36.148	74.320	75.298	0.1676	0.3172	0.4146
	9	36.147	74.318	75.297	0.1676	0.3172	0.4148

Tabel 4. 19 Gaya Geser Lantai dan *Drift* tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi

Model	Gaya Geser Lantai (kN)			<i>Drift</i> (mm)		
	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Frame Tanpa Bata	243.821	196.376	98.830	8.8241	8.1141	4.5335
Dinding Bata Utuh	185.678	149.547	75.263	0.1670	0.1492	0.0973
Retak Seluruh	216.889	174.685	87.914	0.4286	0.2826	0.1644
Perbaikan Seluruh V-1	185.806	149.650	75.314	0.1678	0.1498	0.0977
Perbaikan Seluruh V-2	185.762	149.615	75.297	0.1676	0.1496	0.0976
Perbaikan Seluruh V-3	185.728	149.588	75.283	0.1674	0.1495	0.0975

Tabel 4. 20 Gaya Geser Lantai dan *Drift* tiap Lantai untuk Variasi Letak

	Variasi Letak	Gaya Geser Lantai (kN)			<i>Drift</i> (mm)		
		Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Kondisi Retak	1	194.932	157.001	79.014	0.2155	0.1881	0.1221
	2	195.798	157.698	79.365	0.2247	0.1929	0.1290
	3	192.771	155.260	78.138	0.2293	0.1721	0.1027
	4	205.957	165.880	83.482	0.2917	0.2418	0.1587
	5	205.952	165.876	83.480	0.3819	0.1648	0.1074
	6	198.115	159.565	80.304	0.1998	0.2710	0.1045
	7	190.104	153.113	77.057	0.1722	0.1591	0.1598
	8	214.222	172.537	86.833	0.4212	0.2708	0.1096
	9	216.889	174.685	87.914	0.4286	0.2826	0.1644
Setelah Diperbaiki	1	185.703	149.567	75.273	0.1672	0.1493	0.0974
	2	185.711	149.574	75.276	0.1672	0.1494	0.0974
	3	185.703	149.567	75.273	0.1672	0.1493	0.0974
	4	185.735	149.594	75.286	0.1674	0.1495	0.0975
	5	185.734	149.593	75.285	0.1675	0.1493	0.0974
	6	185.708	149.572	75.275	0.1671	0.1496	0.0974
	7	185.673	149.544	75.261	0.1670	0.1492	0.0975
	8	185.765	149.618	75.298	0.1676	0.1496	0.0974
	9	185.762	149.615	75.297	0.1676	0.1496	0.0976

Dari hasil di atas maka bisa diketahui nilai kekakuan tiap lantai untuk struktur 3B3S ini yang terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 21 Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi

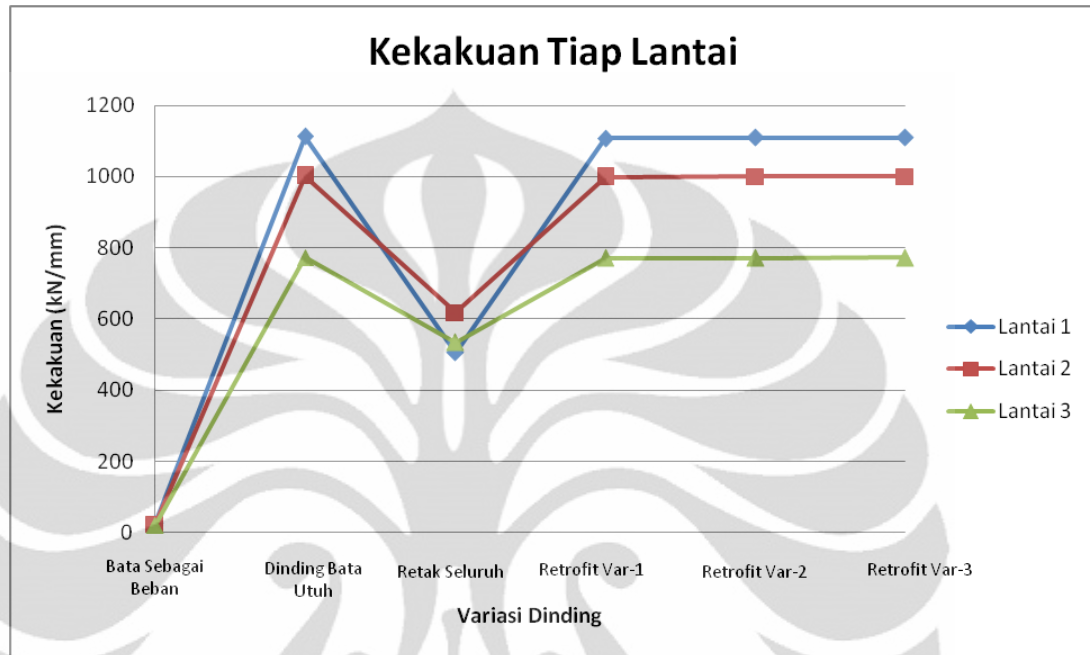
Model	Kekakuan (kN/mm)		
	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Frame Tanpa Bata	27.631	24.202	21.800
Dinding Bata Utuh	1111.815	1002.320	773.295
Retak Seluruh	506.052	618.149	534.710
Perbaikan Seluruh V-1	1107.166	998.887	771.182
Perbaikan Seluruh V-2	1108.608	999.859	771.719
Perbaikan Seluruh V-3	1109.633	1000.587	772.157

Tabel 4. 22 Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Letak

	Variasi Letak	Kekakuan (kN/mm)		
		Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Kondisi Retak	1	904.566	834.831	647.022
	2	871.415	817.725	615.011
	3	840.662	901.940	761.152
	4	706.001	686.005	526.168
	5	539.307	1006.243	777.212
	6	991.326	588.693	768.813
	7	1103.885	962.101	482.263
	8	508.591	637.057	792.494
	9	506.052	618.149	534.710
Setelah Diperbaiki	1	1110.887	1001.528	772.700
	2	1110.696	1001.357	772.520
	3	1110.654	1001.602	773.081
	4	1109.763	1000.573	771.934
	5	1108.820	1002.134	773.244
	6	1111.593	1000.093	773.066
	7	1111.822	1002.256	771.992
	8	1108.597	999.919	773.017
	9	1108.608	999.859	771.719

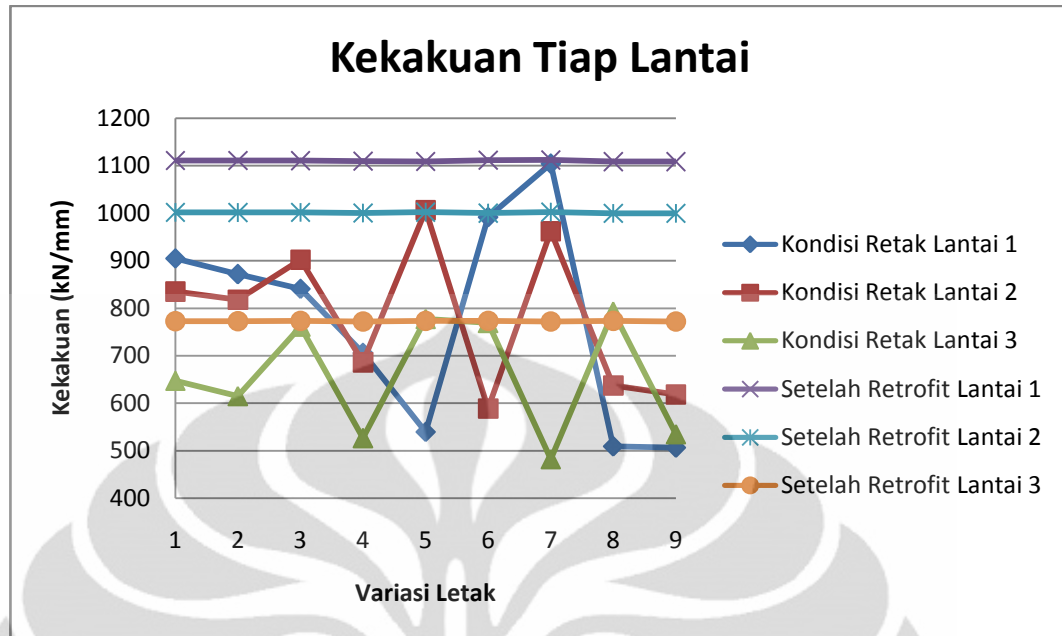
Dari hasil di atas bisa diketahui bahwa nilai kekakuan tiap lantai memiliki keseragaman, yaitu kekakuan yang terbesar terjadi pada lantai 1 dan

yang terkecil terjadi pada lantai 3. Akan tetapi terdapat satu perbedaan untuk dinding dengan keadaan retak, pada dinding ini kekakuan terkecilnya justru terjadi di lantai 1 sedangkan yang terbesar terjadi pada lantai 2. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 26 Grafik Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Dinding Pengisi

Apabila dilihat pada saat dilakukan variasi terhadap letak retak, untuk kondisi dinding retak hasil yang didapatkan tidak memiliki keseragaman pada tiap lantainya. Berbeda dengan kondisi dimana dinding sudah dilakukan perbaikan. Setelah dinding diperbaiki kekakuan yang dihasilkan untuk lantai 1 lebih besar disbanding dengan kekakuan lantai 2 dan 3. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 27 Grafik Kekakuan Tiap Lantai untuk Variasi Letak

Selain itu ada pula kekakuan dari seluruh struktur yang merupakan kekakuan arah lateral juga. Kekakuan struktur ini didapatkan dari gaya geser dasar yang dibagi dengan lendutan puncaknya. Berikut merupakan hasil dari kekakuan struktur untuk masing-masing jenis dinding dan juga variasi letaknya.

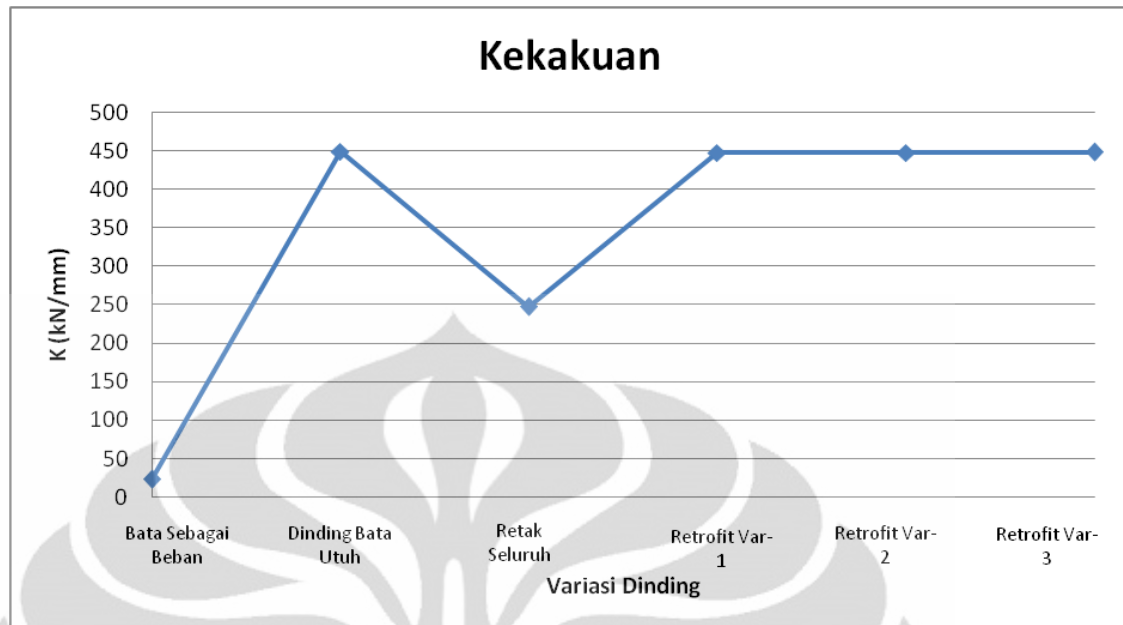
Tabel 4. 23 Kekakuan Struktur untuk Variasi Dinding Pengisi

Variasi Dinding	Gaya Geser Dasar (kN)	Lendutan Lantai 3 (mm)	Kekakuan (kN/mm)
Bata Sebagai Beban	243.821	21.4717	11.355
Dinding Bata Utuh	185.678	0.4135	449.039
Retak Seluruh	216.889	0.8756	247.703
Perbaikan Seluruh Var-1	185.806	0.4153	447.401
Perbaikan Seluruh Var-2	185.762	0.4148	447.834
Perbaikan Seluruh Var-3	185.728	0.4144	448.186

Tabel 4. 24 Kekakuan Struktur untuk Variasi Letak

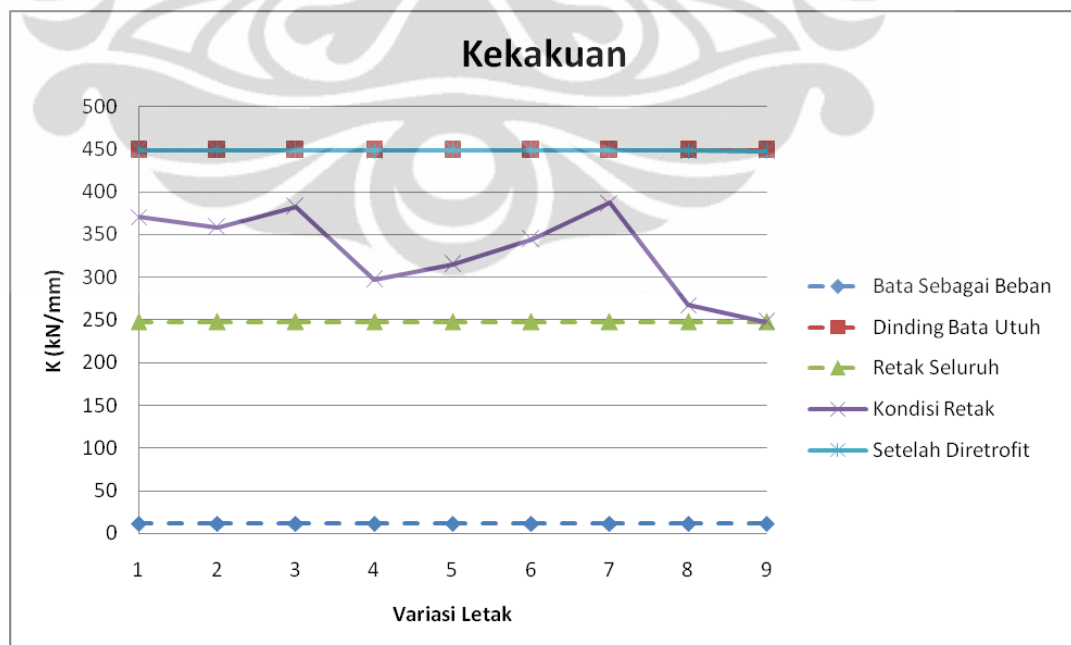
	Variasi Letak	Gaya Geser Dasar (kN)	Lendutan Lantai 3 (mm)	Kekakuan (kN/mm)
Kondisi Retak	1	194.932	0.5257	370.805
	2	195.798	0.5466	358.211
	3	192.771	0.5041	382.406
	4	205.957	0.6922	297.539
	5	205.952	0.6541	314.863
	6	198.115	0.5753	344.369
	7	190.104	0.4911	387.099
	8	214.222	0.8016	267.243
	9	216.889	0.8756	247.703
Setelah Diperbaiki	1	185.703	0.4139	448.665
	2	185.711	0.4140	448.576
	3	185.703	0.4139	448.665
	4	185.735	0.4144	448.203
	5	185.734	0.4141	448.524
	6	185.708	0.4140	448.571
	7	185.673	0.4137	448.811
	8	185.765	0.4146	448.059
	9	185.762	0.4148	447.834

Untuk variasi dinding pengisi dapat dilihat bahwa dinding bata yang sebagai komponen struktural menyumbangkan kekakuan yang sangat besar. Terlihat dari peningkatan kekakuan yang besar dari kondisi dinding bata sebagai beban ke dinding bata sebagai komponen struktural (dinding bata utuh). Pada saat dinding mengalami retak kekakuan dinding ini menjadi turun kembali, meskipun penurunannya cukup besar tetapi dinding ini masih menyumbangkan kekakuan ke struktur. Setelah dilakukan perbaikan, kekakuan struktur kembali seperti pada saat dinding utuh, meskipun tidak sepenuhnya kembali. Untuk variasi plester yang digunakan, plester dengan var-3 yang dapat mengembalikan kekakuan terbesar dibanding dengan dua variasi lainnya. Perbaikan dengan menggunakan plester dengan var-3, kekakuannya hanya berada 0,853 kN/mm di bawah kekakuan struktur dengan dinding utuh. Berikut merupakan grafik yang menjelaskan hubungan kekakuan untuk variasi dinding pengisinya.



Gambar 4. 28 Grafik Kekakuan Struktur untuk Variasi Dinding Pengisi

Sama halnya dengan periode natural dan gaya geser dasar, apabila dilihat berdasarkan variasi letaknya kondisi disaat dinding mengalami retak sebagian memiliki variasi nilai kekakuan yang cukup berbeda sedangkan untuk kondisi saat dinding sudah diperbaiki tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Lebih jelasnya bisa dilihat pada grafik di bawah.



Gambar 4. 29 Grafik Kekakuan Struktur untuk Variasi Letak

Untuk kondisi dinding retak sebagian yang memiliki kekakuan paling besar yaitu pada saat retak berada pada lantai 3 (variasi 7). Sedangkan kekakuan terkecil terjadi pada saat dinding retak seluruhnya (variasi letak 9). Berbeda dengan analisis periode natural dan gaya geser dasar, dari hasil ini didapatkan bahwa untuk variasi letak lantai semakin ke atas kekakuan yang terjadi akan semakin besar.

4.2.4 Panel Dinding

Dalam analisis kekuatan akan dilihat pada panel dinding yang terkena beban nominal statik ekuivalen. Telah diketahui sebelumnya bahwa panel dinding dapat menanggung gaya geser yang cukup besar. Oleh karena itu akan untuk mengetahui kinerja panel dinding akan dilakukan pengecekan terhadap tegangan tarik dan tekan yang diterima oleh panel dinding pada daerah sekitar retak. Berikut merupakan hasil dari tegangan tarik dan tekan yang diterima panel dinding dan perbandingannya dengan tegangan maksimum dan minimum masing-masing material.

Tabel 4. 25 Tegangan Utama Elemen Plester Variasi Dinding Pengisi

Variasi Dinding	Max (MPa)	Cek	Min (MPa)	Cek
Perbaikan Seluruh Var-1	0.737	NOT OKE	-1.48	OKE
Perbaikan Seluruh Var-2	0.818	NOT OKE	-1.665	OKE
Perbaikan Seluruh Var-3	0.886	NOT OKE	-1.822	OKE

Tabel 4. 26 Tegangan Utama Elemen Plester Variasi Letak

Variasi Dinding	Max (MPa)	Cek	Min (MPa)	Cek
Perbaikan b-1	0.817	NOT OKE	-1.242	OKE
Perbaikan b-2	0.246	OKE	-1.22	OKE
Perbaikan b-3	0.194	OKE	-1.662	OKE
Perbaikan b-1,2	0.818	NOT OKE	-1.242	OKE
Perbaikan s-1	0.818	NOT OKE	-1.664	OKE
Perbaikan s-2	0.677	NOT OKE	-1.24	OKE
Perbaikan s-3	0.237	OKE	-1.241	OKE
Perbaikan s-1,2	0.818	NOT OKE	-1.665	OKE
Perbaikan Seluruh	0.818	NOT OKE	-1.665	OKE

Tabel 4. 27 Tegangan Utama Elemen Dinding Bata Variasi Dinding Pengisi

Variasi Dinding	Max (MPa)	Cek	Min (MPa)	Cek
Dinding Bata Utuh	0.353	NOT OKE	-0.744	OKE
Perbaikan Seluruh Var-1	0.136	OKE	-0.124	OKE
Perbaikan Seluruh Var-2	0.136	OKE	-0.124	OKE
Perbaikan Seluruh Var-3	0.136	OKE	-0.124	OKE

Tabel 4. 28 Tegangan Utama Elemen Dinding Bata Variasi Letak

Variasi Dinding	Max (MPa)	Cek	Min (MPa)	Cek
Perbaikan b-1	0.128	OKE	-0.092	OKE
Perbaikan b-2	0.136	OKE	-0.091	OKE
Perbaikan b-3	0.113	OKE	-0.123	OKE
Perbaikan b-1,2	0.136	OKE	-0.092	OKE
Perbaikan s-1	0.136	OKE	-0.124	OKE
Perbaikan s-2	0.107	OKE	-0.092	OKE
Perbaikan s-3	0.058	OKE	-0.073	OKE
Perbaikan s-1,2	0.136	OKE	-0.124	OKE
Perbaikan Seluruh	0.136	OKE	-0.124	OKE

Dari hasil 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. Apabila ditinjau dari tegangan tariknya, elemen plester untuk kebanyakan model variasi letak mengalami kegagalan. Hal ini dikarenakan tegangan tarik yang terjadi di dalamnya melampaui tegangan tarik plester. Dapat terlihat juga bahwa hanya variasi model perbaikan di b-2, b-3, dan s-3 yang tidak mengalami kegagalan tarik pada plester. Sedangkan pada elemen dinding bata, tidak ditemukan kegagalan terhadap tarik. Dengan demikian dapat dikatakan perbaikan yang digunakan dalam penelitian ini dapat menjaga daerah dinding bata di sekitar letak retaknya tidak mengalami retak akibat pembebanan gempa nominal yang bersesuaian.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Penggunaan plester sebagai material perbaikan dinding bata yang retak dapat meningkatkan kinerja dinding.
2. Pada elemen dinding bata, terjadi peningkatan kapasitas tekan apabila diperbaiki dengan plester, tetapi mengalami penurunan kapasitas untuk tariknya pada elemen tinjauan yang sama.
3. Pada elemen dinding bata, pengaruh dari variasi plester tidak terlalu berpengaruh baik untuk kapasitas tekan dan tariknya.
4. Pada elemen plester, perbaikan dengan plester belum cukup untuk mengembalikan kapasitas tariknya jika dibandingkan dengan dinding bata utuh, tetapi untuk kapasitas tekannya dapat melebihi kapasitas pada dinding bata utuh untuk elemen tinjauan yang sama.
5. Pada elemen plester, pengaruh dari variasi plester cukup memberikan pengaruh yang berarti baik untuk kapasitas tarik maupun tekannya. Perbedaan pengaruh terhadap kapasitas tarik antar variasi sebesar 10,92% (Var-1 dengan Var-2) dan 10,94% (Var-2 dengan Var-3) dan untuk kapasitas tekannya sebesar 14,87 % (Var-1 dengan Var-2) dan 15,94% (Var-2 dengan Var-3).
6. Pada elemen plester, variasi plester yang dapat meningkatkan kapasitas tarik maupun tekan yang terbesar yaitu plester var-3.
7. Pada sisi dinding yang berhubungan dengan portal terjadi konsentrasi tegangan di daerah diagonal tarik pada saat terjadi separasi antar kolom dan dinding.
8. Pada saat separasi menjadi lebih panjang, konsentrasi tegangan bergerak mendekati diagonal tekan dari dinding.
9. Apabila dinding yang merupakan komponen struktural dibanding dengan dinding bata sebagai beban, periode natural, gaya geser dasar, dan gaya

geser yang diterima kolom (12,625%) jauh berkurang, dan terjadi peningkatan kekakuan yang signifikan.

10. Perbaikan plester hampir dapat mengembalikan periode natural, gaya geser dasar, gaya geser yang diterima kolom, dan kekakuan dari kondisi retak seperti kondisi dinding utuh.
11. Antar variasi plester yang paling baik yaitu plester var-3 dengan periode natural terkecil, gaya geser terkecil, persentase gaya geser kolom terkecil, dan kekakuan terbesar.
12. Variasi letak perbaikan tidak terlalu berpengaruh terhadap periode naturalnya, gaya gesernya, persentase gaya geser yang diterima kolom, dan kekakuannya.
13. Variasi letak perbaikan tidak terlalu memengaruhi kekakuan tiap lantai.

5.2 Saran

1. Dilakukan pengujian untuk mendapatkan pola retak yang kemudian dimodelkan.
2. Dilakukan pengujian gesekan antara dinding bata dengan plester kemudian dimodelkan untuk memperhitungkan gesekan antara dinding bata dengan plester.
3. Analisis dilakukan sampai nonlinier agar lebih bisa menggambarkan perilaku dari struktur.
4. Lebih memerhatikan interaksi antara portal dengan dinding.

DAFTAR REFERENSI

- 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. Dalam *Finit 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. (2010). Retrofitting Simple Buildings Damage by Earthquakes. Dalam T. Boen, *Retrofitting Simple Buildings Damage by Earthquakes* (hal. 34-37). Jakarta: UNCRD.
- Chopra, A. K. (1995). Dynamics of Structures. Dalam A. K. Chopra, *Dynamics of Structures* (hal. 365-383). New Jersey: Prentice Hall.
- Collins, M. P. (1991). Prestressed Concrete Structures. Dalam M. P. Collins, *Prestressed Concrete Structures*. New Jersey: Prentice Hall.
- 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. B., & Herwani, *Model Elemen Hingga Non Linier Untuk Karakterisasi Panel Dinding Bata Pengisi Terhadap Gaya Lateral Siklik* (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. Dalam *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.

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



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

Tabel A1.1 C Variasi Dinding Pengisi

Model	T	C
Bata Sebagai Beban	0.72657	0.75
Dinding Bata Utuh	0.120511	0.57115
Retak Seluruh	0.163181	0.667157
Retrofit Seluruh V-1	0.120686	0.571544
Retrofit Seluruh V-2	0.120626	0.571409
Retrofit Seluruh V-3	0.12058	0.571305

Tabel A1.2 C Variasi Letak

Model	Kondisi Retak		Setelah Diperbaiki	
	T	C	T	C
Variasi 1	0.133163	0.599617	0.120545	0.57122625
Variasi 2	0.134347	0.602281	0.120556	0.571251
Variasi 3	0.130208	0.592968	0.120545	0.57122625
Variasi 4	0.148235	0.633529	0.12059	0.5713275
Variasi 5	0.148228	0.633513	0.120588	0.571323
Variasi 6	0.137515	0.609409	0.120553	0.57124425
Variasi 7	0.126563	0.584767	0.120505	0.57113625
Variasi 8	0.159535	0.658954	0.120631	0.57141975
Variasi 9	0.163181	0.667157	0.120626	0.5714085

Lampiran 2: Beban Gempa Nominal Setiap Lantai Sesuai SNI 03-1736-2002 dan Simpangan Tiap Lantai

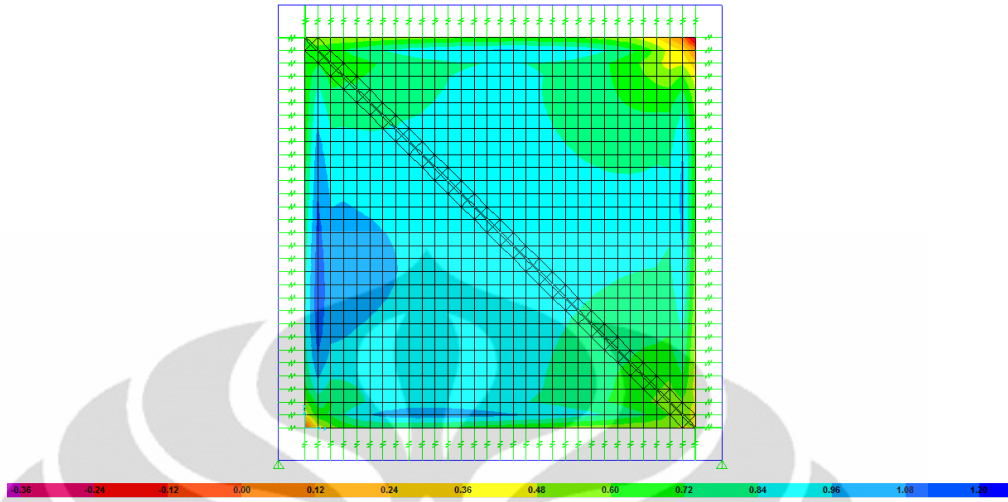
Tabel A2.1 Beban Gempa Nominal dan Simpangan Tiap Lantai Variasi Dinding Pengisi

Model	Gaya Statik Ekuivalen (kN)			Simpangan (mm)		
	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Bata Sebagai Pengisi	47.444	97.546	98.830	8.8241	16.9382	21.4717
Dinding Bata Utuh	36.130	74.285	75.263	0.1670	0.3162	0.4135
Retak Seluruh	42.204	86.772	87.914	0.4286	0.7112	0.8756
Retrofit Seluruh V-1	36.155	74.336	75.314	0.1678	0.3176	0.4153
Retrofit Seluruh V-2	36.147	74.318	75.297	0.1676	0.3172	0.4148
Retrofit Seluruh V-3	36.140	74.305	75.283	0.1674	0.3169	0.4144

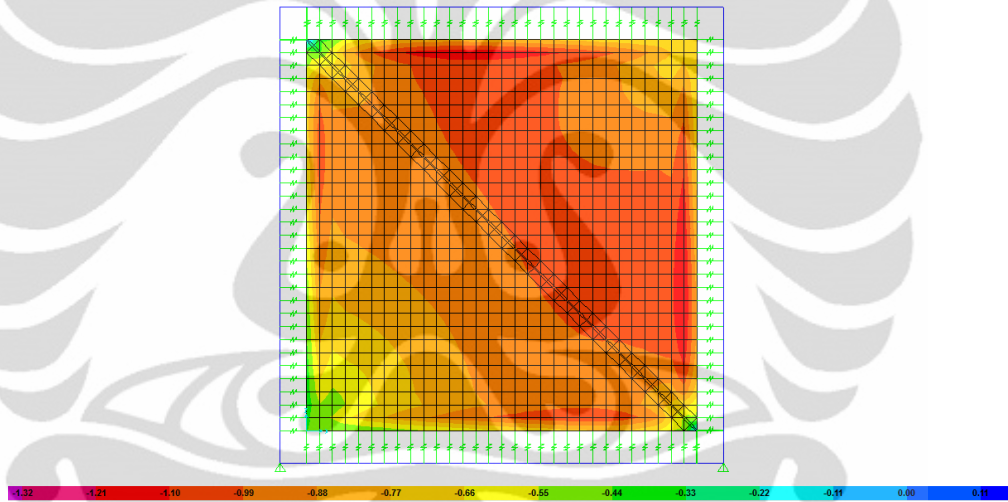
Tabel A2.2 Beban Gempa Nominal dan Simpangan Tiap Lantai Variasi Letak

	Variasi Letak	Gaya Statik Ekvivalen (kN)			Simpangan (mm)		
		Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3	Lantai 1	Lantai 2	Lantai 3
Kondisi Retak	1	37.931	77.987	79.014	0.2155	0.4036	0.5257
	2	38.100	78.334	79.365	0.2247	0.4175	0.5466
	3	37.511	77.122	78.138	0.2293	0.4014	0.5041
	4	40.077	82.398	83.482	0.2917	0.5335	0.6922
	5	40.076	82.396	83.480	0.3819	0.5467	0.6541
	6	38.551	79.261	80.304	0.1998	0.4709	0.5754
	7	36.992	76.056	77.057	0.1722	0.3314	0.4911
	8	41.685	85.705	86.833	0.4212	0.6920	0.8016
	9	42.204	86.772	87.914	0.4286	0.7112	0.8756
Setelah Diretrofit	1	36.135	74.295	75.273	0.1672	0.3165	0.4139
	2	36.137	74.298	75.276	0.1672	0.3166	0.4140
	3	36.135	74.295	75.273	0.1672	0.3165	0.4139
	4	36.142	74.308	75.286	0.1674	0.3169	0.4144
	5	36.141	74.307	75.285	0.1675	0.3168	0.4141
	6	36.136	74.297	75.275	0.1671	0.3166	0.4140
	7	36.130	74.283	75.261	0.1670	0.3162	0.4137
	8	36.148	74.320	75.298	0.1676	0.3172	0.4146
	9	36.147	74.318	75.297	0.1676	0.3172	0.4148

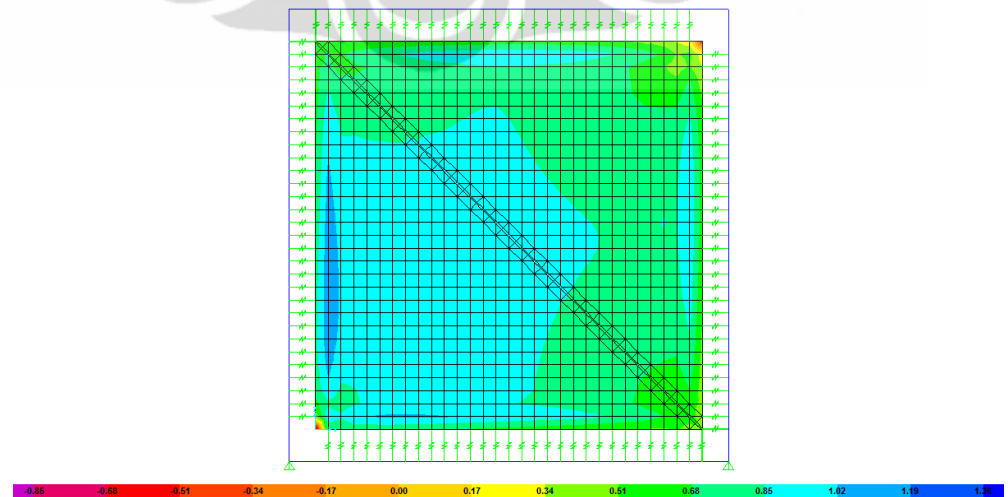
Lampiran 3: Distribusi Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding



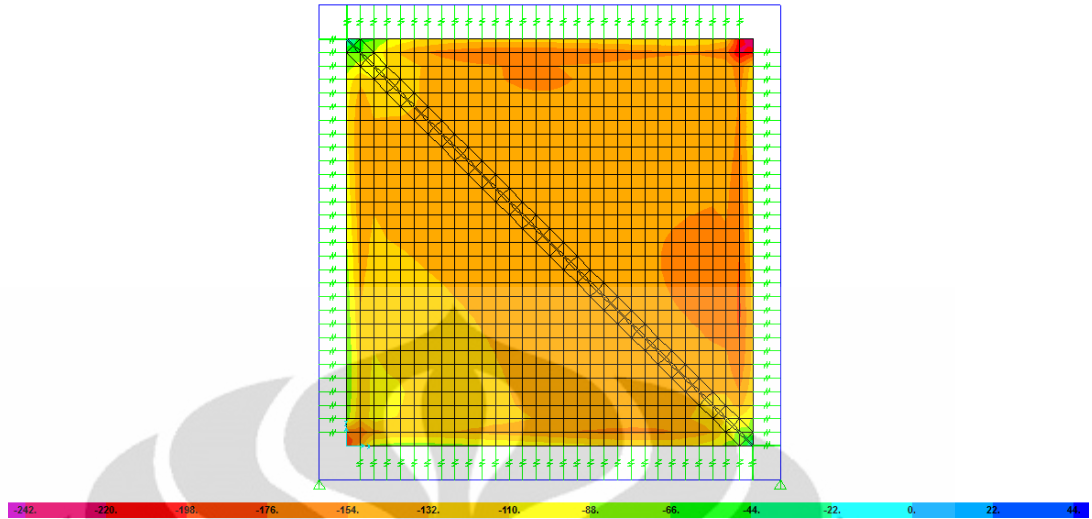
Gambar A3.1 Dinding Bata Utuh - *Unlink 0* – Smax



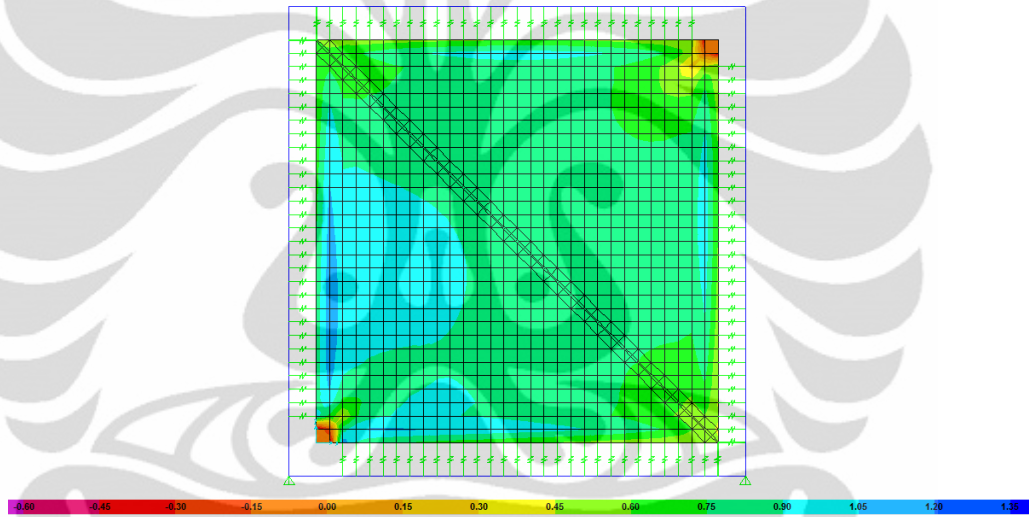
Gambar A3.2 Dinding Bata Utuh - *Unlink 0* – Smin



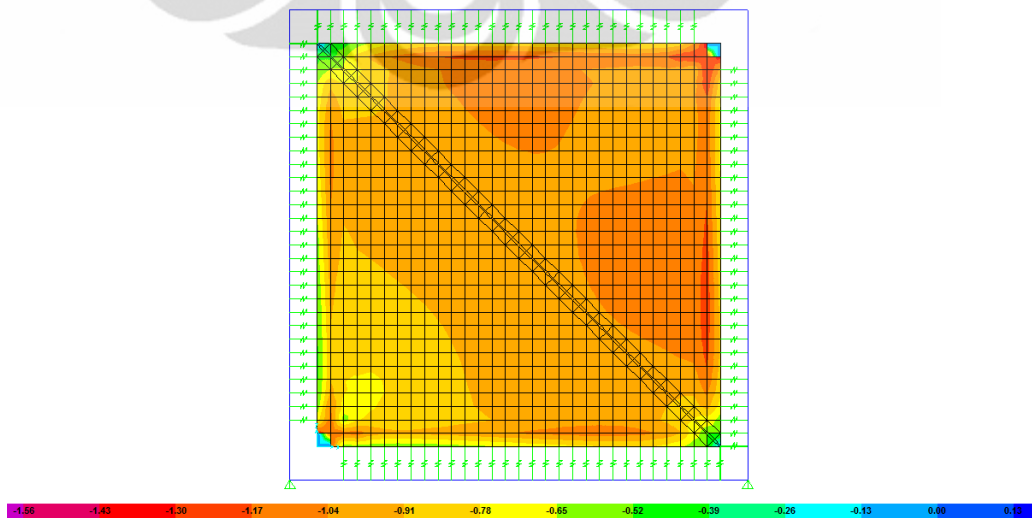
Gambar A3.3 Dinding Bata Utuh - *Unlink 1* – Smax



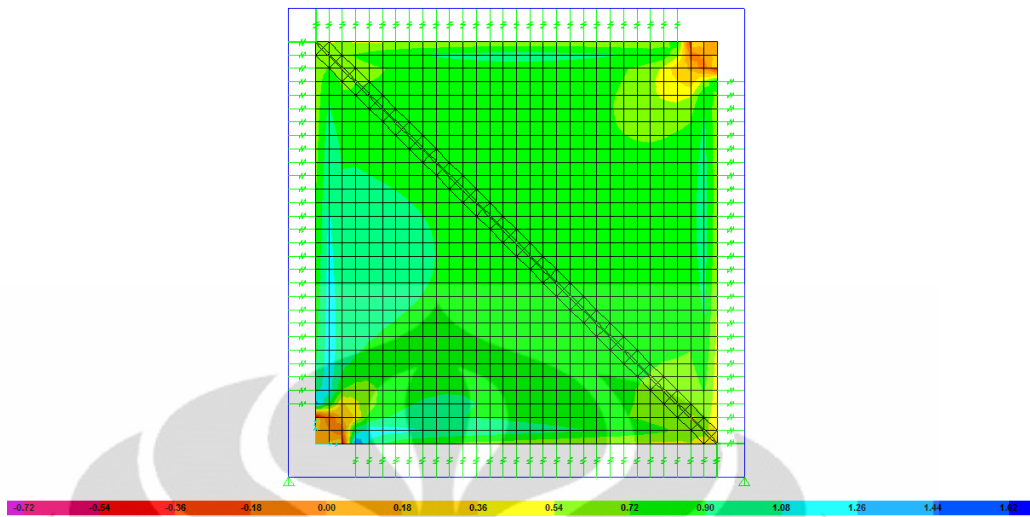
Gambar A3.4 Dinding Bata Utuh - *Unlink 1* – Smin



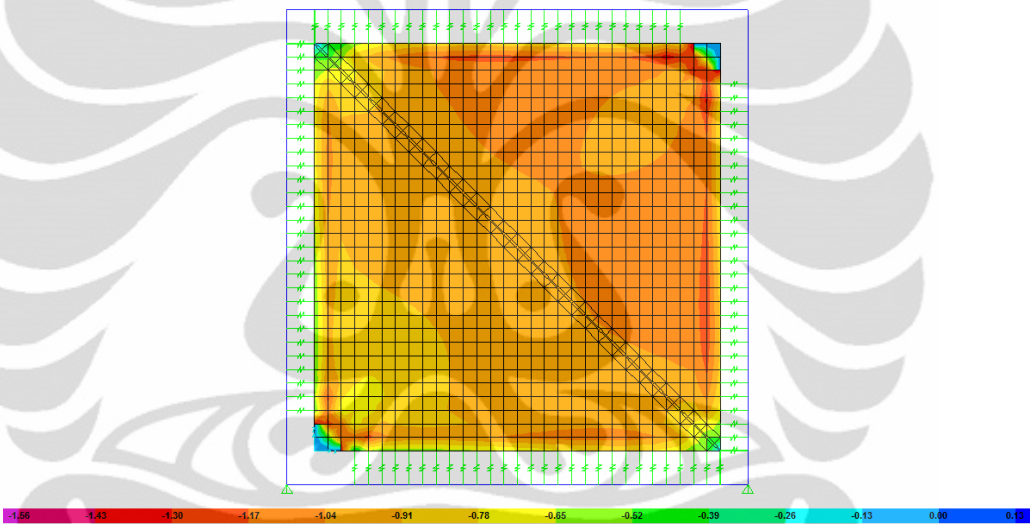
Gambar A3.5 Dinding Bata Utuh - *Unlink 2* – Smax



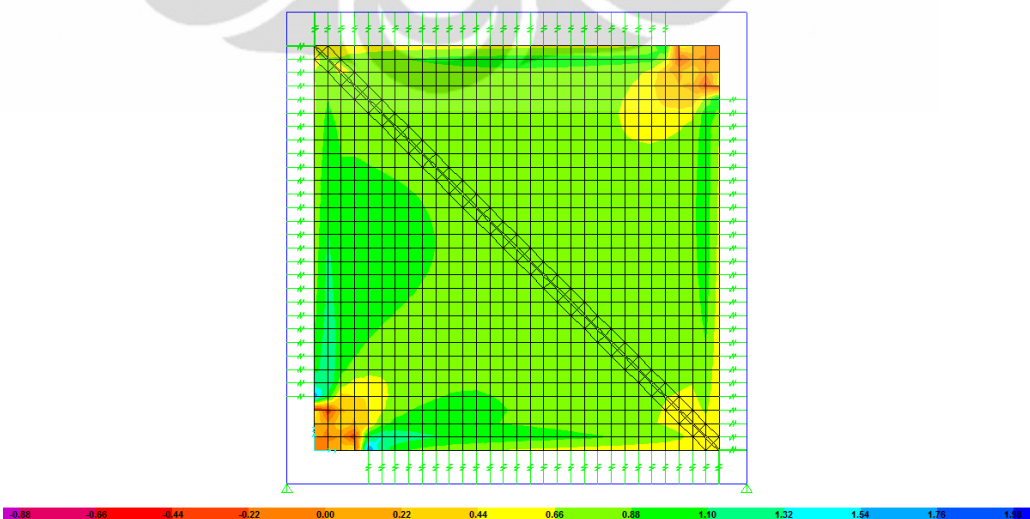
Gambar A3.6 Dinding Bata Utuh - *Unlink 2* – Smin



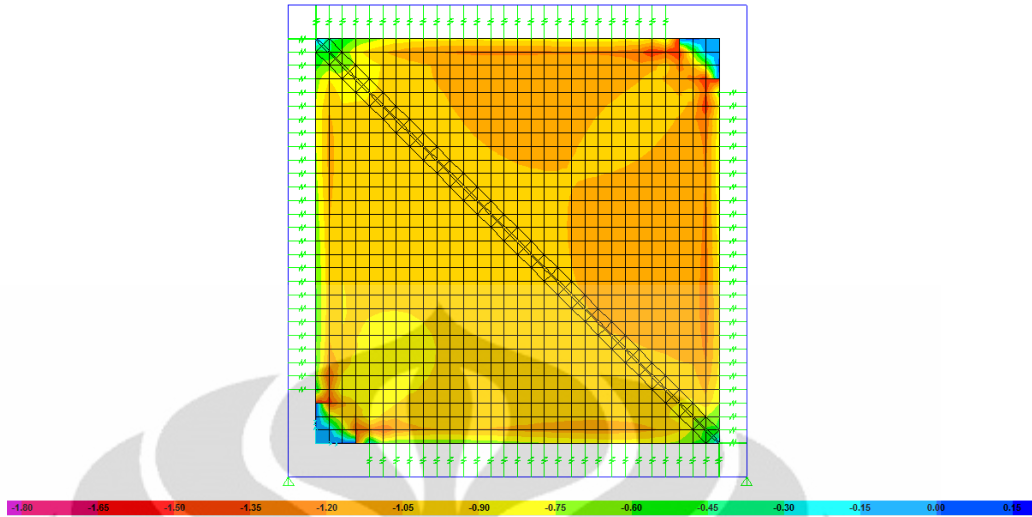
Gambar A3.7 Dinding Bata Utuh - *Unlink 3* – Smax



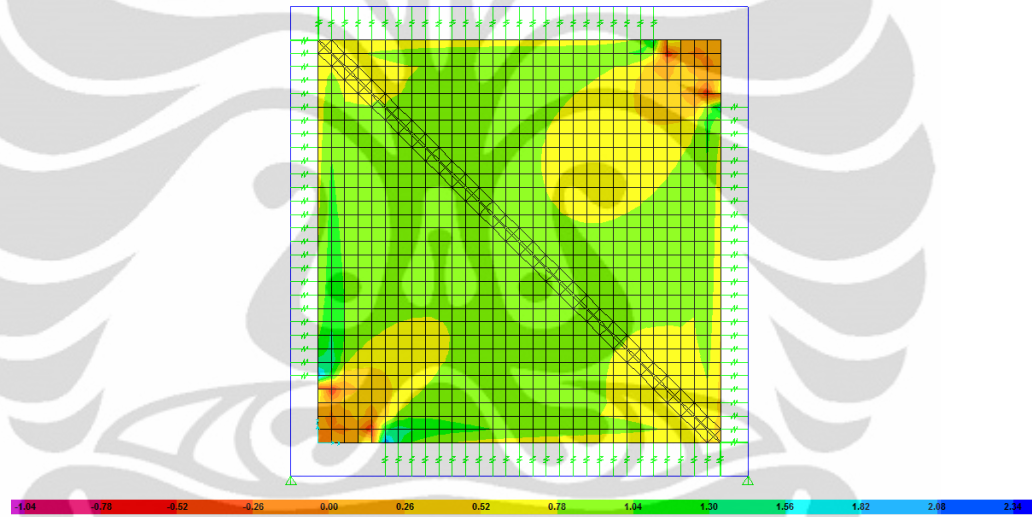
Gambar A3.8 Dinding Bata Utuh - *Unlink 3* – Smin



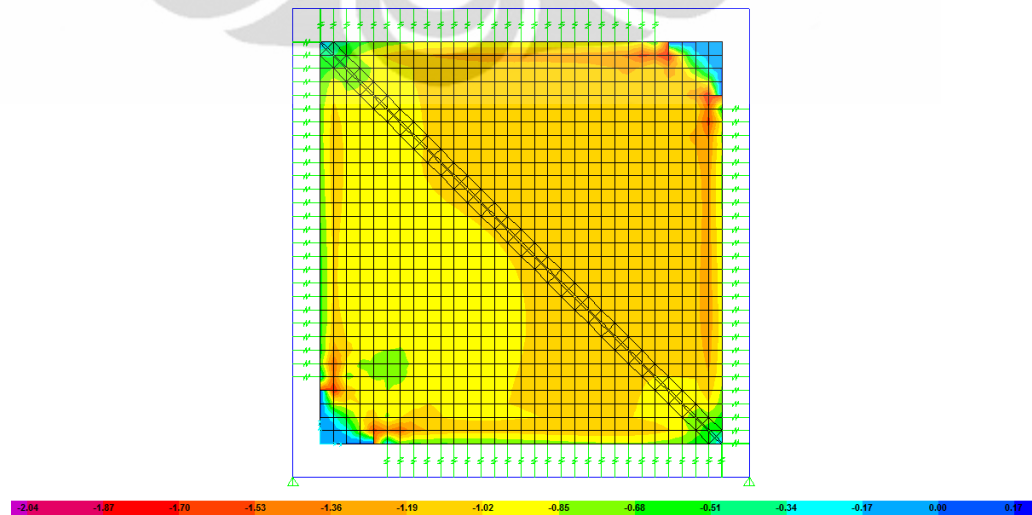
Gambar A3.9 Dinding Bata Utuh - *Unlink 4* – Smax



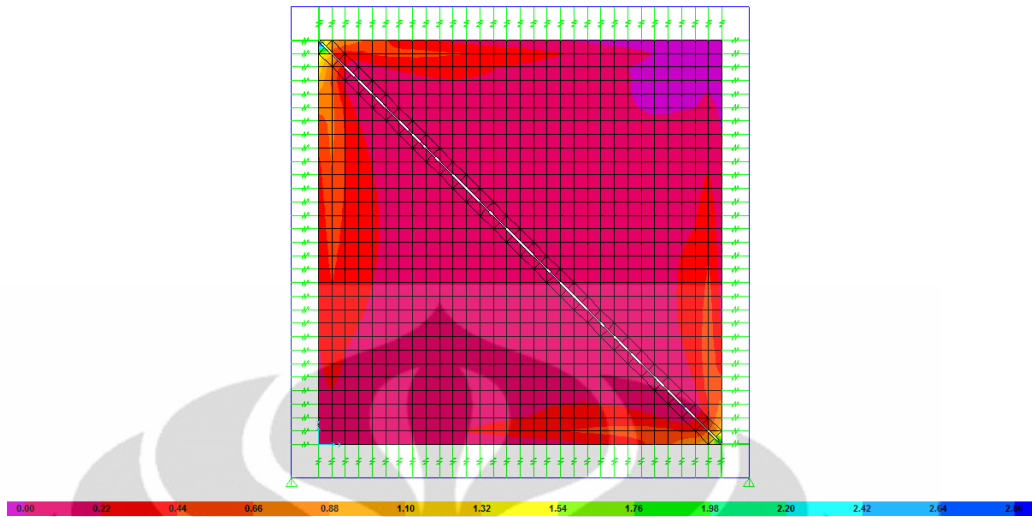
Gambar A3.10 Dinding Bata Utuh - *Unlink 4* – Smin



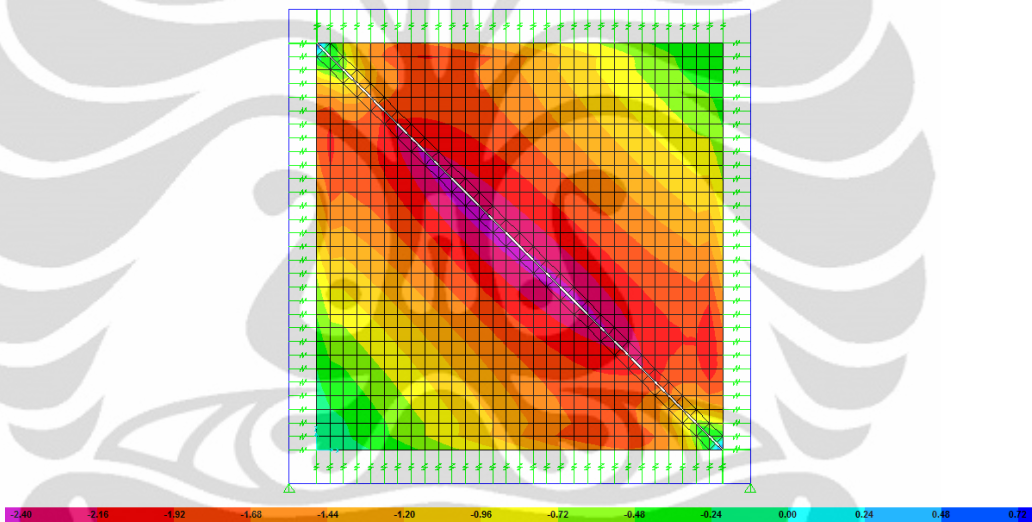
Gambar A3.11 Dinding Bata Utuh - *Unlink 5* – Smax



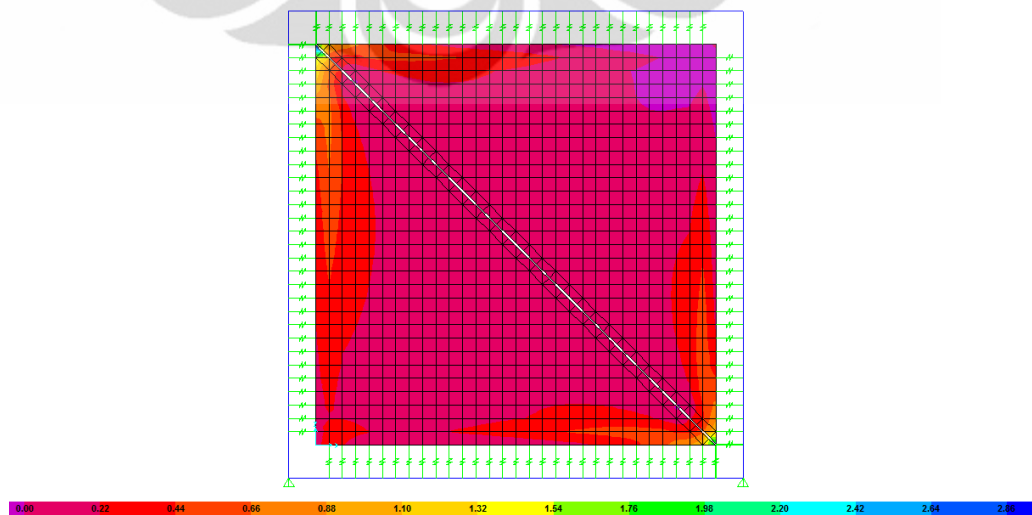
Gambar A3.12 Dinding Bata Utuh - *Unlink 5* – Smin



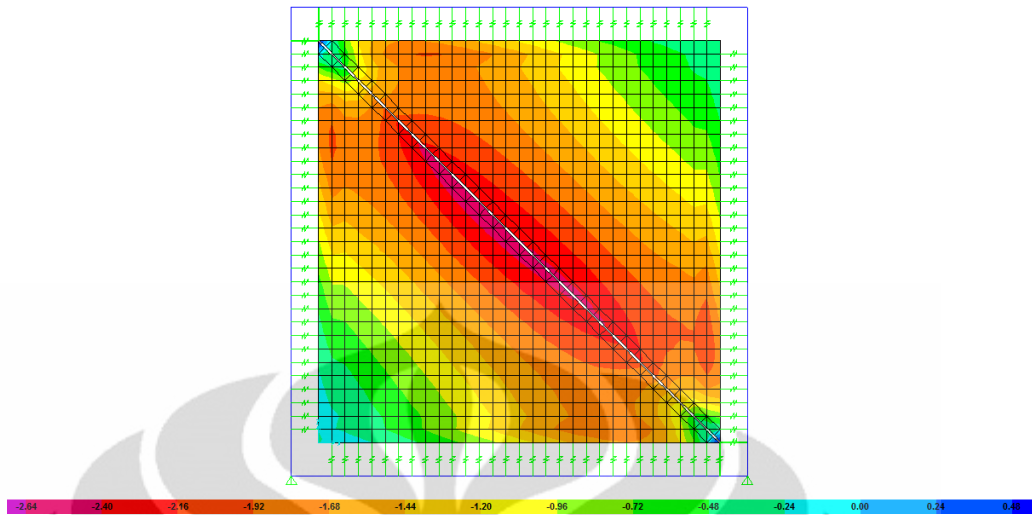
Gambar A3.13 Dinding Bata Retak - *Unlink 0* – Smax



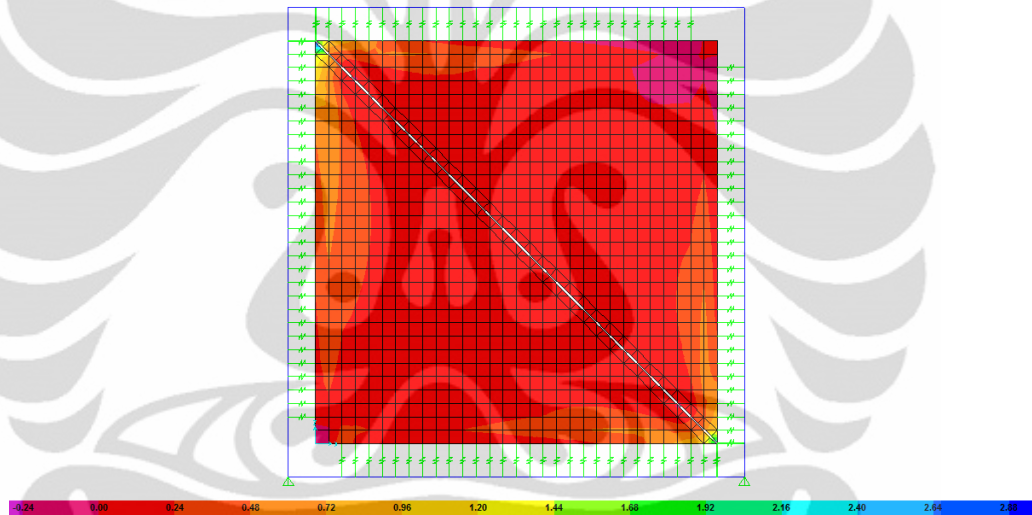
Gambar A3.14 Dinding Bata Retak - *Unlink 0* – Smin



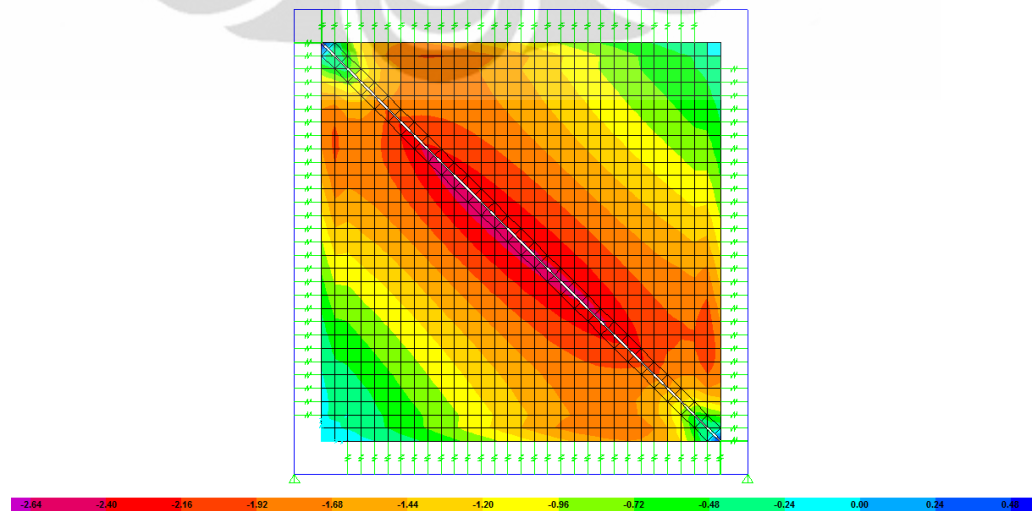
Gambar A3.15 Dinding Bata Retak - *Unlink 1* – Smax



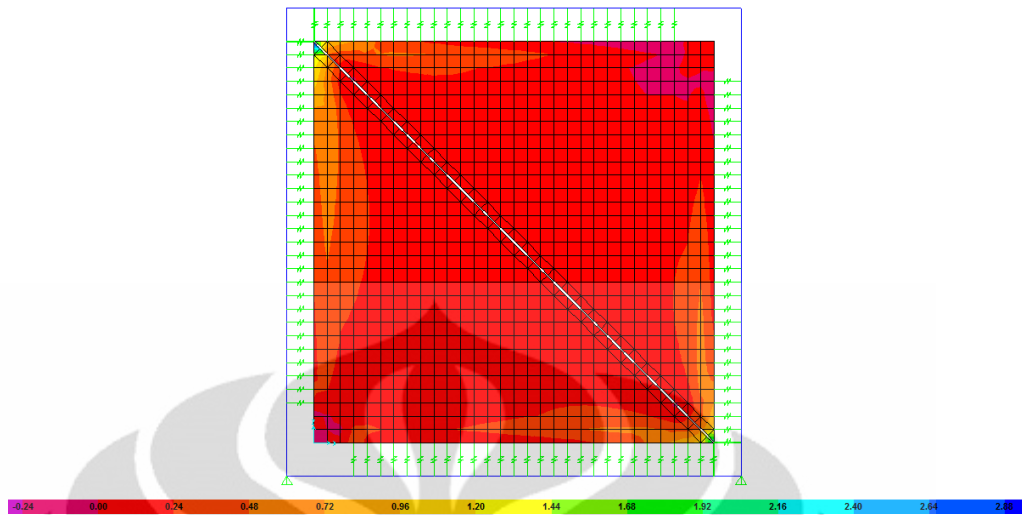
Gambar A3.16 Dinding Bata Retak - *Unlink 1* – Smin



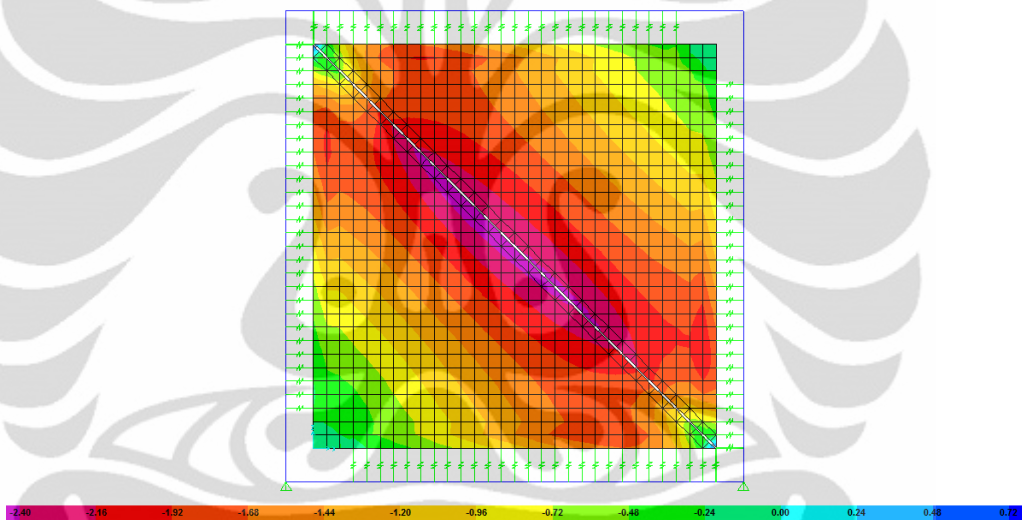
Gambar A3.17 Dinding Bata Retak - *Unlink 2* – Smax



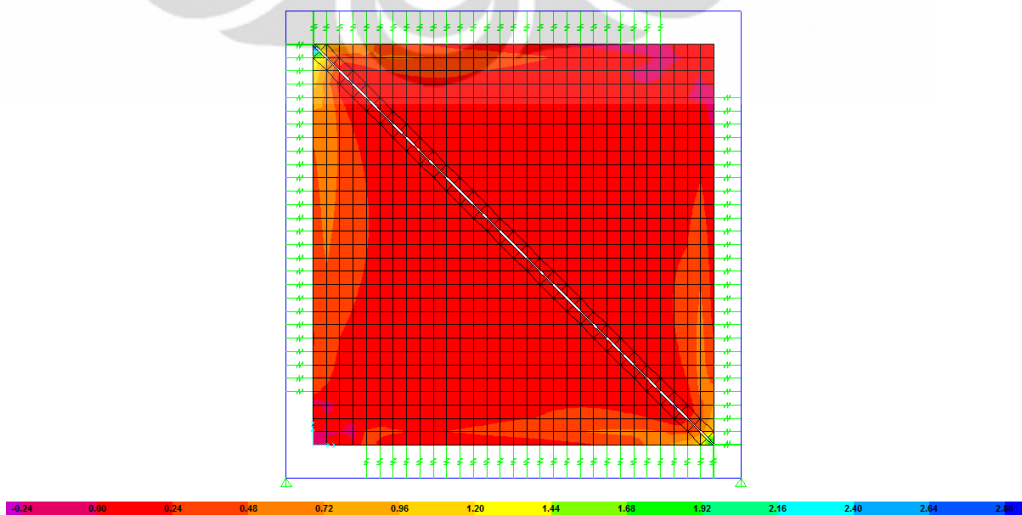
Gambar A3.18 Dinding Bata Retak - *Unlink 2* – Smin



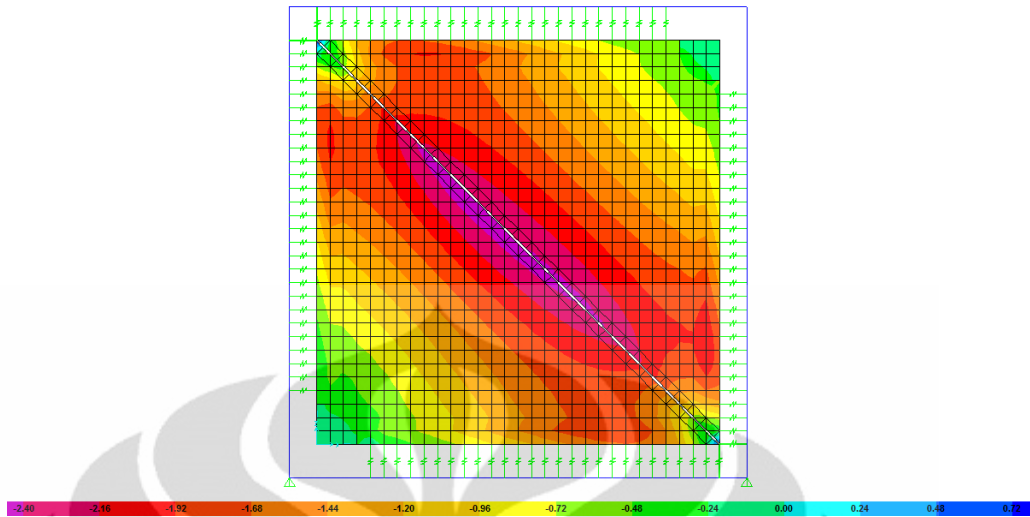
Gambar A3.19 Dinding Bata Retak - *Unlink 3* – Smax



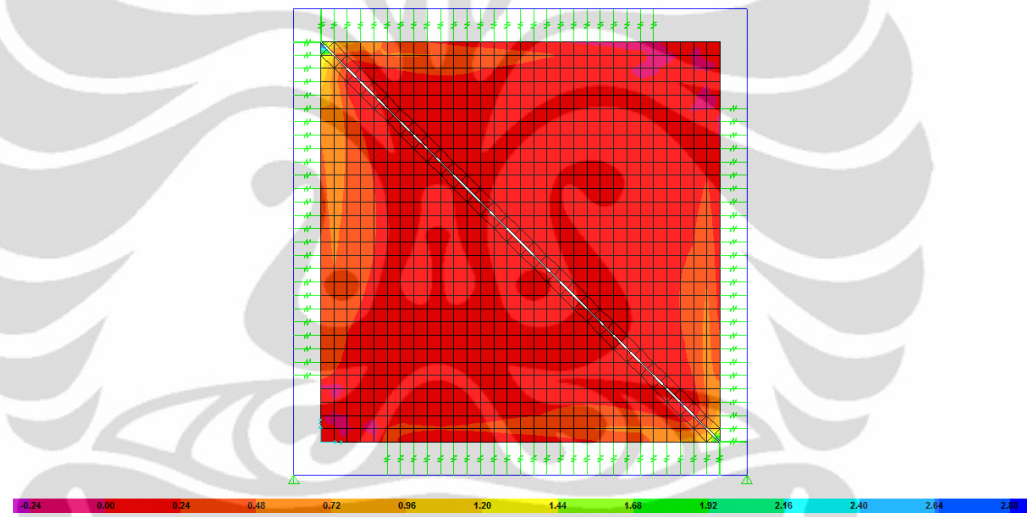
Gambar A3.20 Dinding Bata Retak - *Unlink 3* – Smin



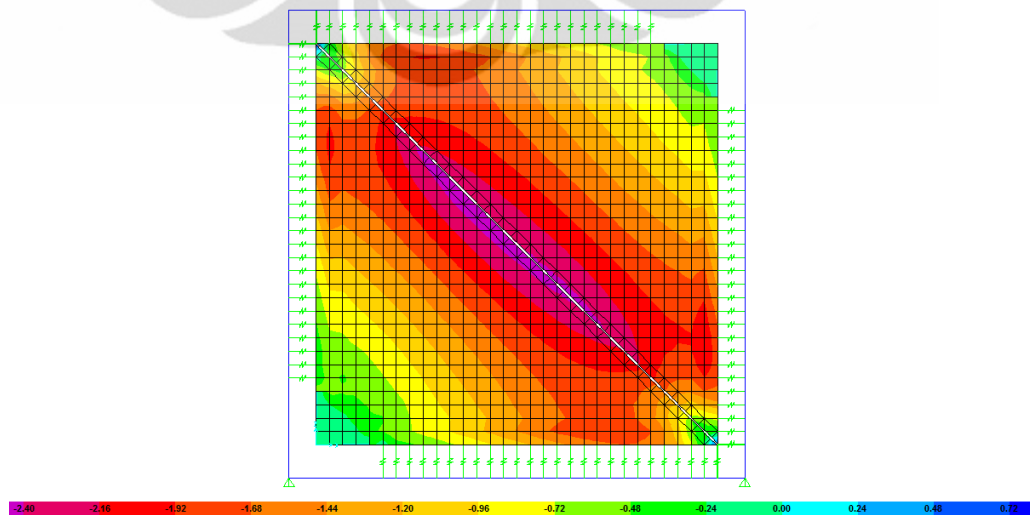
Gambar A3.21 Dinding Bata Retak - *Unlink 4* – Smax



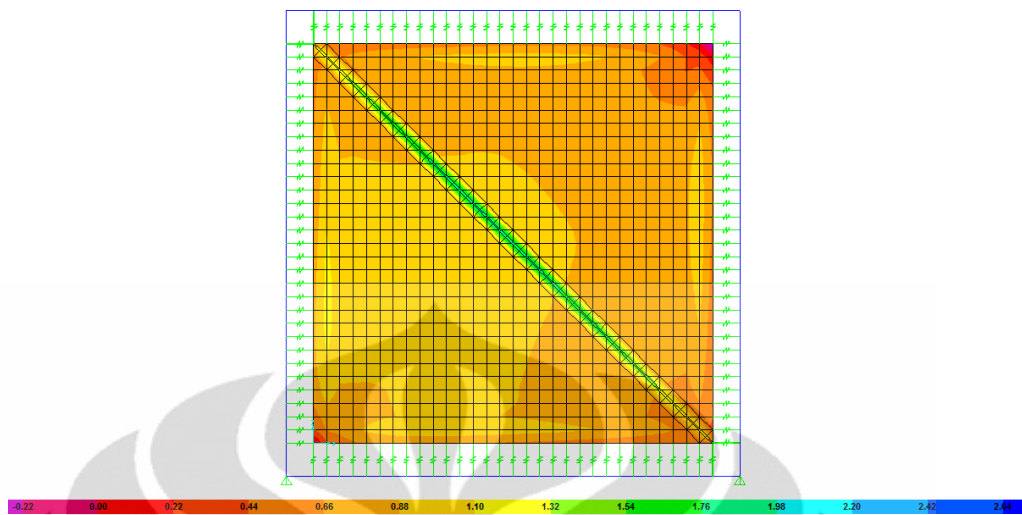
Gambar A3.22 Dinding Bata Retak - *Unlink 4* – Smin



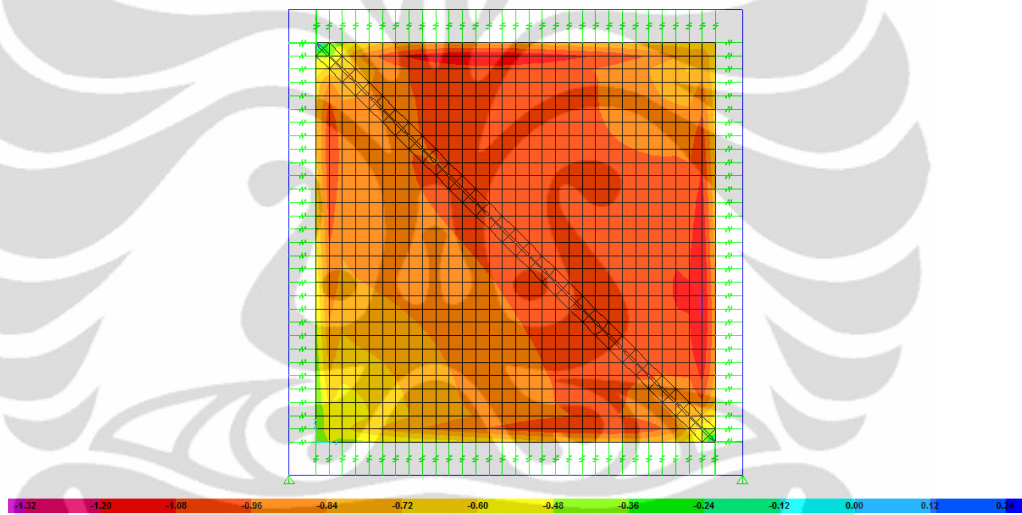
Gambar A3.23 Dinding Bata Retak - *Unlink 5* – Smax



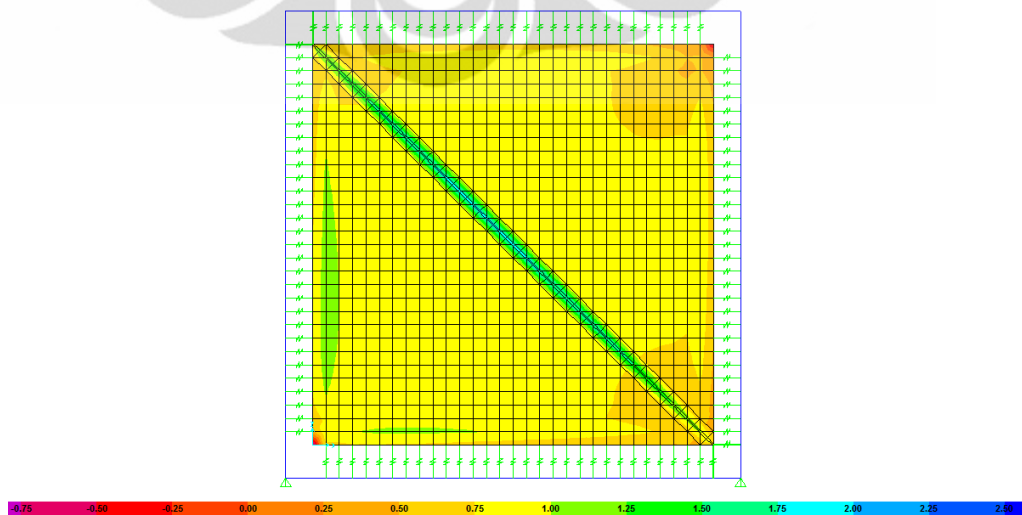
Gambar A3.24 Dinding Bata Retak - *Unlink 5* – Smin



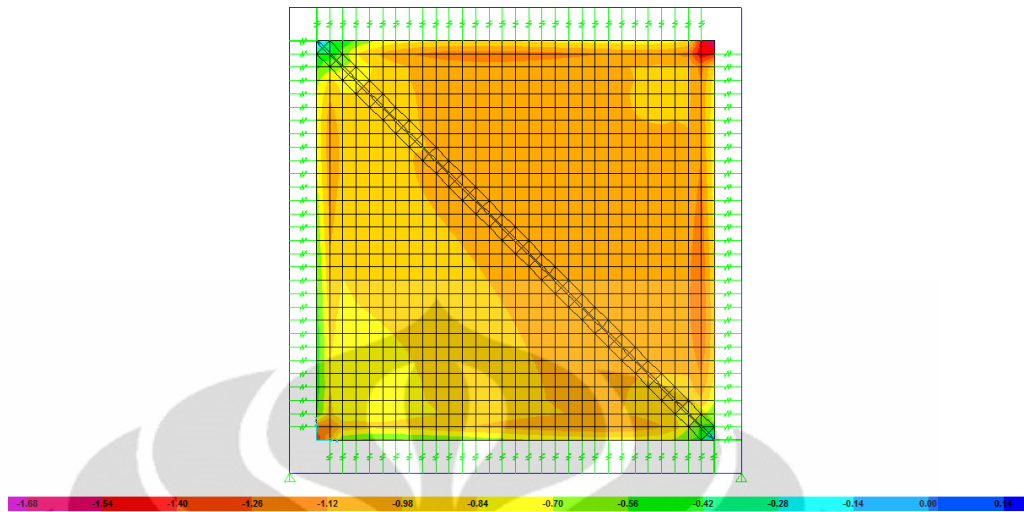
Gambar A3.25 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 0* – Smax



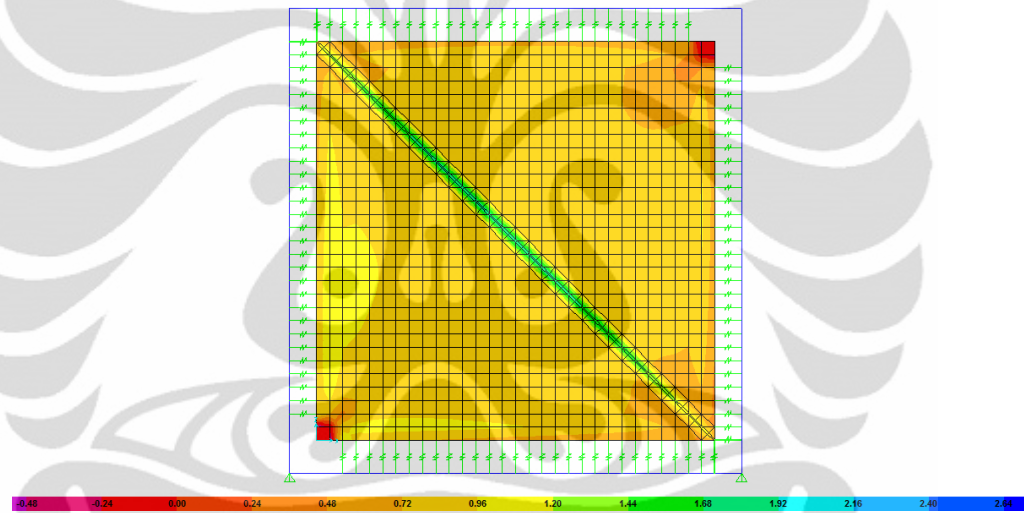
Gambar A3.26 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 0* – Smin



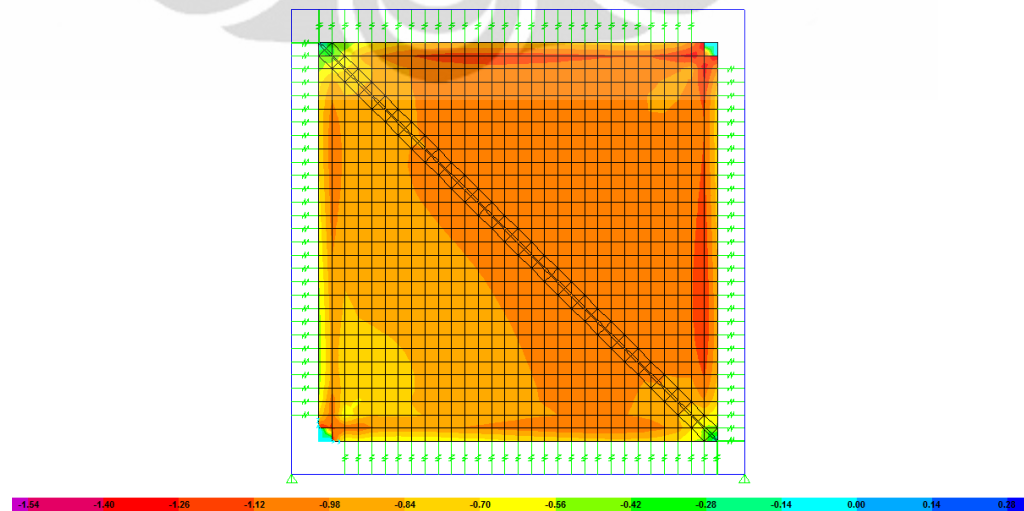
Gambar A3.27 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 1* – Smax



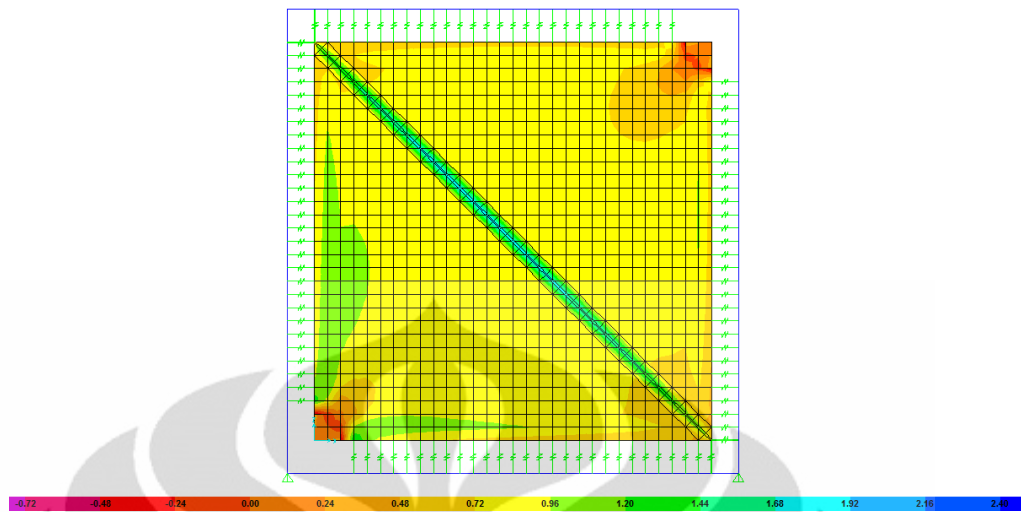
Gambar A3.28 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 1* – Smin



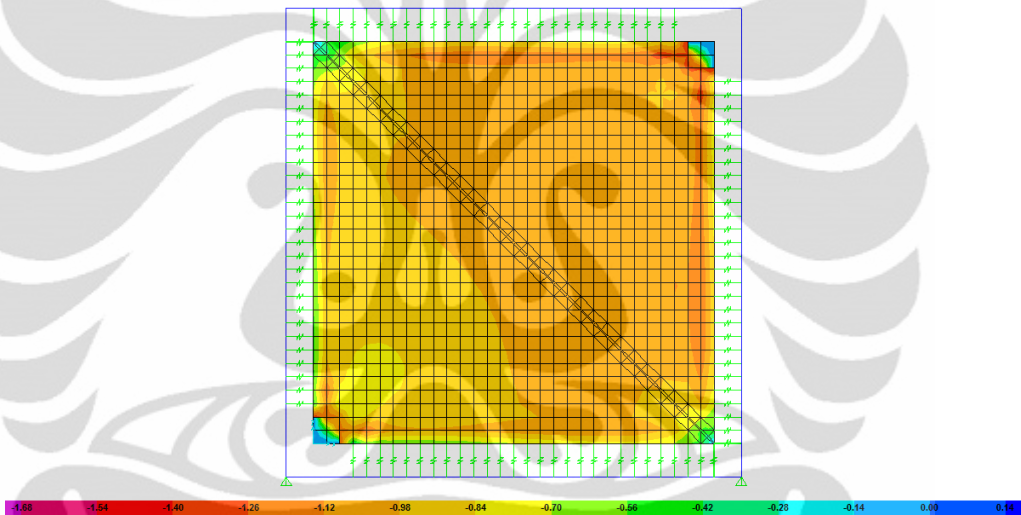
Gambar A3.29 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 2* – Smax



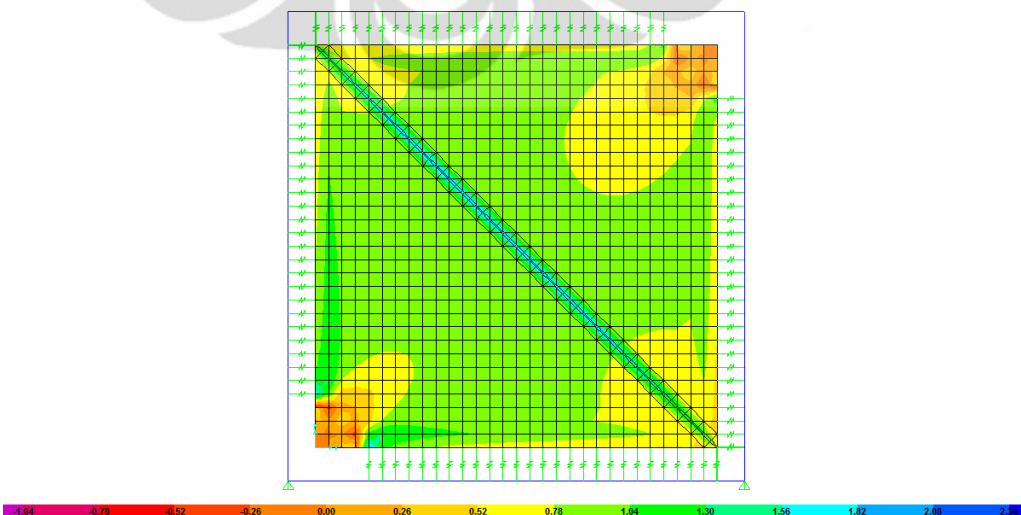
Gambar A3.30 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 2* – Smin



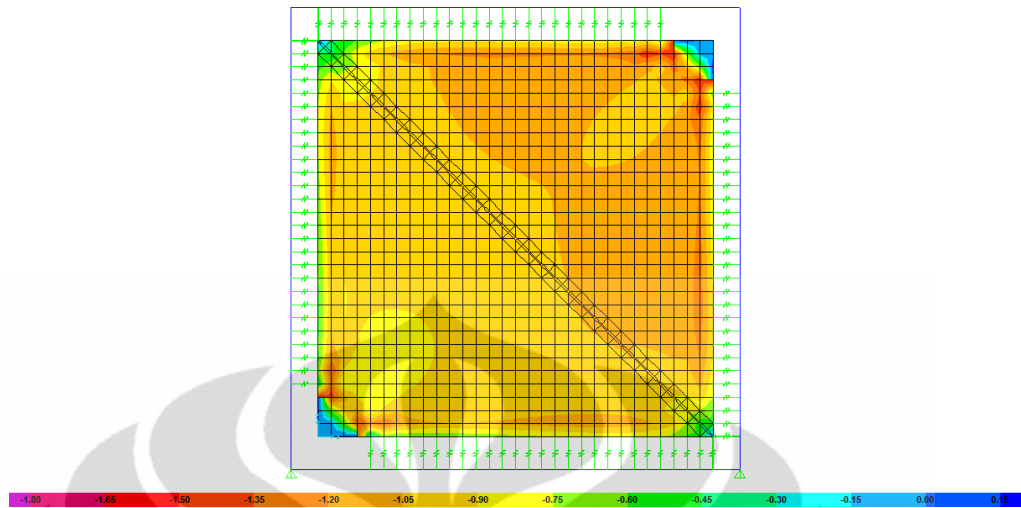
Gambar A3.31 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 3* – Smax



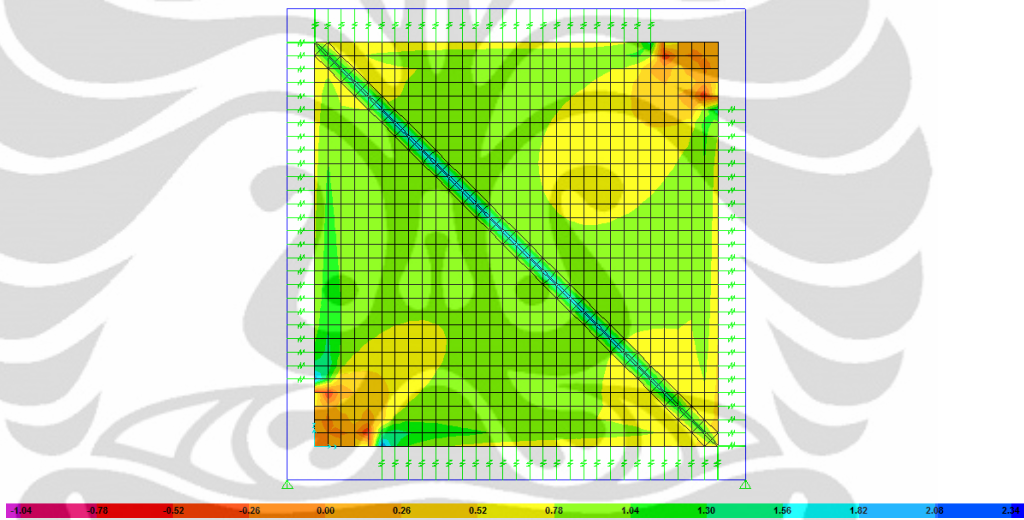
Gambar A3.32 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 3* – Smin



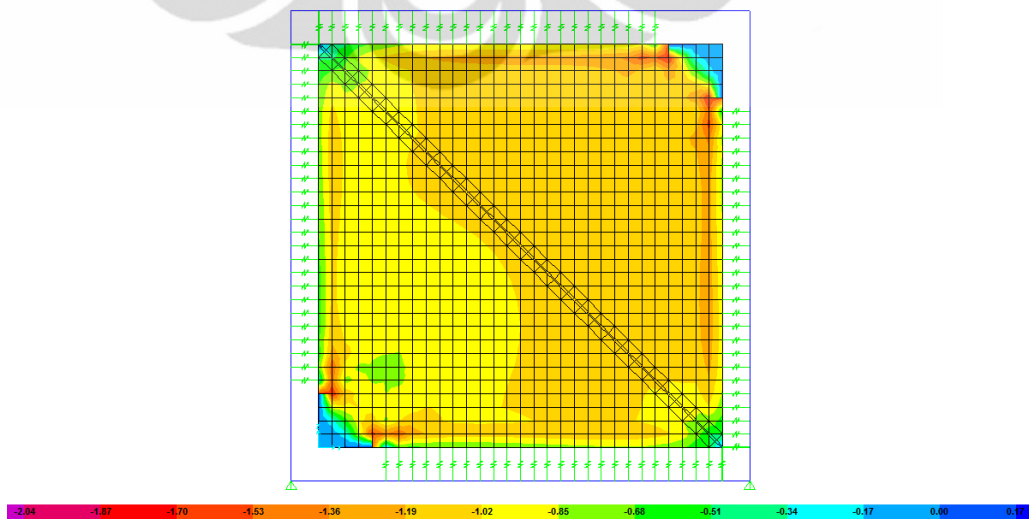
Gambar A3.33 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 4* – Smax



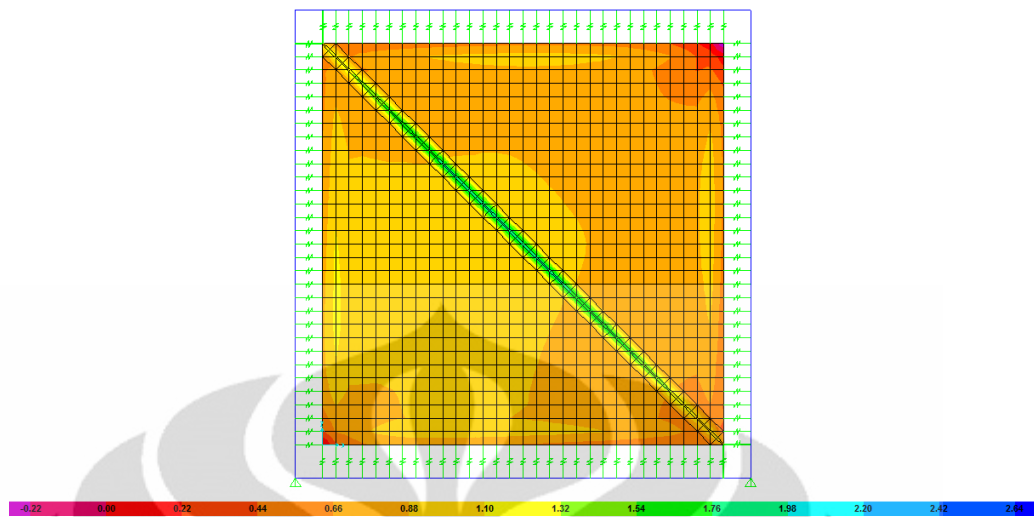
Gambar A3.34 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 4* - Smin



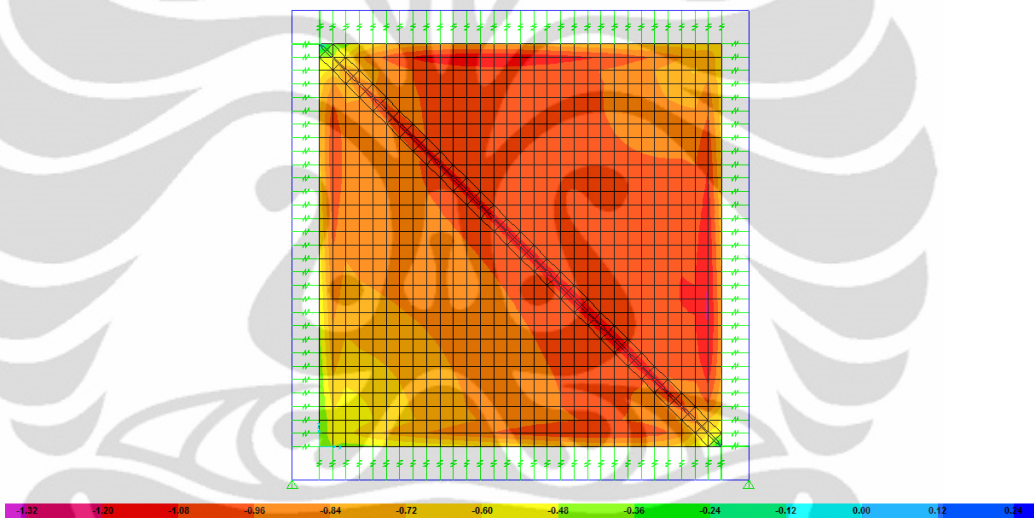
Gambar A3.35 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 5* - Smax



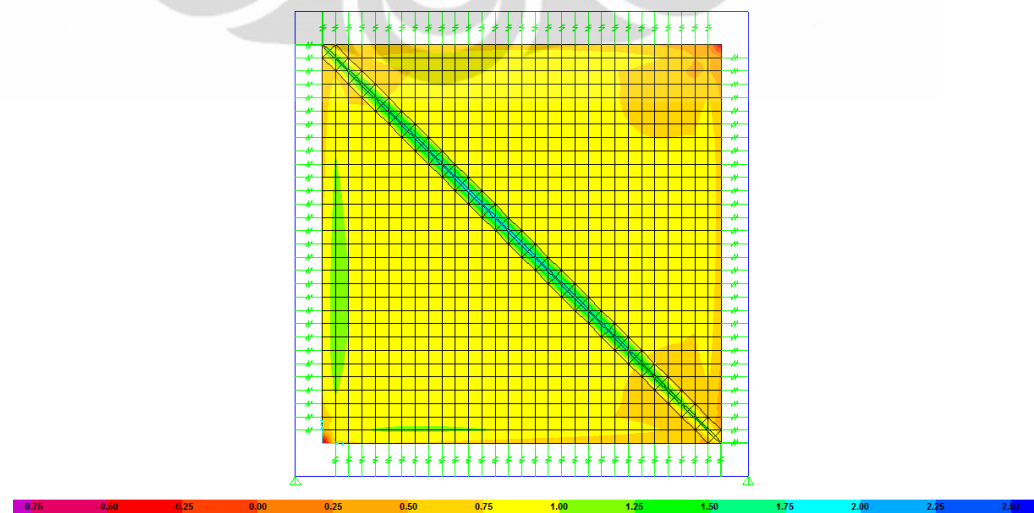
Gambar A3.36 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 5* - Smin



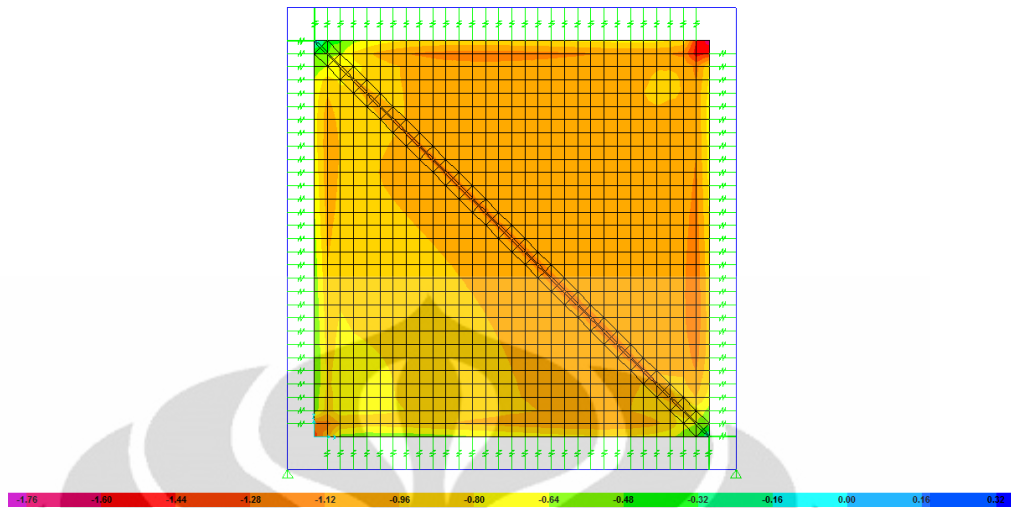
Gambar A3.37 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 0* – Smax



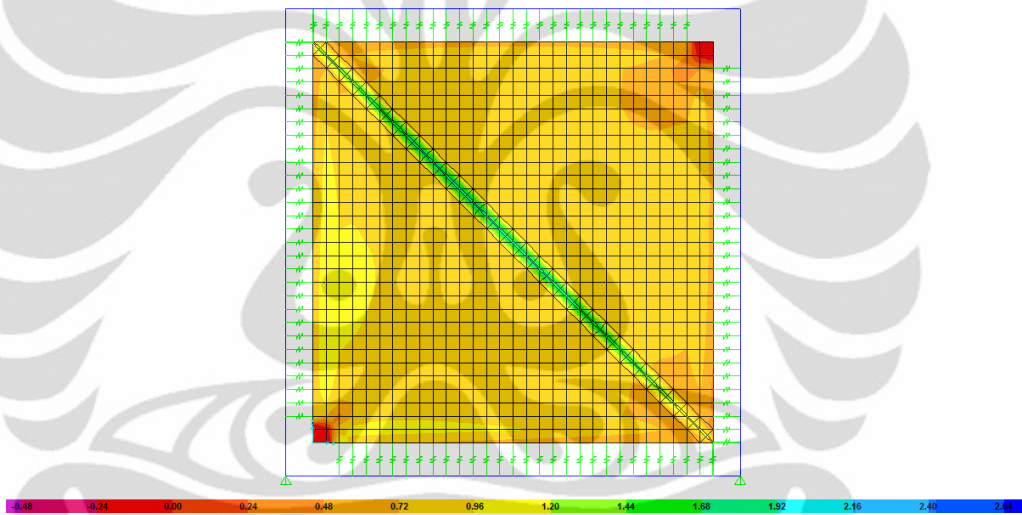
Gambar A3.38 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 0* – Smin



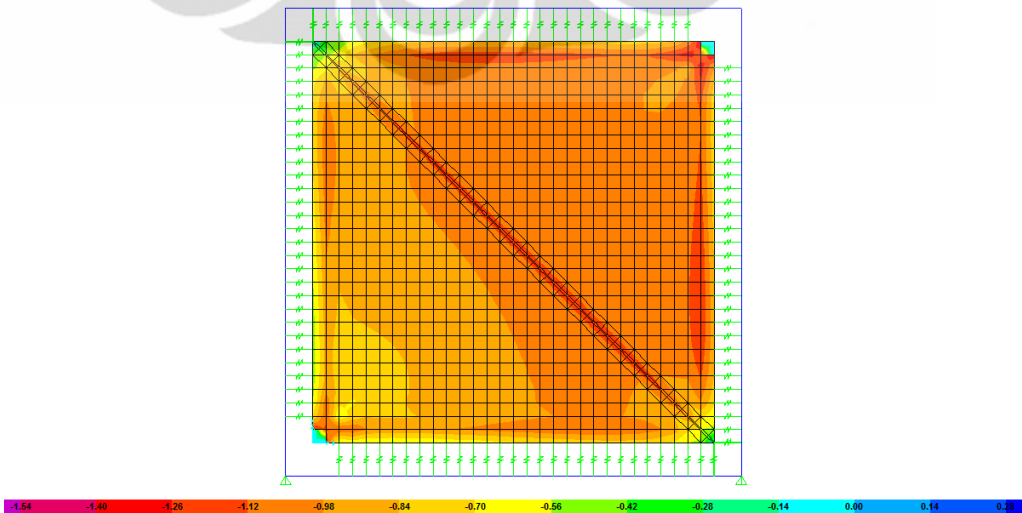
Gambar A3.39 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 1* – Smax



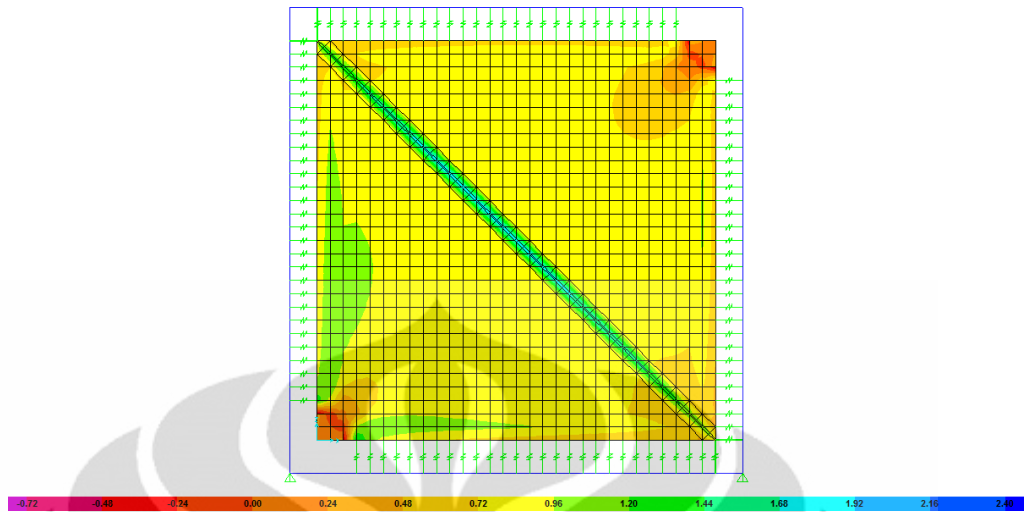
Gambar A3.40 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 1* – Smin



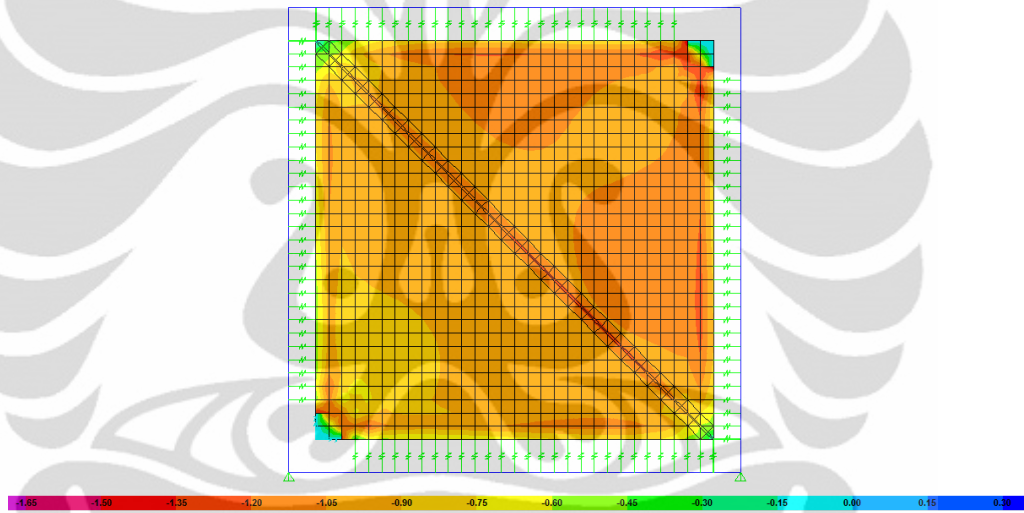
Gambar A3.41 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 2* – Smax



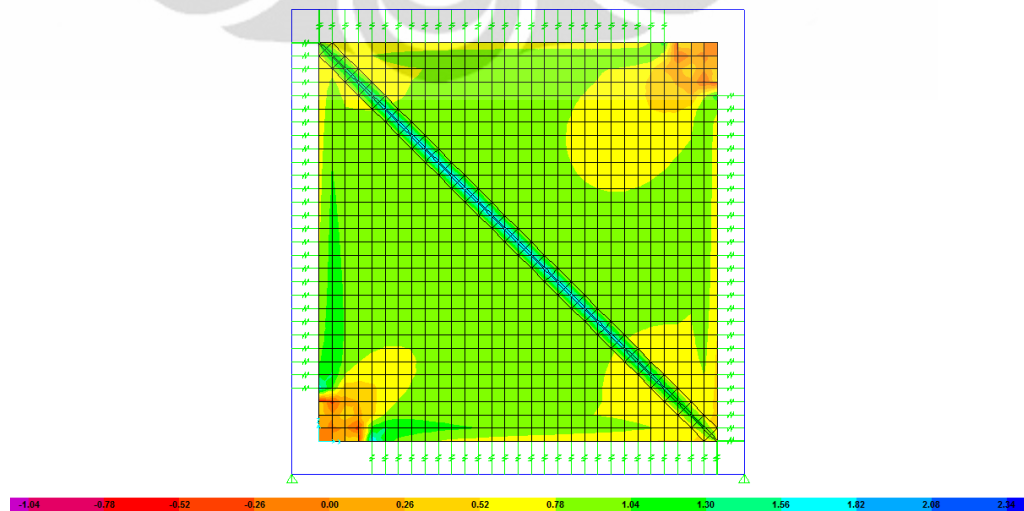
Gambar A3.42 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 2* – Smin



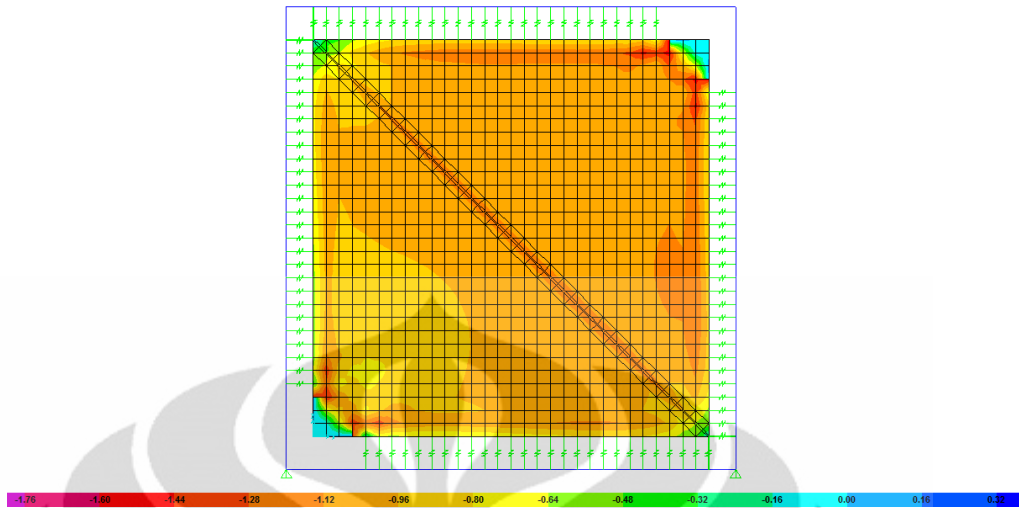
Gambar A3.43 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 3* – Smax



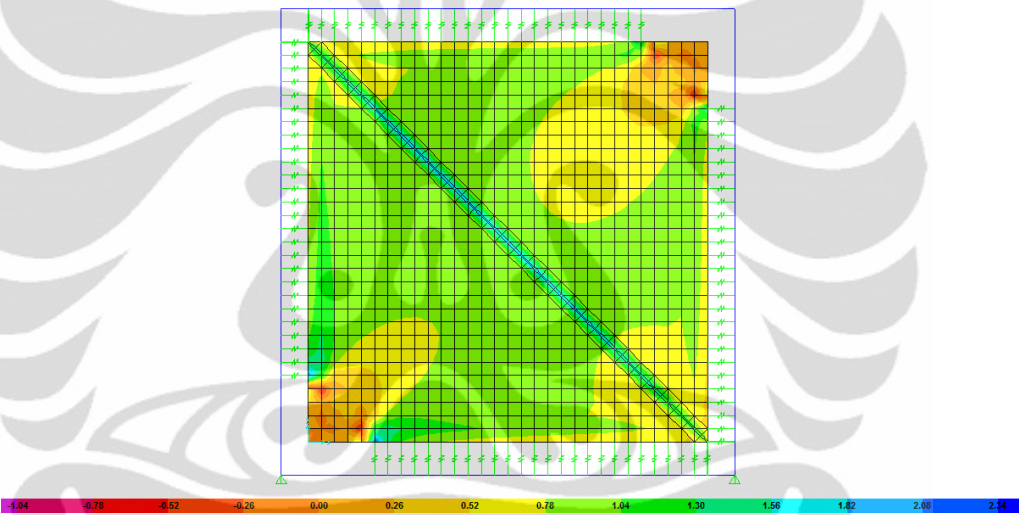
Gambar A3.44 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 3* – Smin



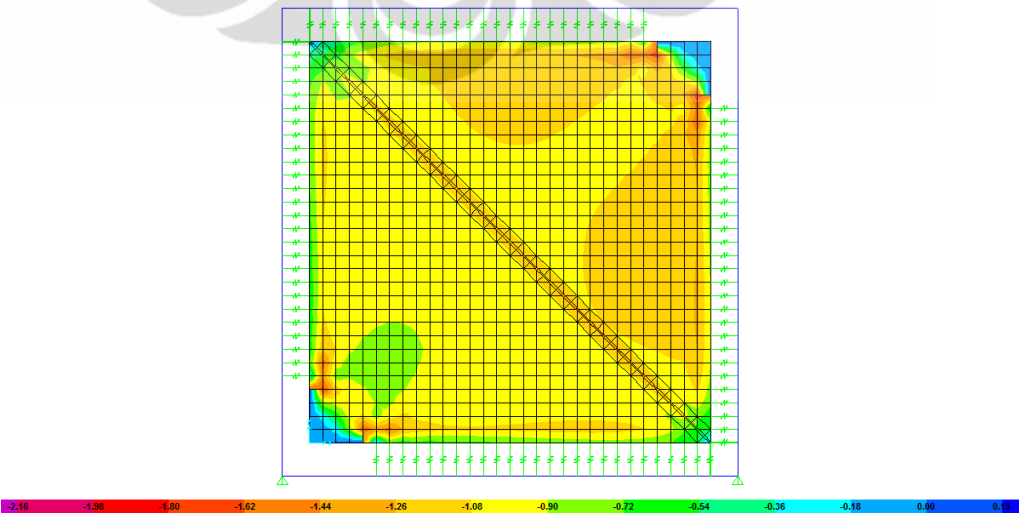
Gambar A3.45 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 4* – Smax



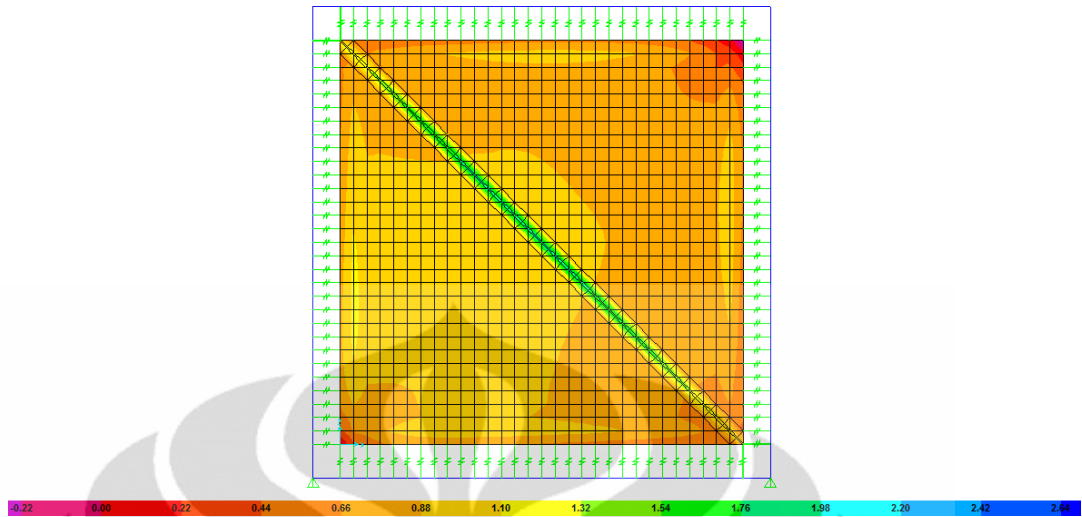
Gambar A3.46 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 4* – Smin



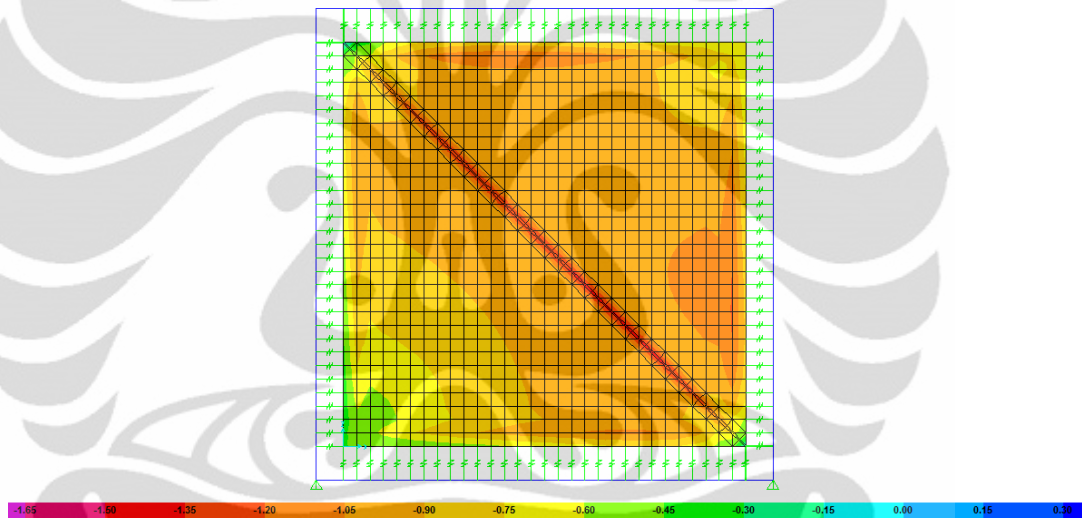
Gambar A3.47 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 5* – Smax



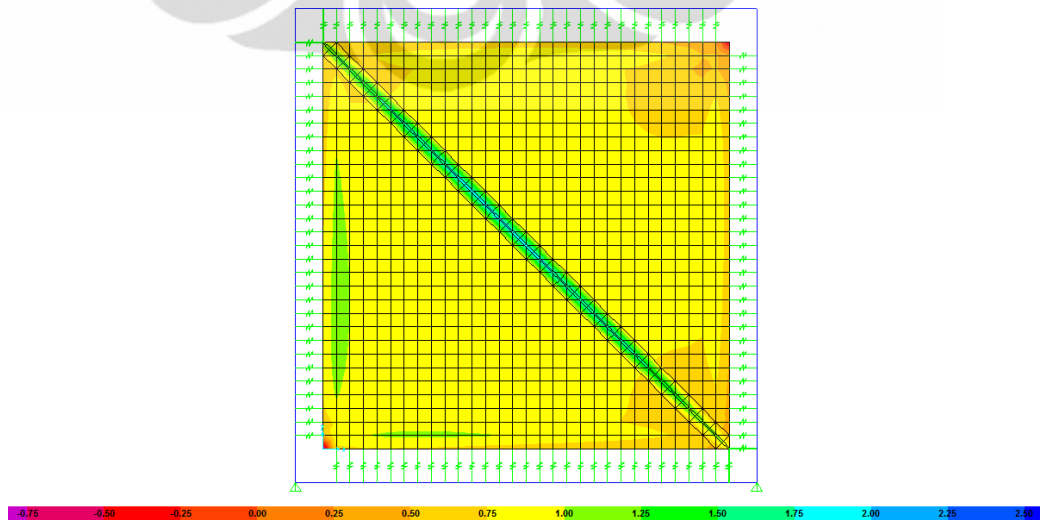
Gambar A3.48 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 5* – Smin



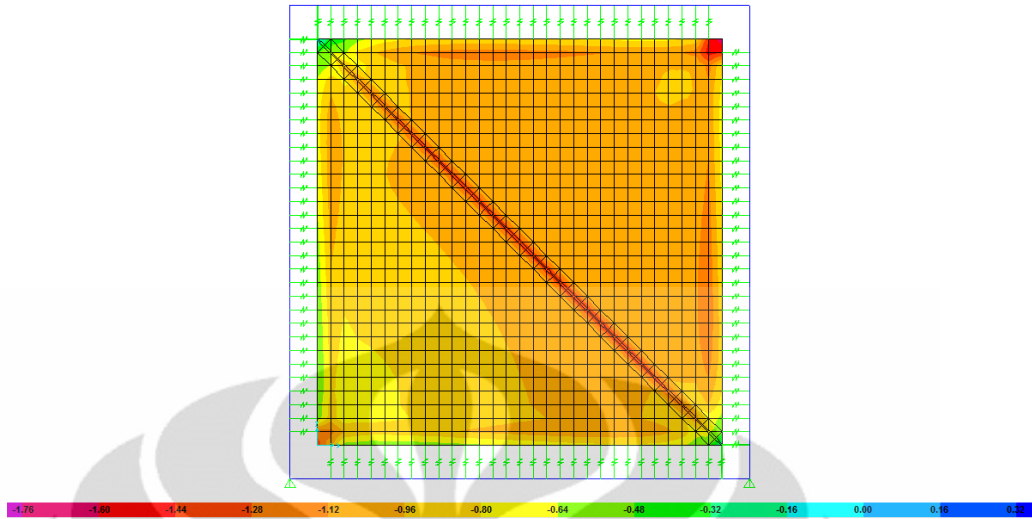
Gambar A3.49 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 0* – Smax



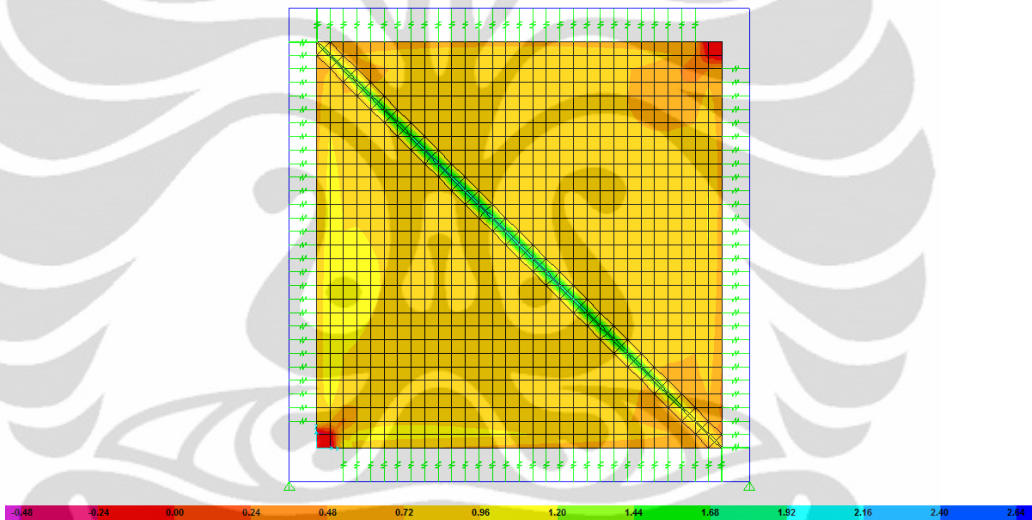
Gambar A3.50 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 0* – Smin



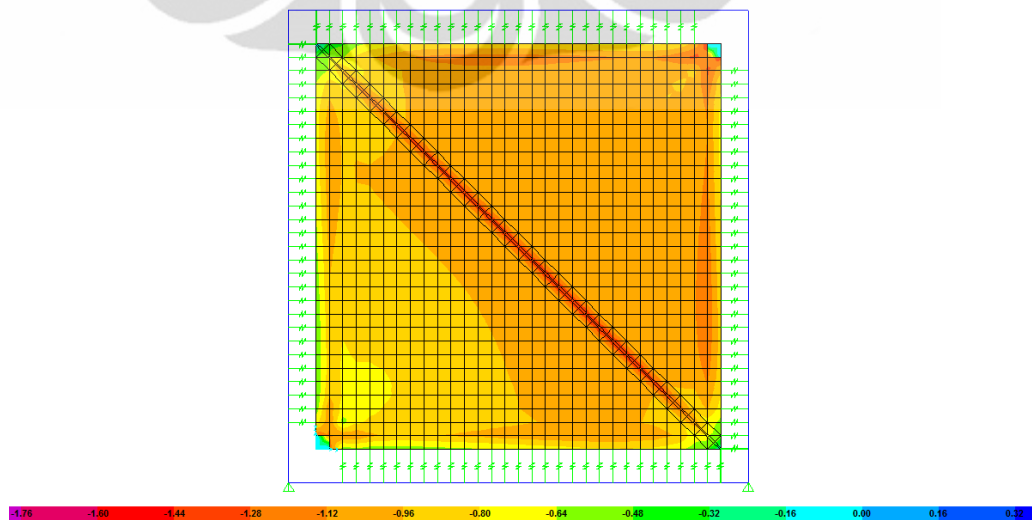
Gambar A3.51 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 1* – Smax



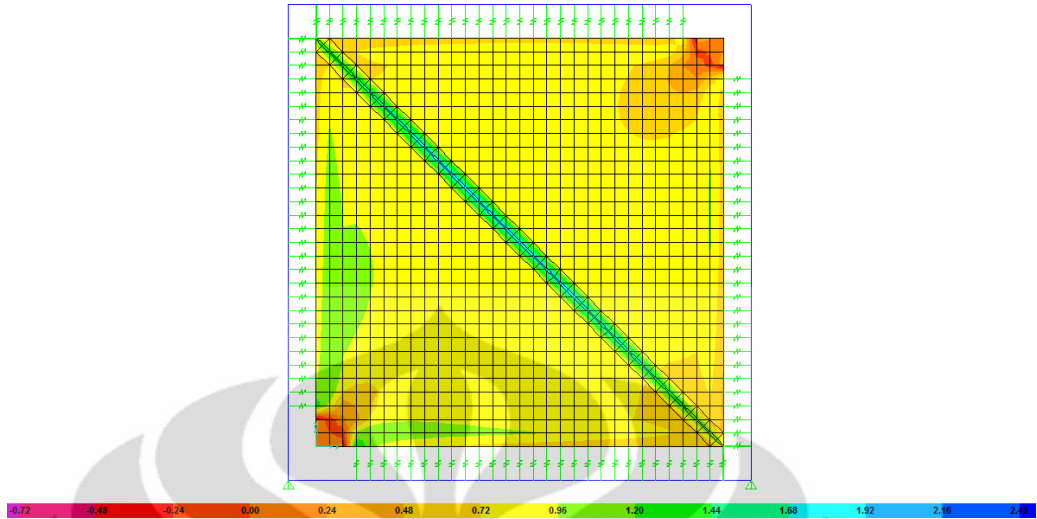
Gambar A3.52 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 1* – Smin



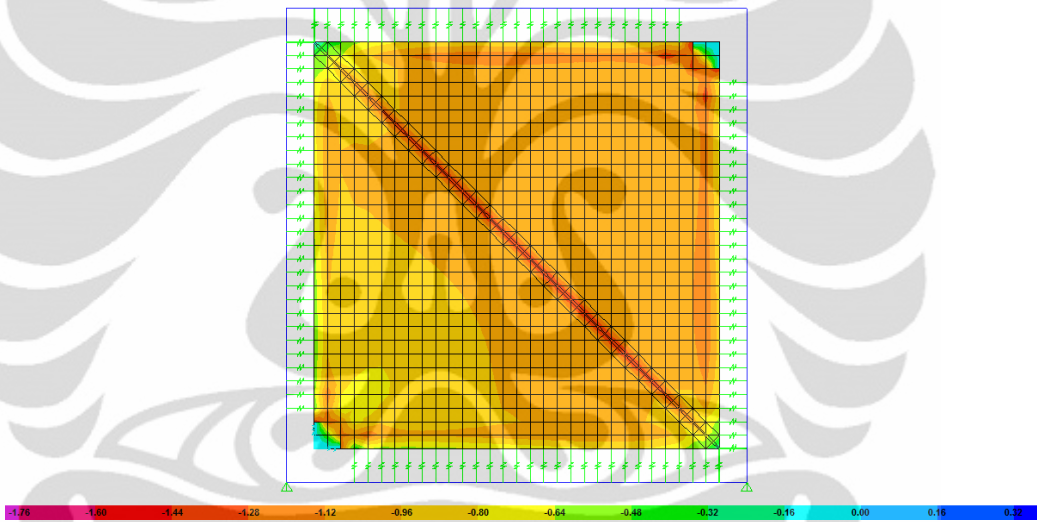
Gambar A3.53 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 2* – Smax



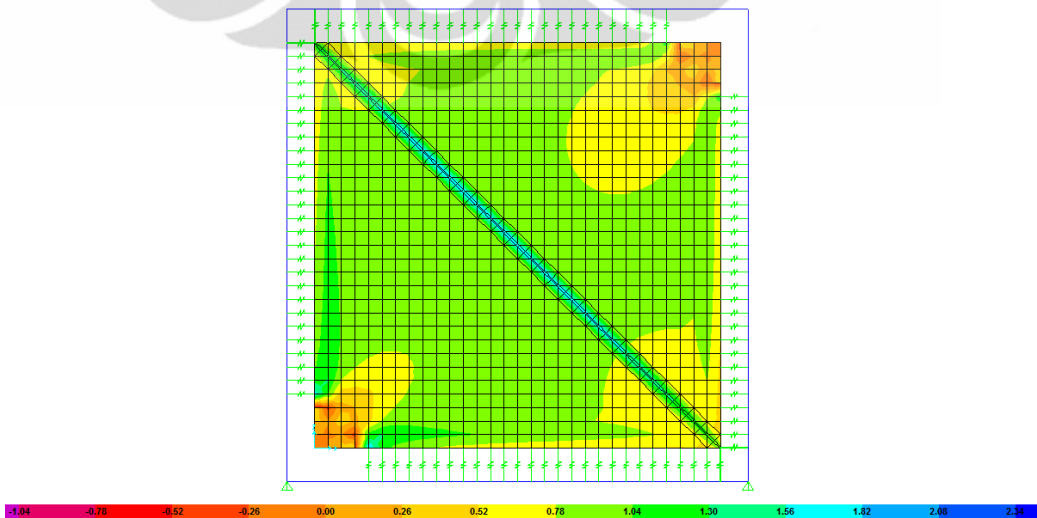
Gambar A3.54 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 2* – Smin



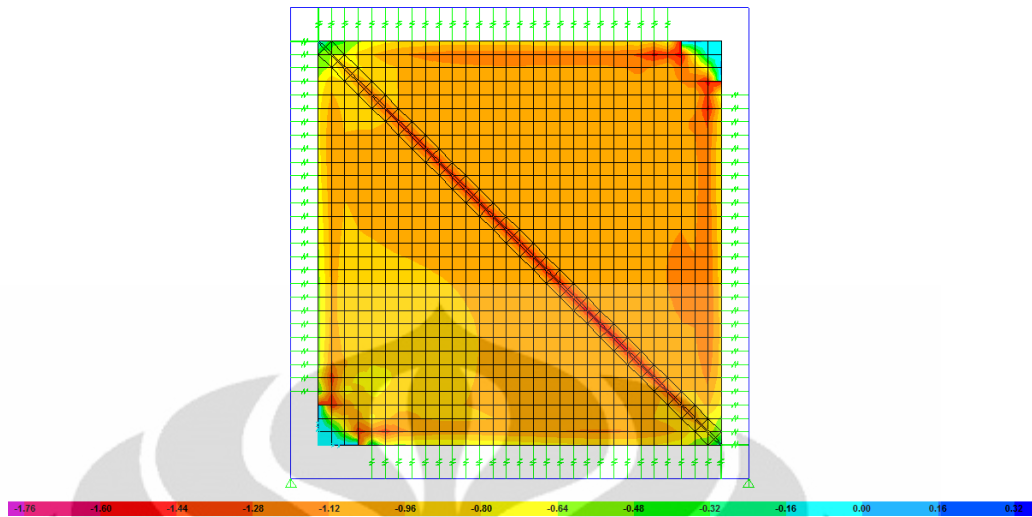
Gambar A3.55 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 3* – Smax



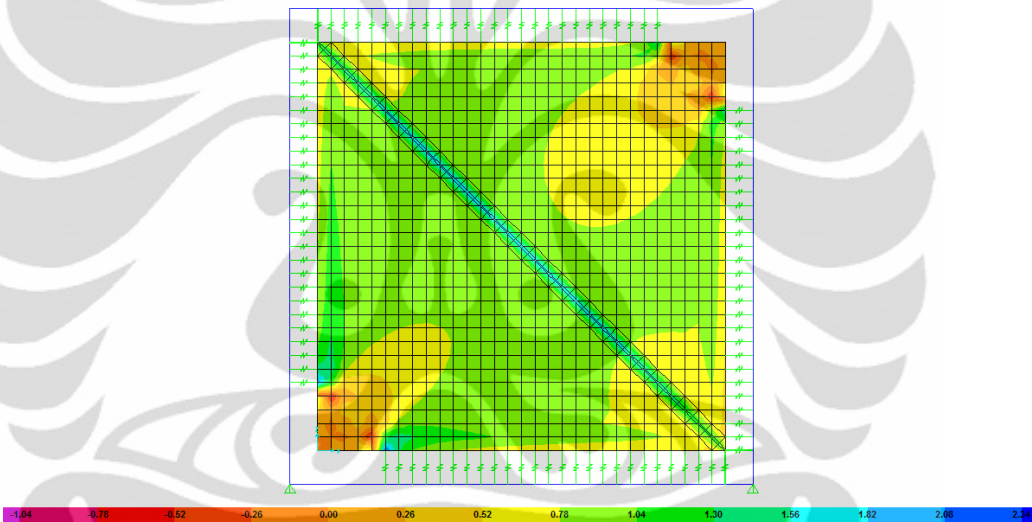
Gambar A3.56 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 3* – Smin



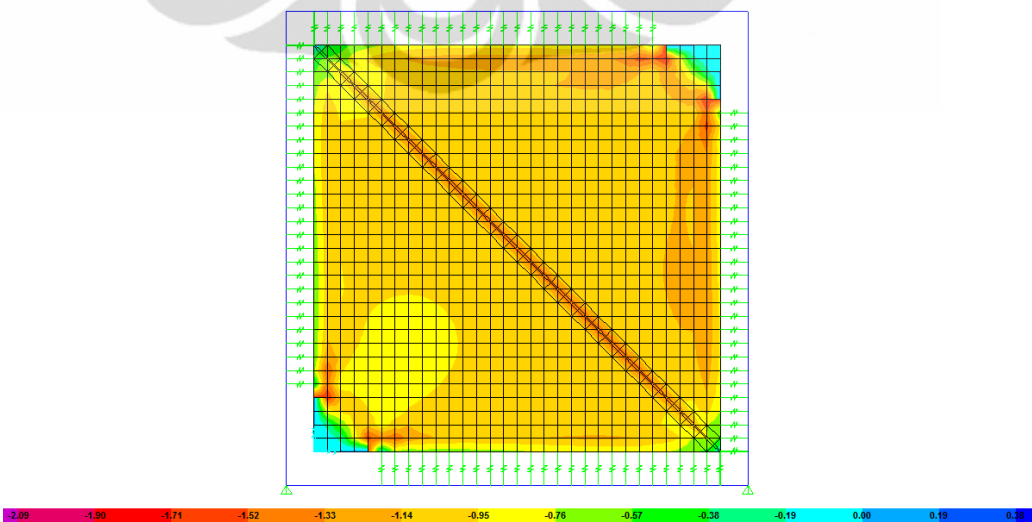
Gambar A3.57 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 4* – Smax



Gambar A3.58 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 4* – Smin



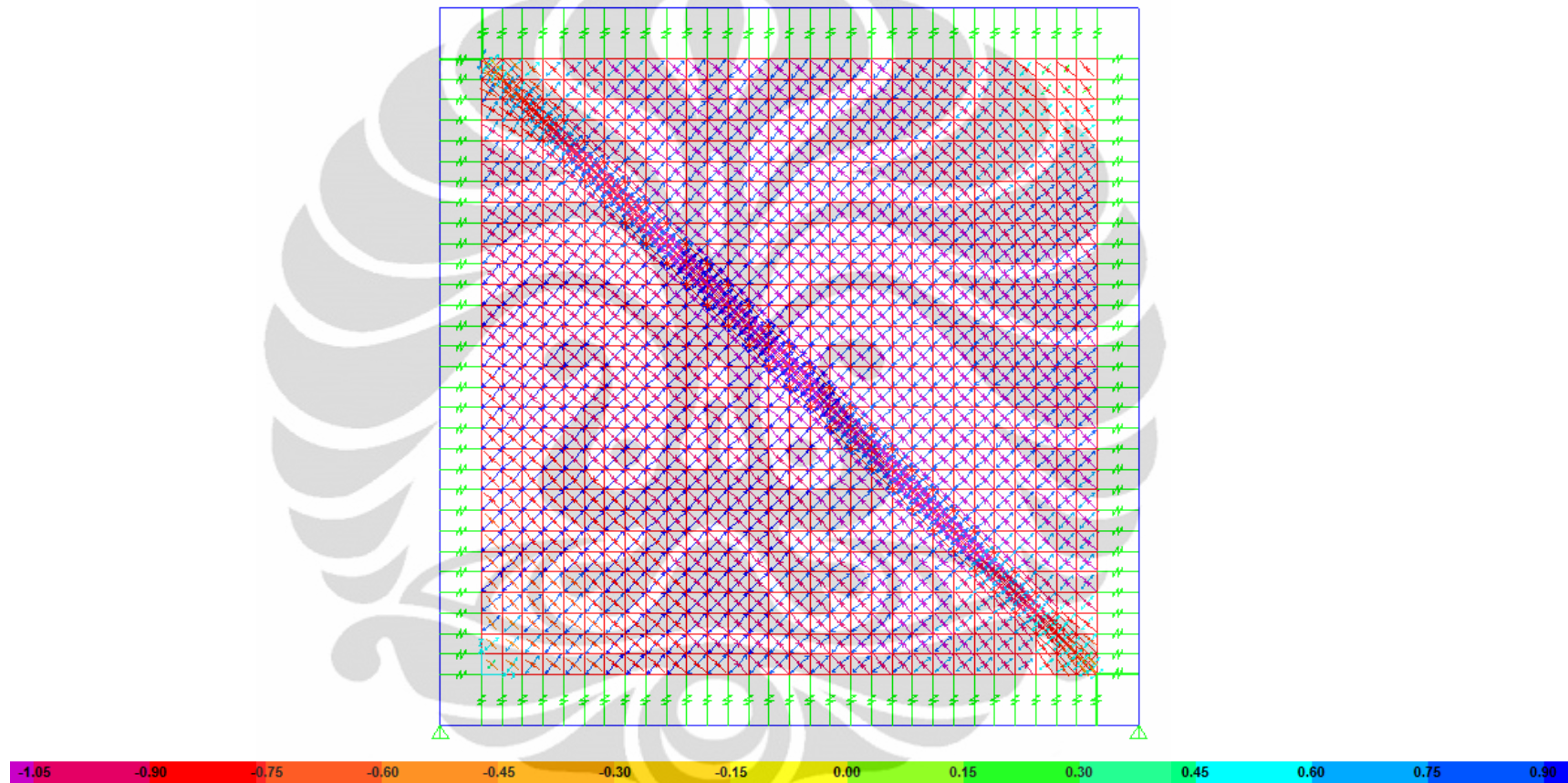
Gambar A3.59 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 5* – Smax



Gambar A3.60 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 5* – Smin

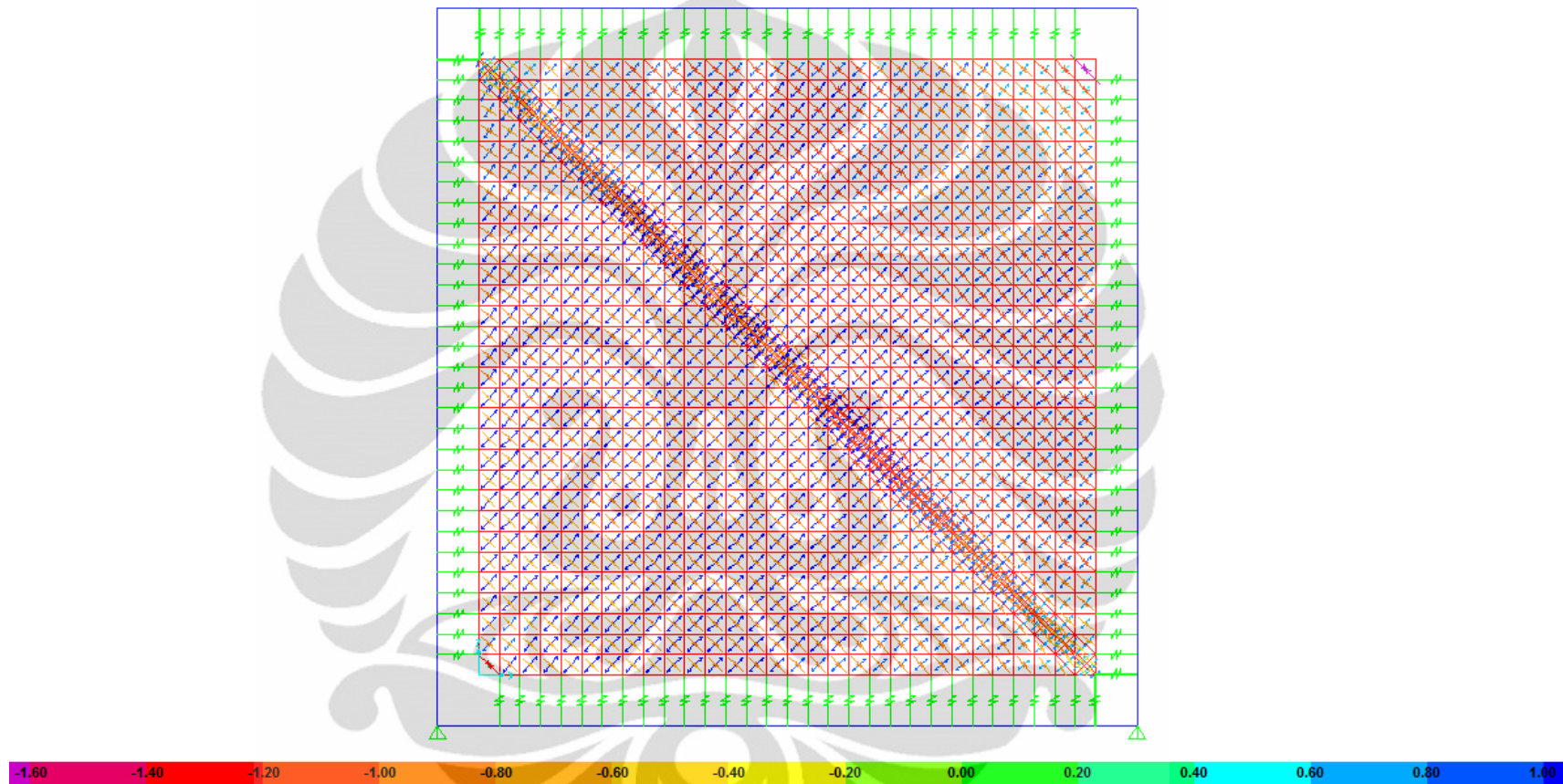
(Lanjutan)

Lampiran 4: Arah Vektor Tegangan Utama Model Satu Panel Dinding



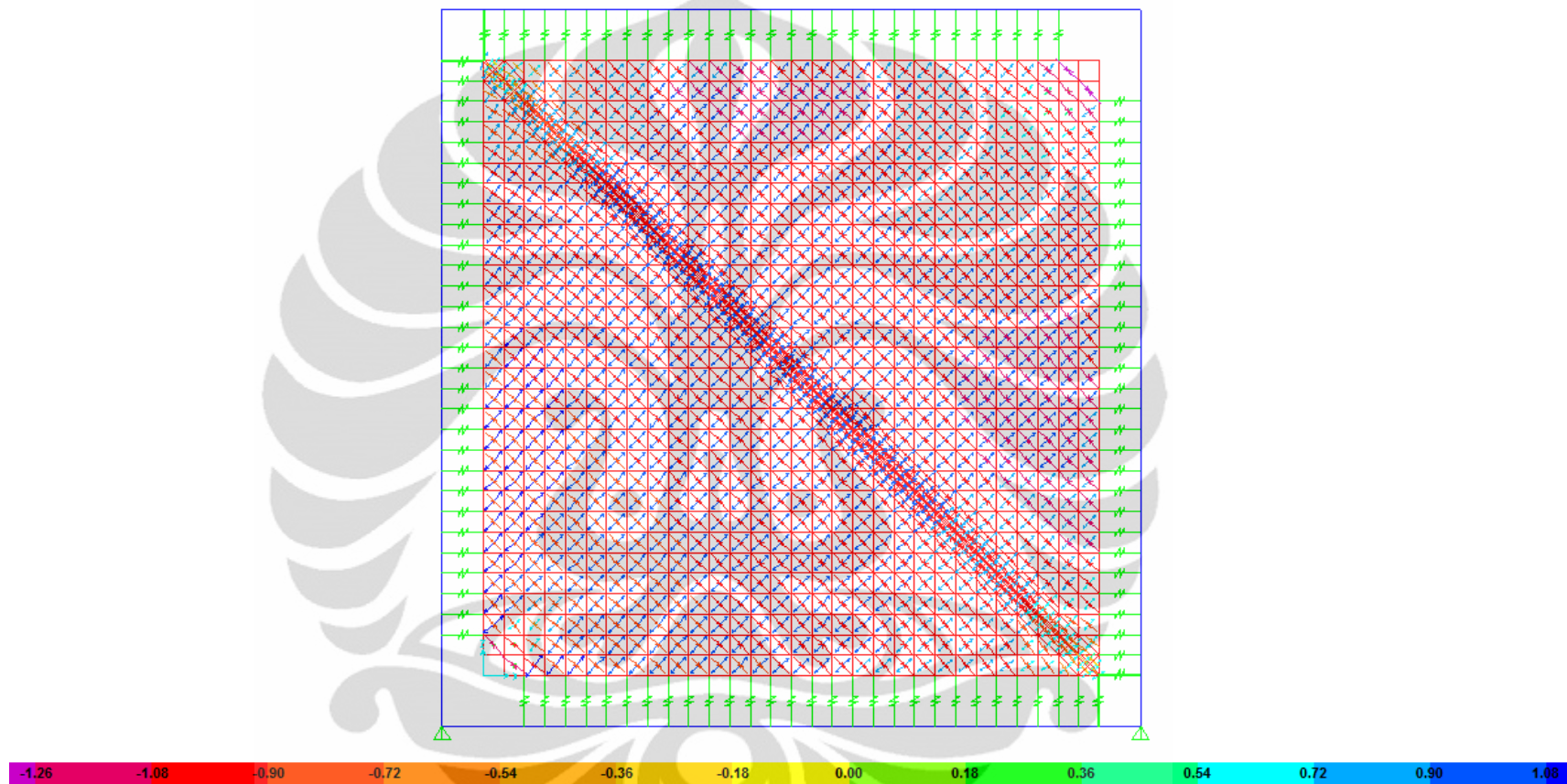
Gambar A4.1 Dinding Bata Utuh - *Unlink 0*

(Lanjutan)



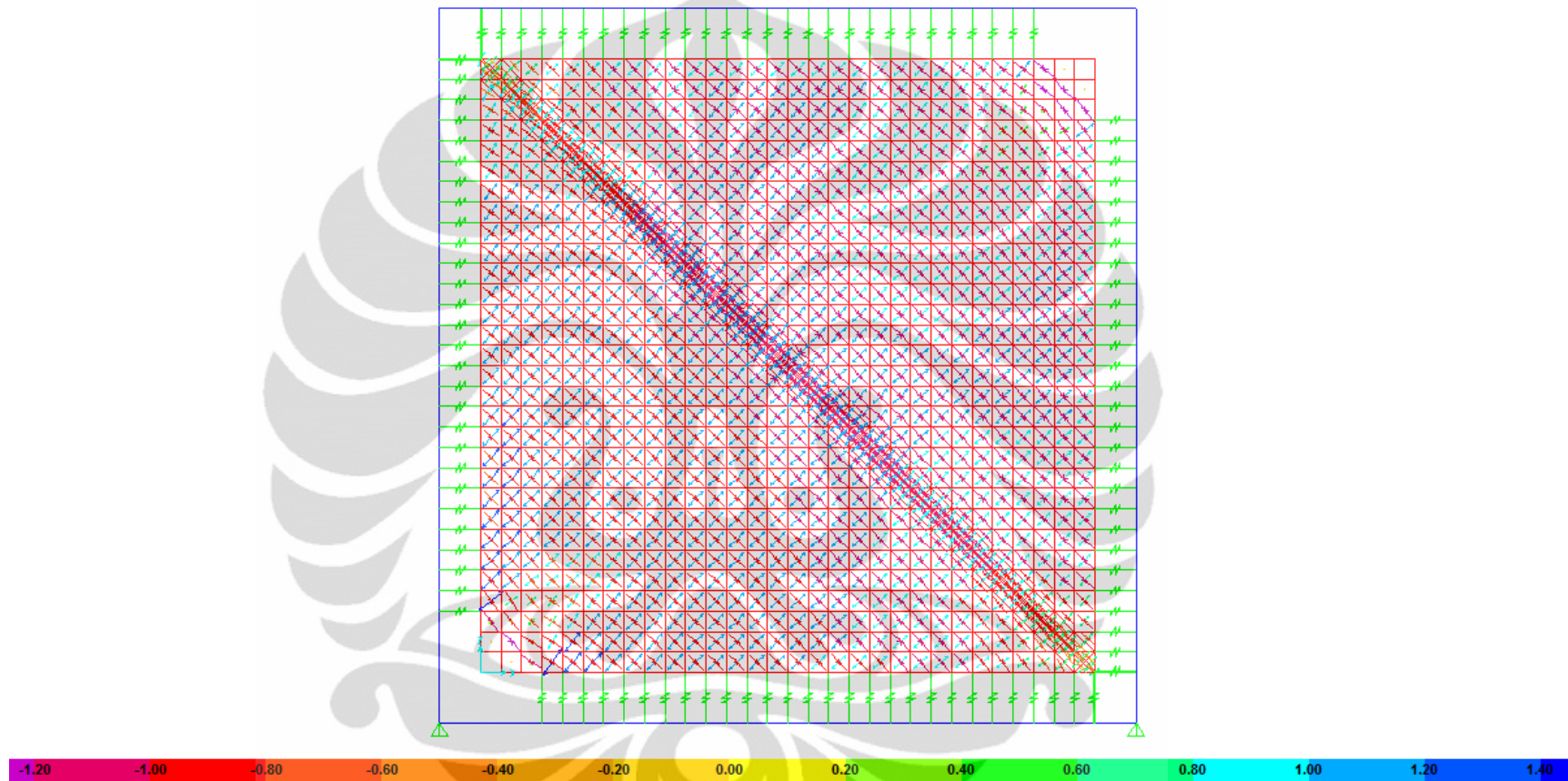
Gambar A4.2 Dinding Bata Utuh - *Unlink 1*

(Lanjutan)



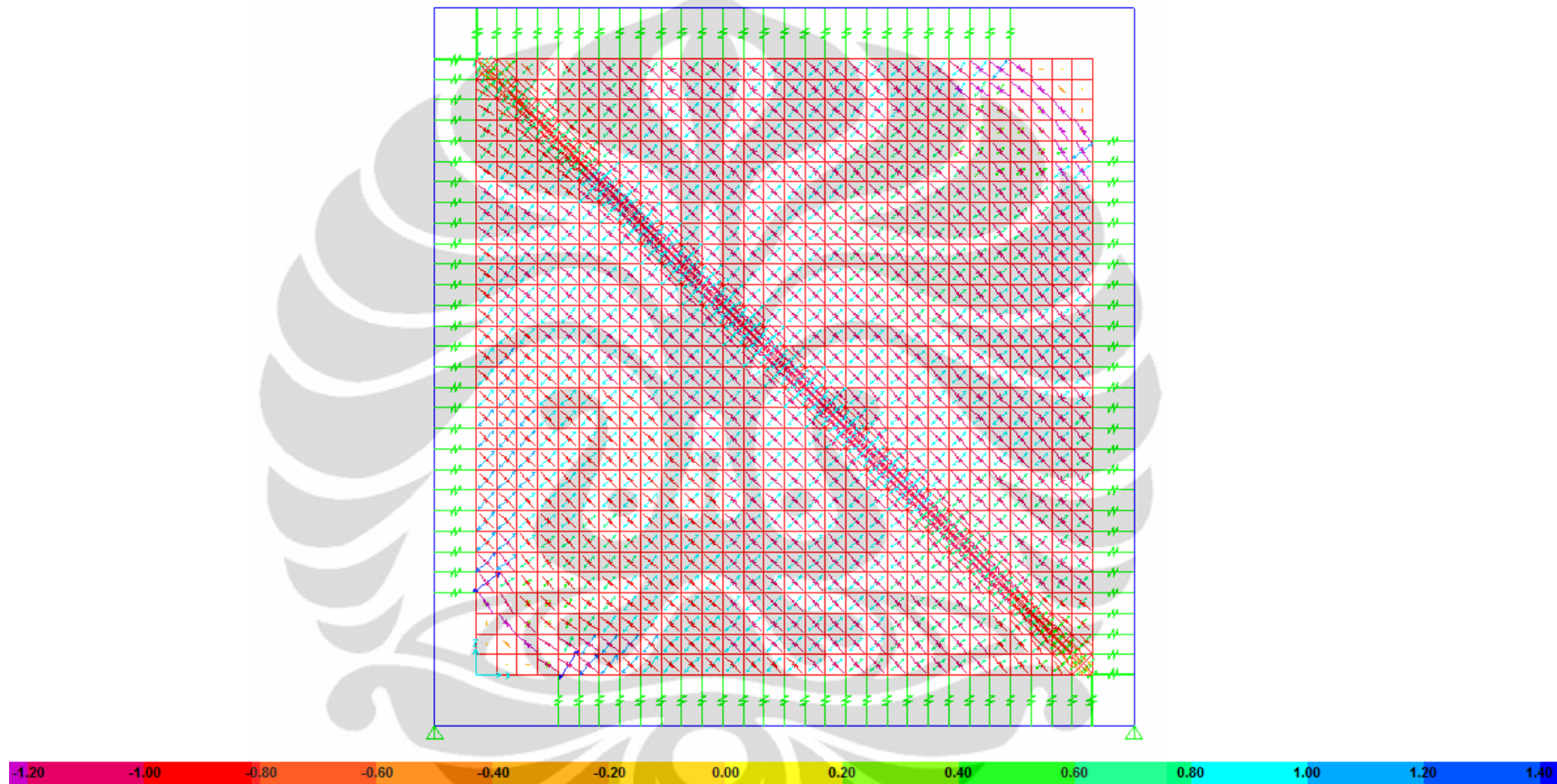
Gambar A4.3 Dinding Bata Utuh - *Unlink 2*

(Lanjutan)



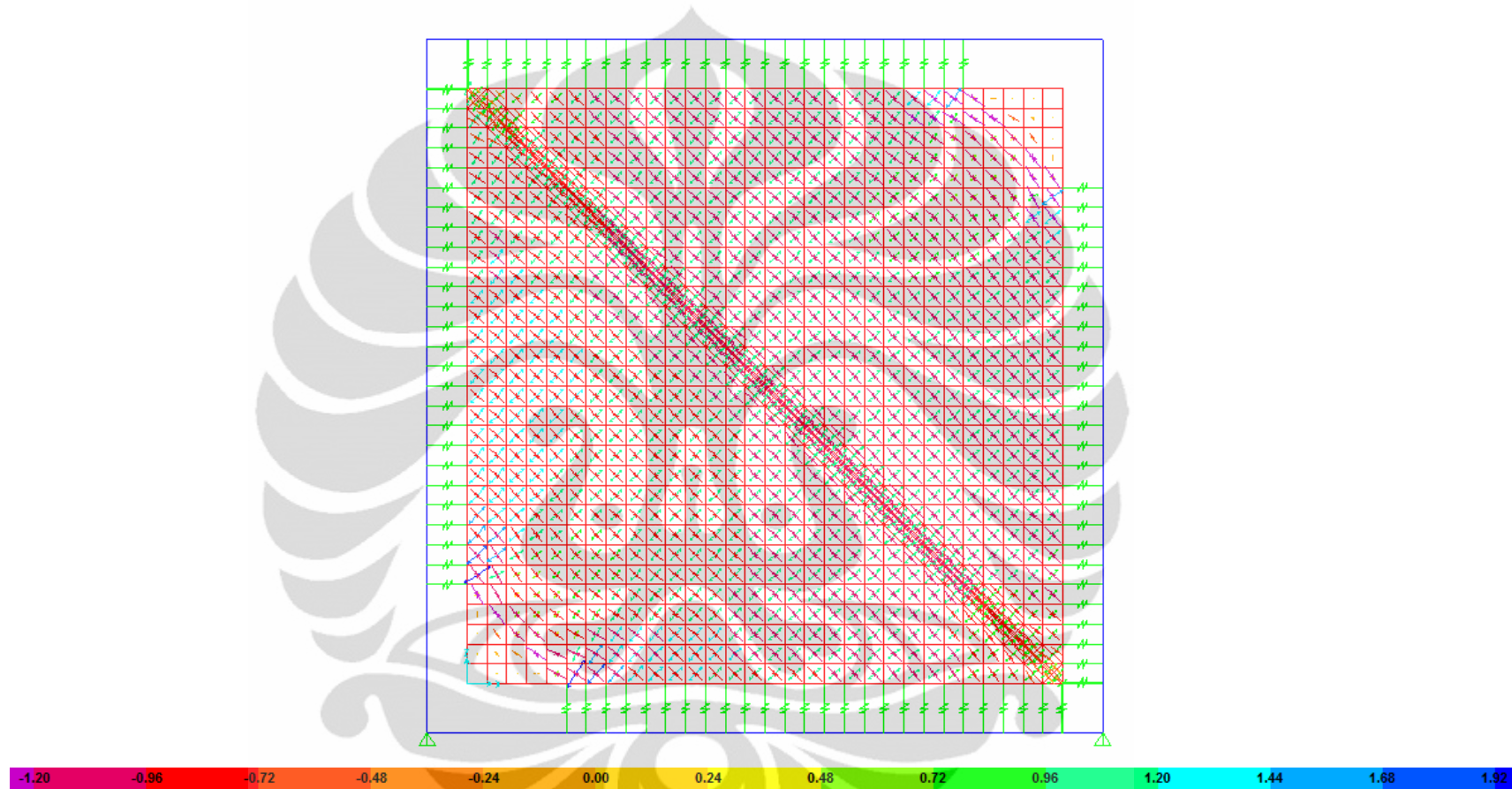
Gambar A4.4 Dinding Bata Utuh - *Unlink 3*

(Lanjutan)



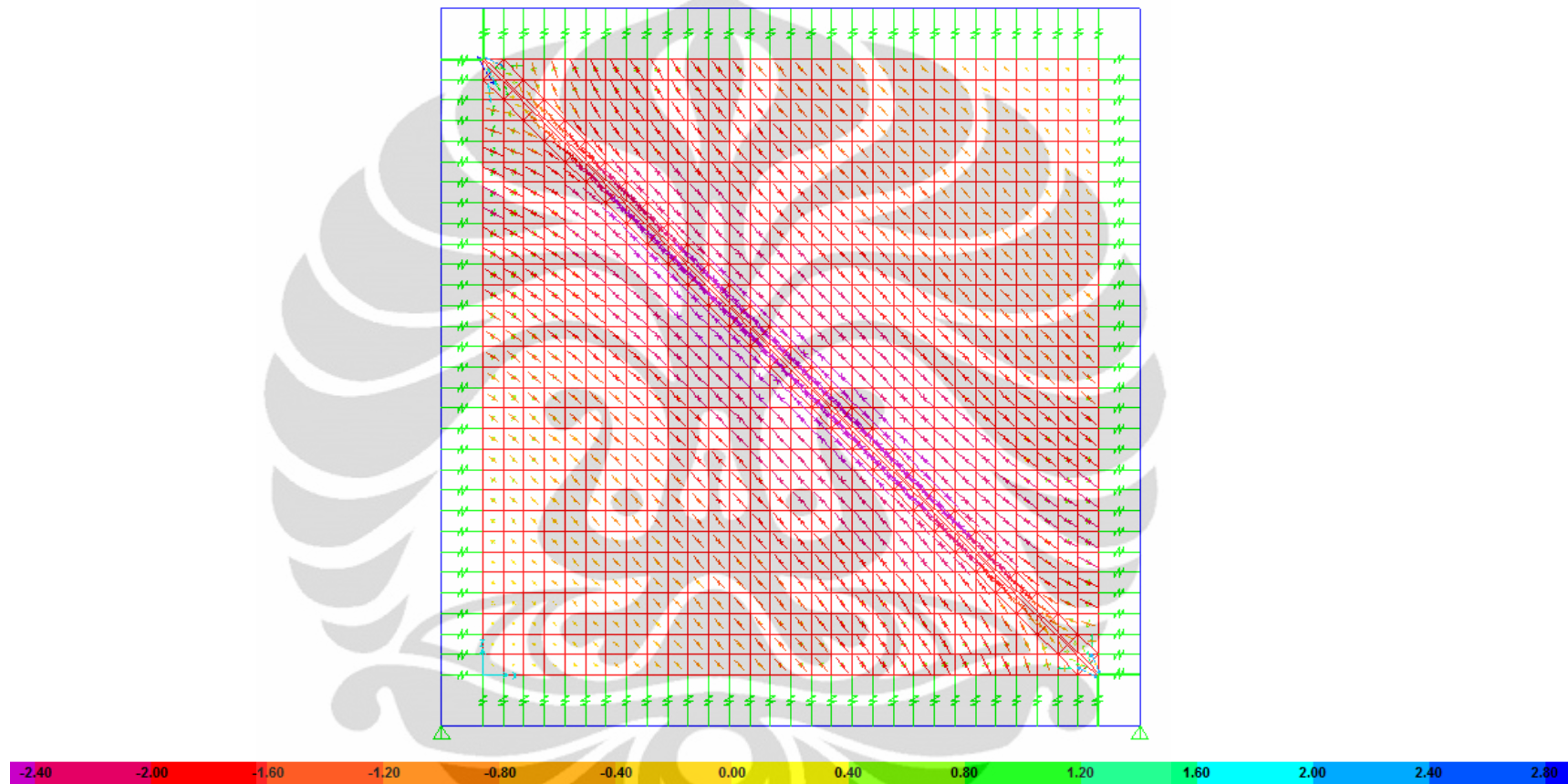
Gambar A4.5 Dinding Bata Utuh - *Unlink 4*

(Lanjutan)



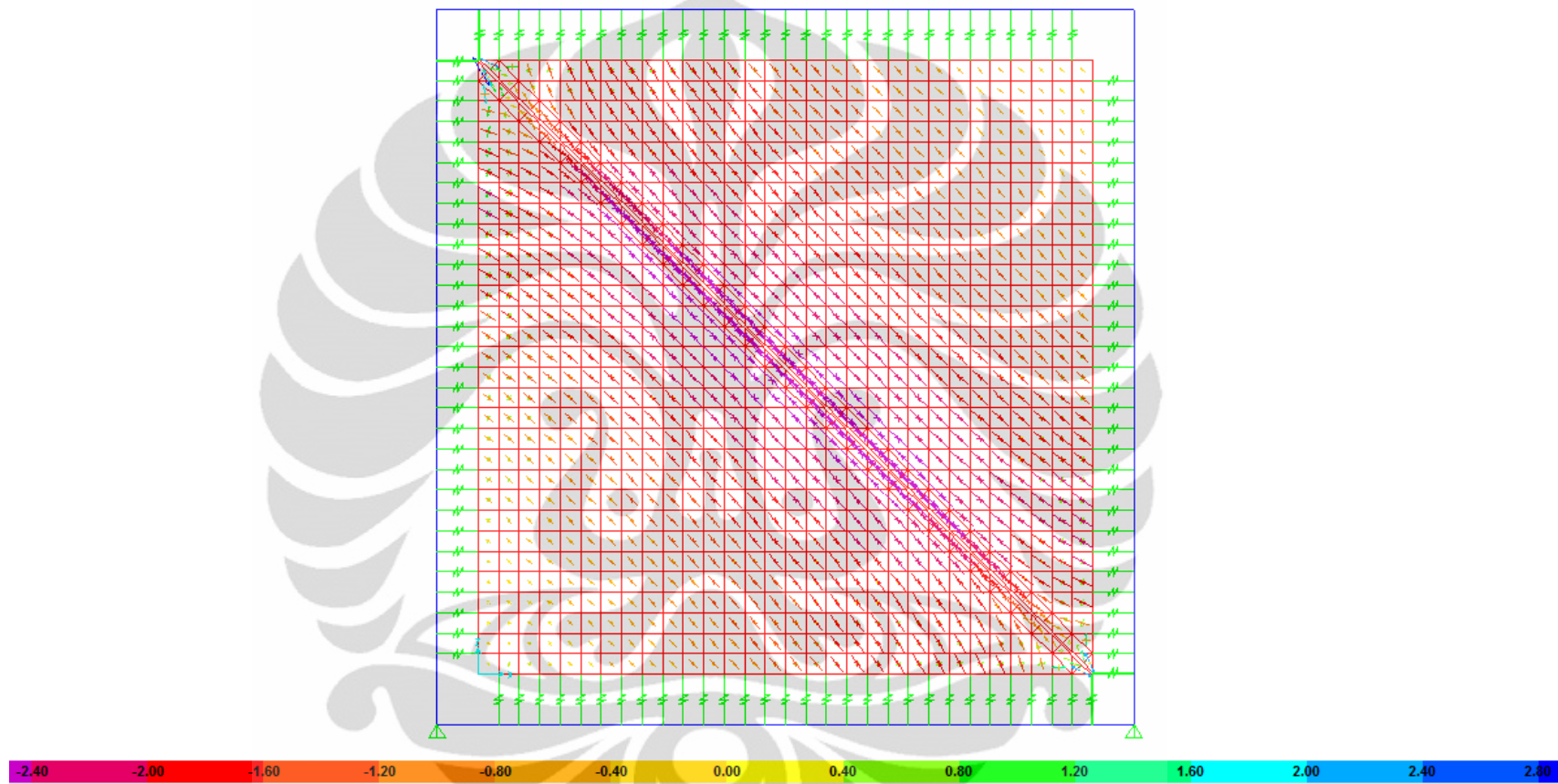
Dindi Gambar A4.6 ng Bata Utuh - *Unlink 5*

(Lanjutan)



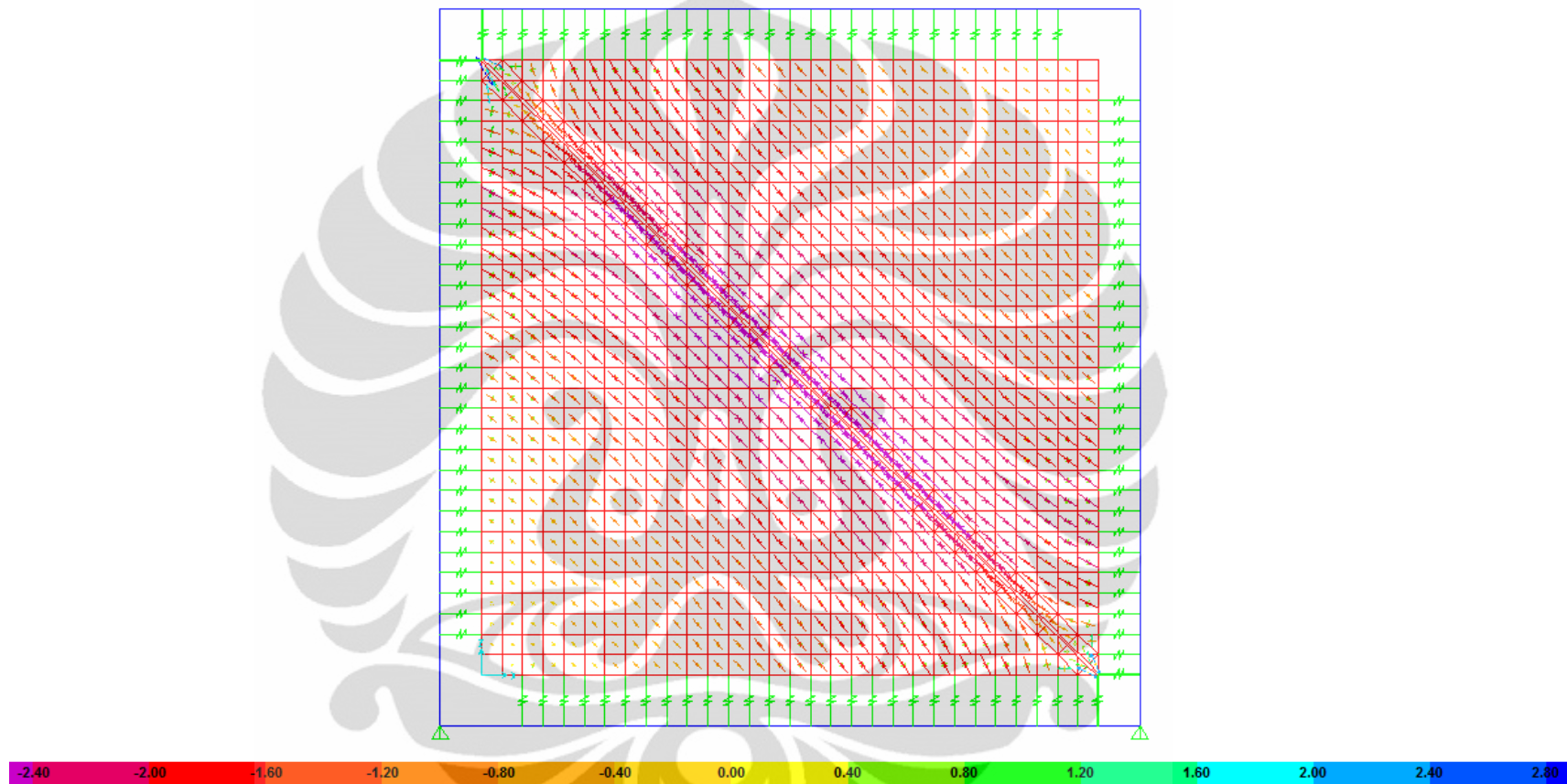
Gambar A4.7 Dinding Bata Retak - *Unlink 0*

(Lanjutan)



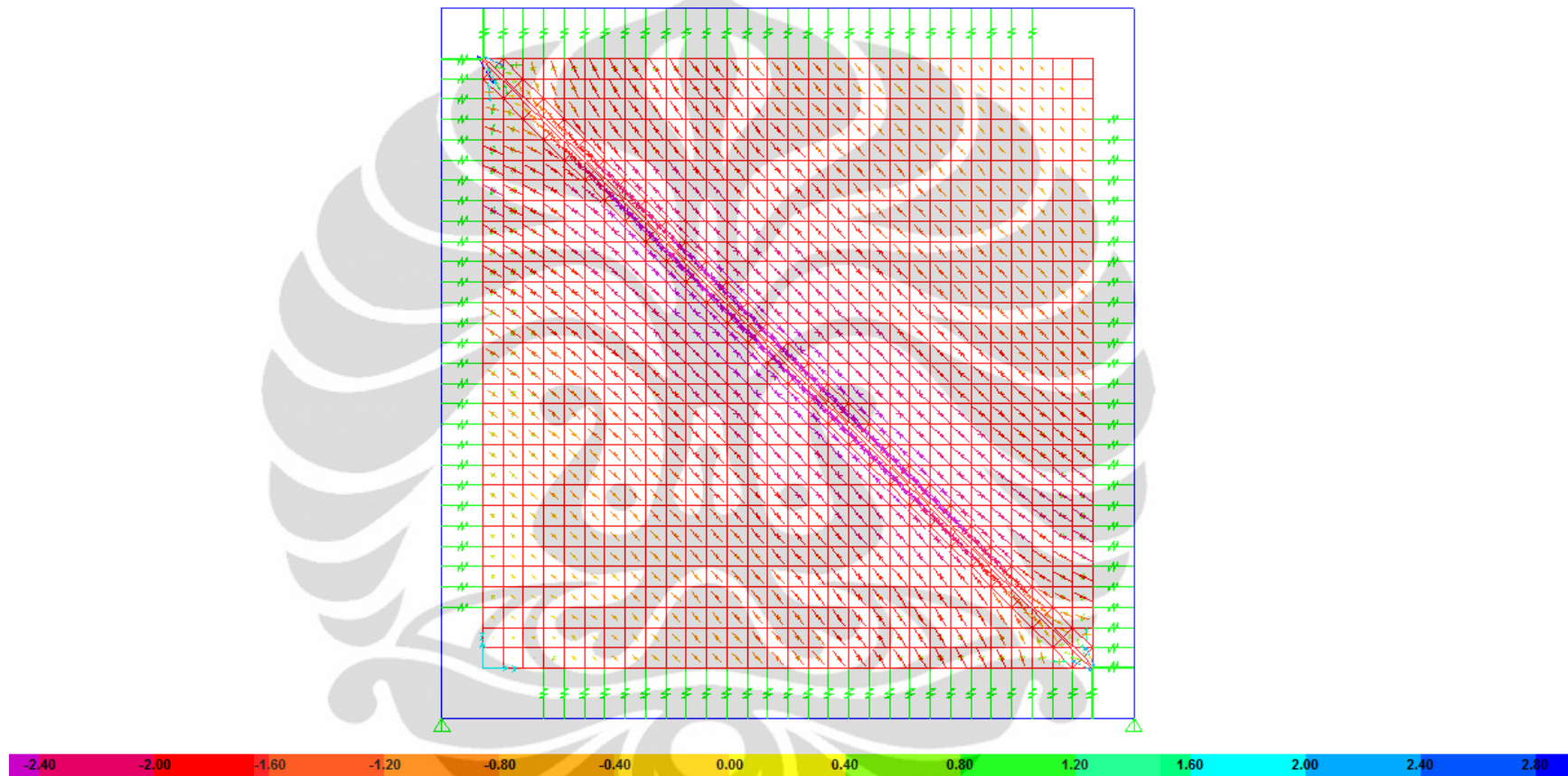
Gambar A4.8 Dinding Bata Retak - *Unlink 1*

(Lanjutan)



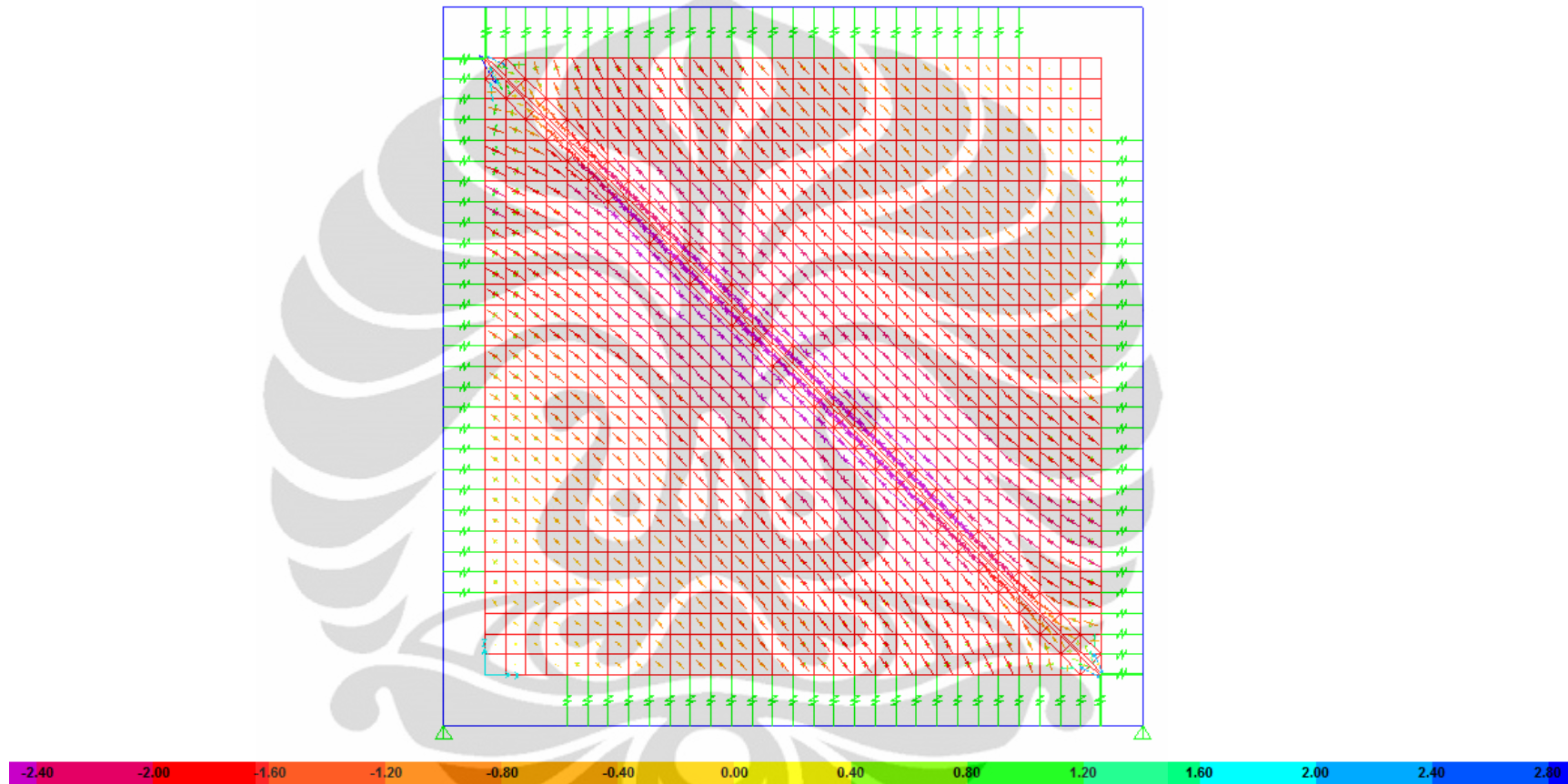
Gambar A4.9 Dinding Bata Retak - *Unlink 2*

(Lanjutan)



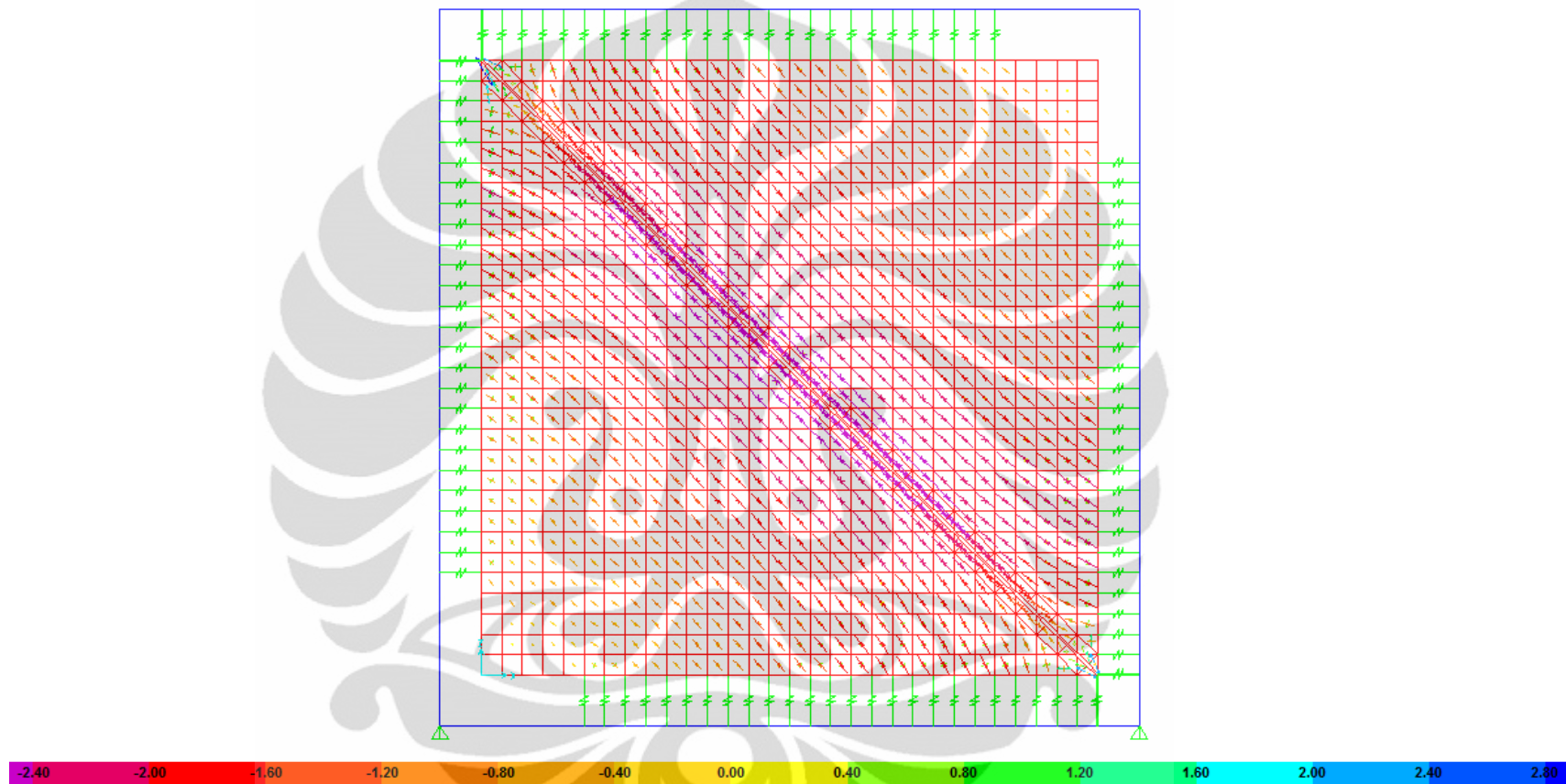
Gambar A4.10 Dinding Bata Retak - *Unlink 3*

(Lanjutan)



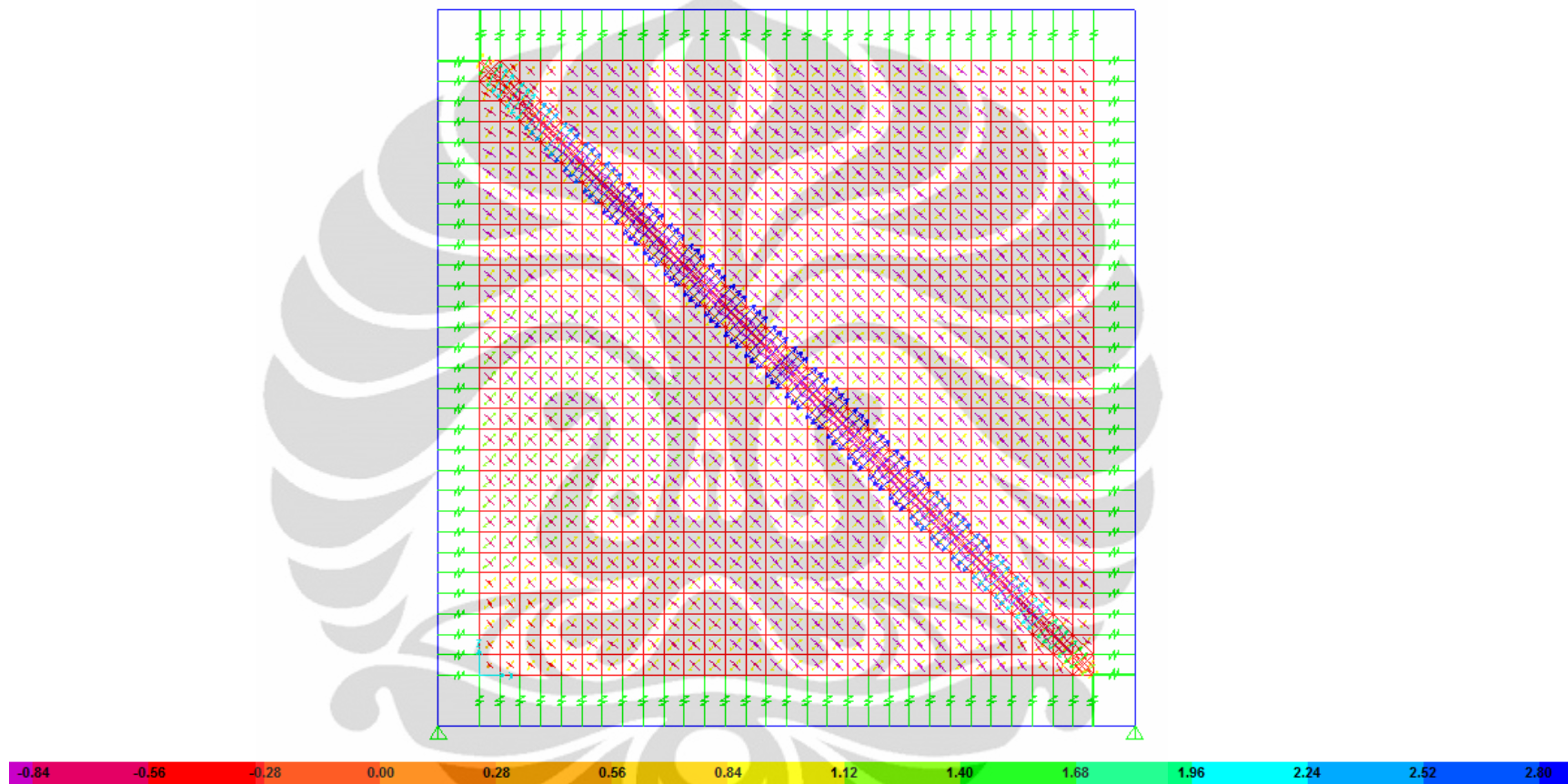
Gambar A4.11 Dinding Bata Retak - *Unlink 4*

(Lanjutan)



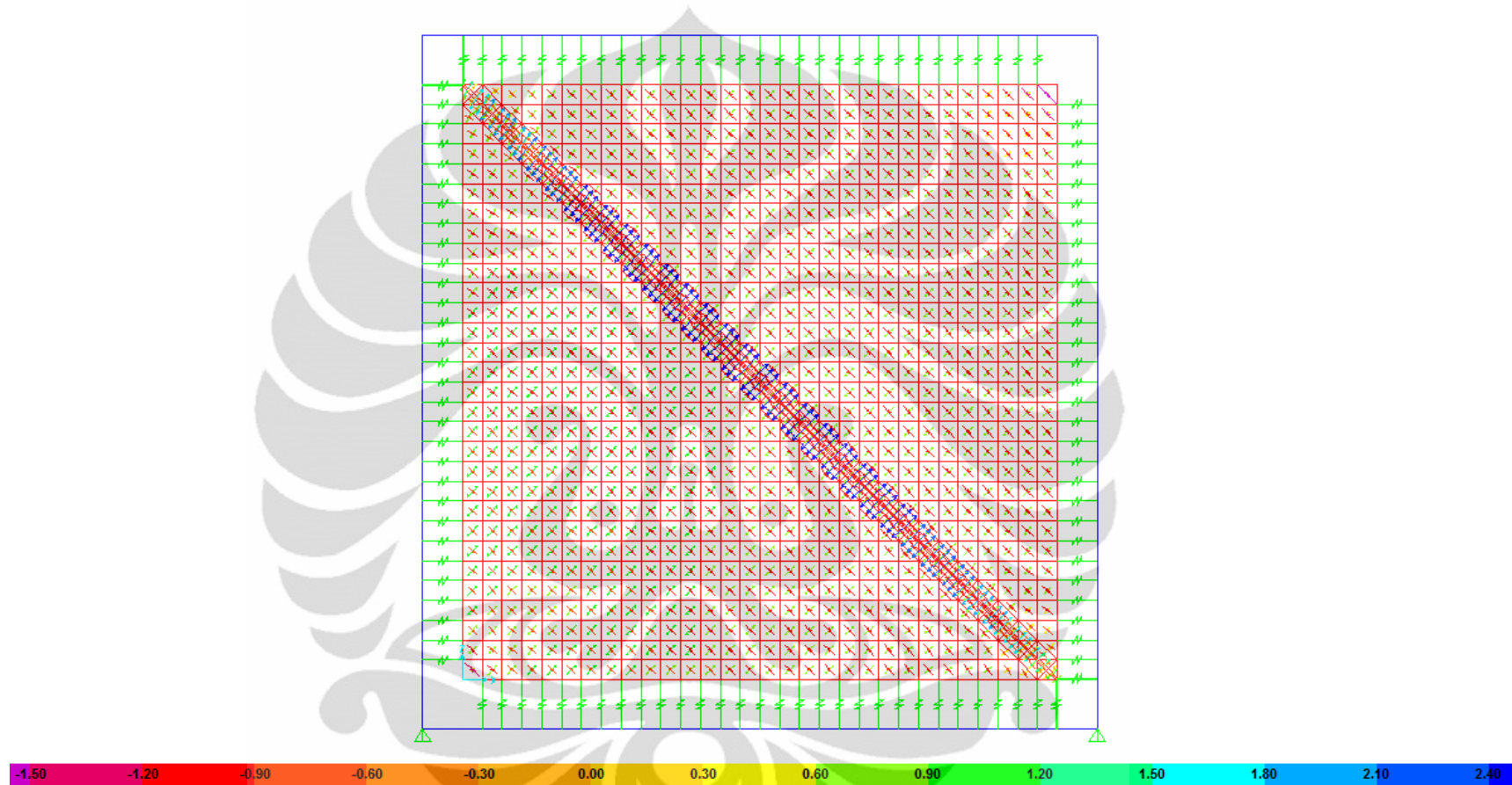
Gambar A4.12 Dinding Bata Retak - *Unlink 5*

(Lanjutan)



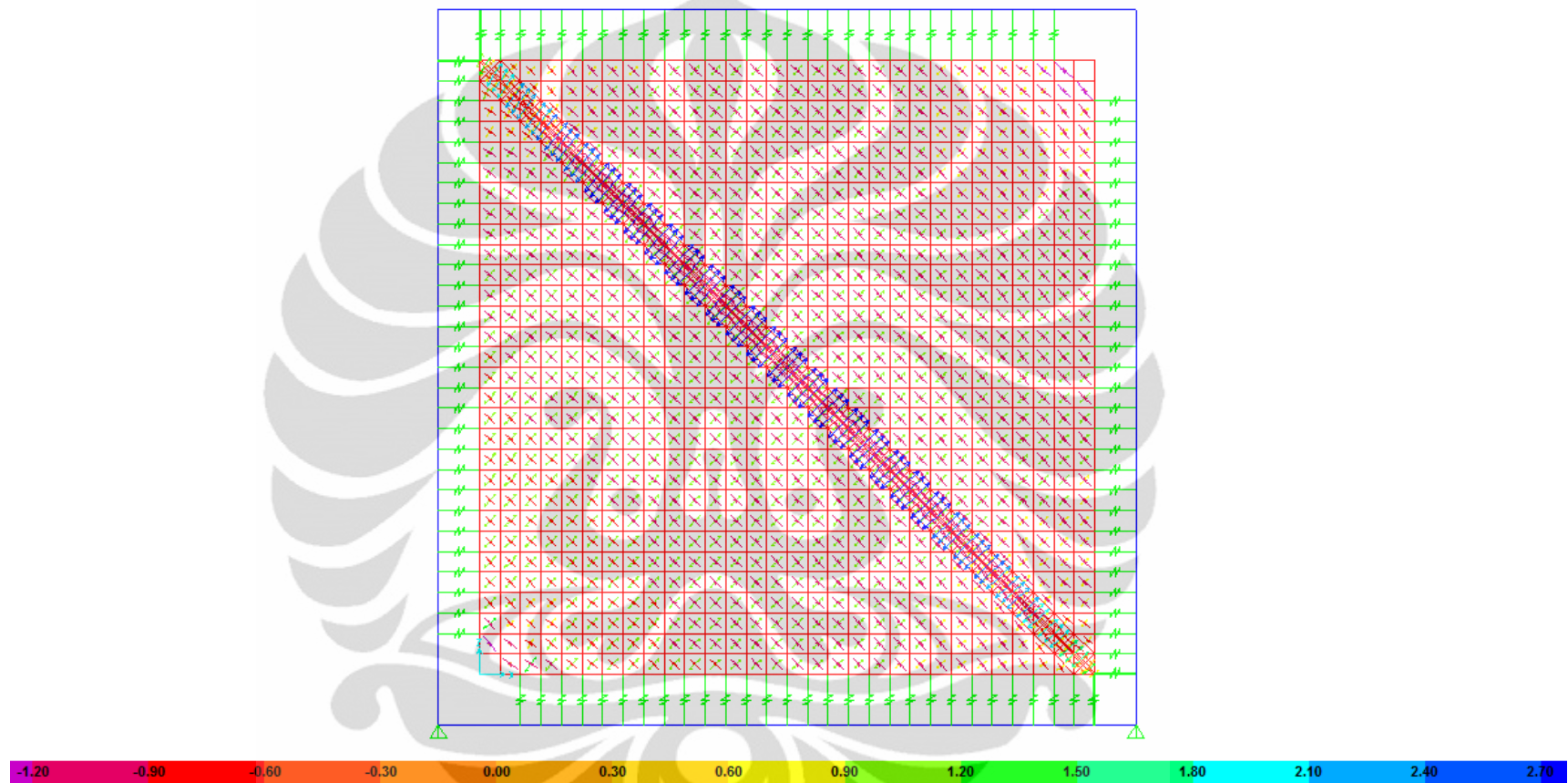
Gambar A4.13 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 0*

(Lanjutan)



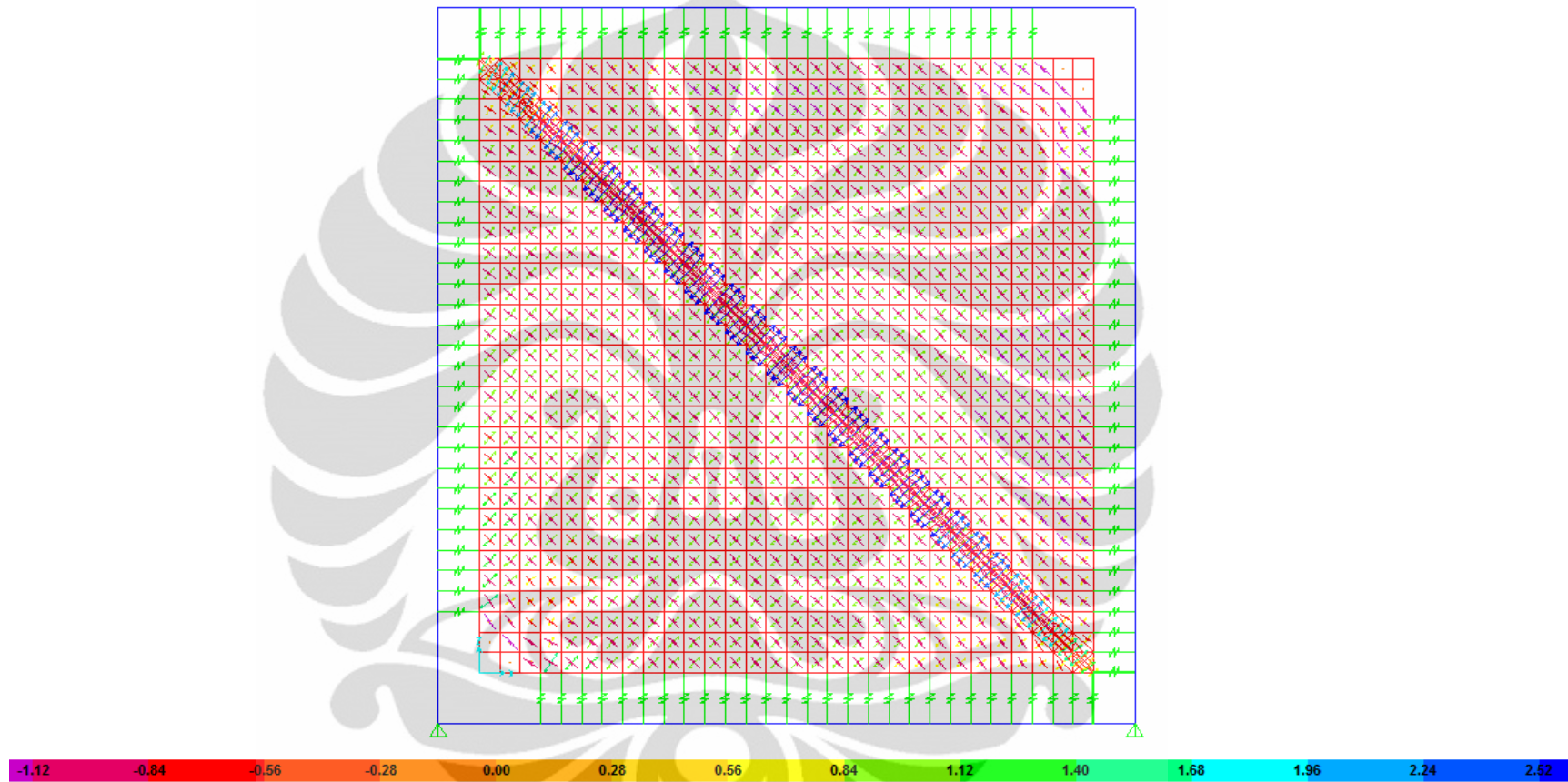
Gambar A4.14 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 1*

(Lanjutan)



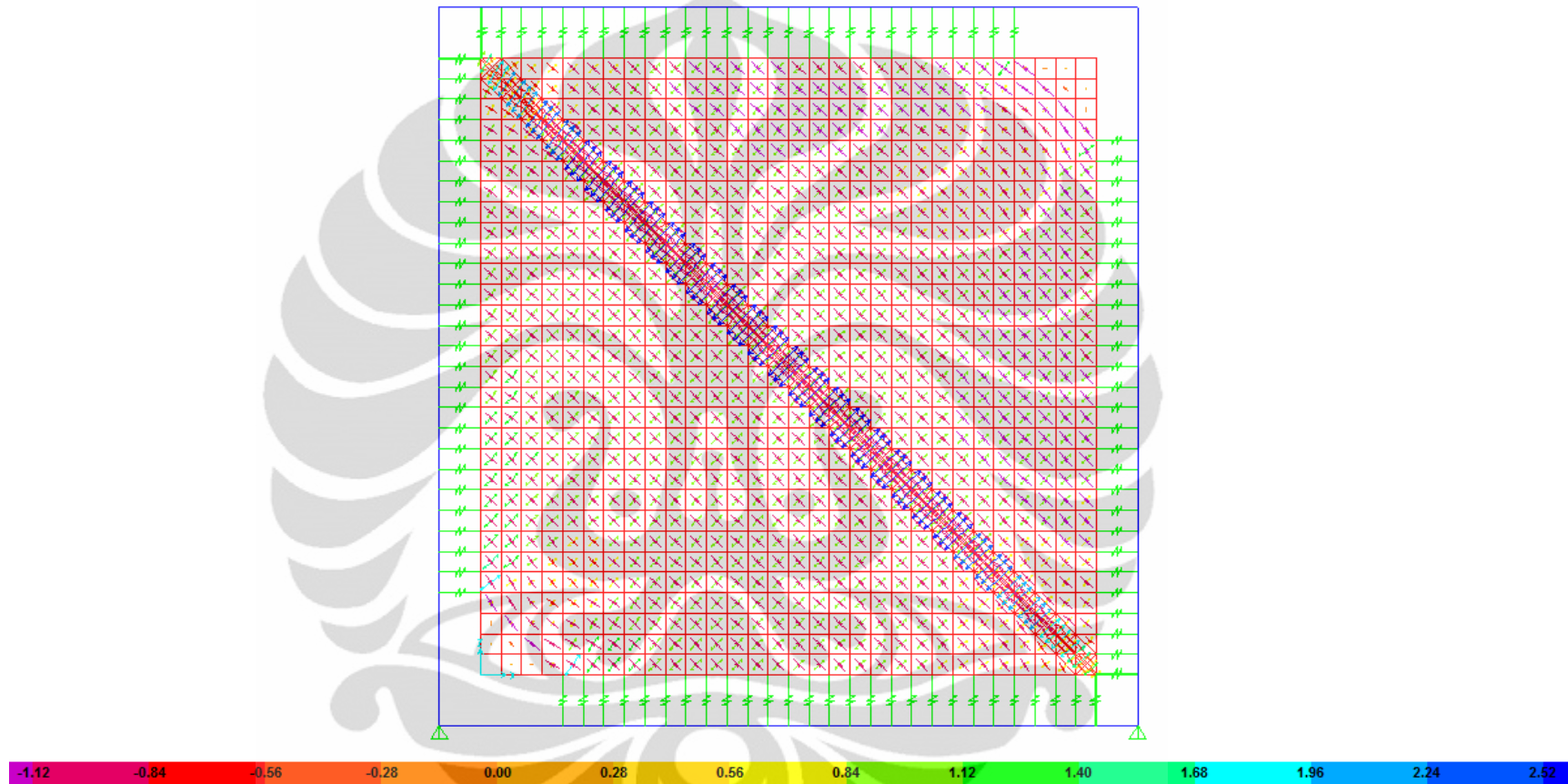
Gambar A4.15 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 2*

(Lanjutan)



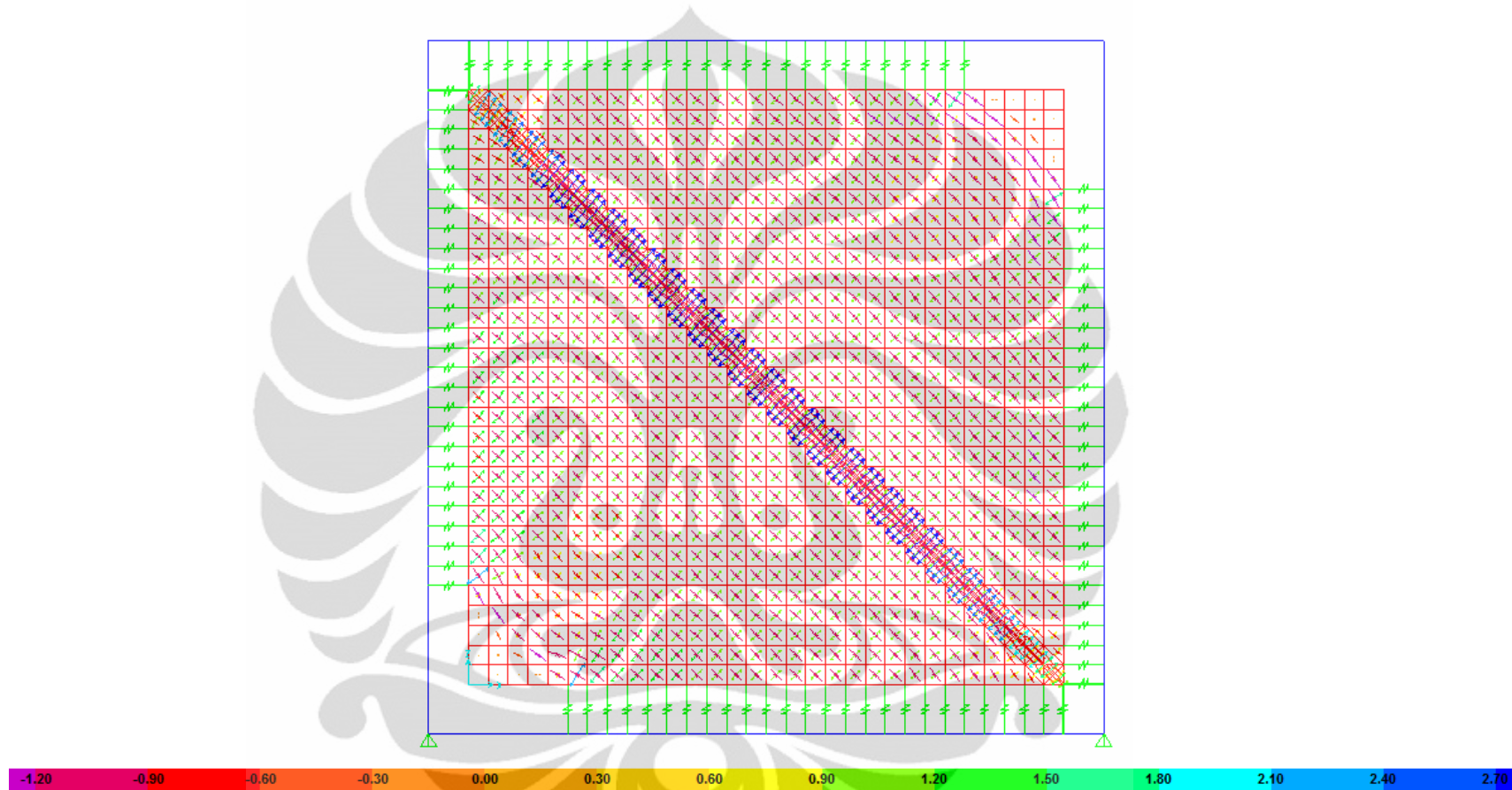
Gambar A4.16 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 3*

(Lanjutan)



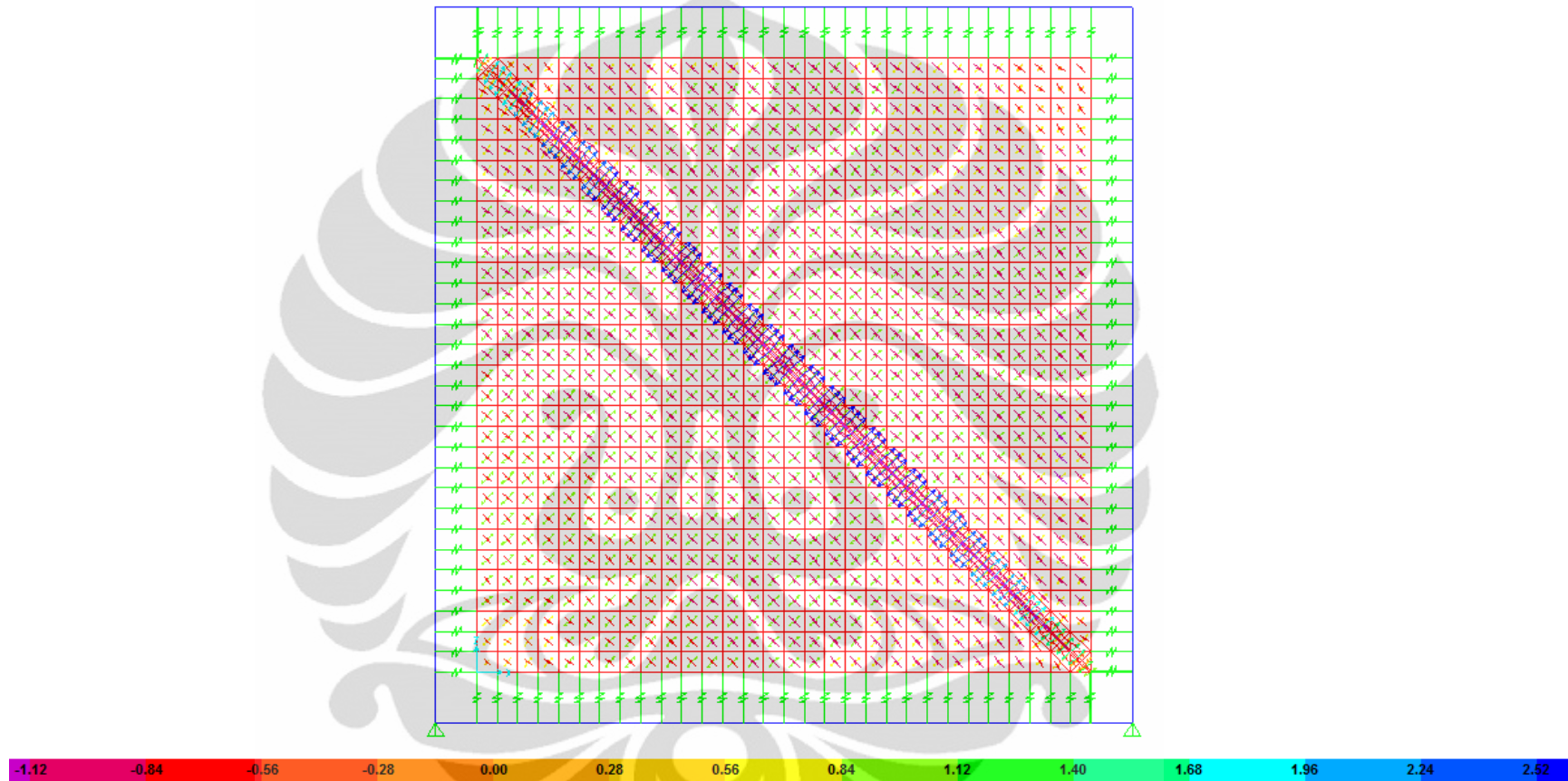
Gambar A4.17 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink 4*

(Lanjutan)



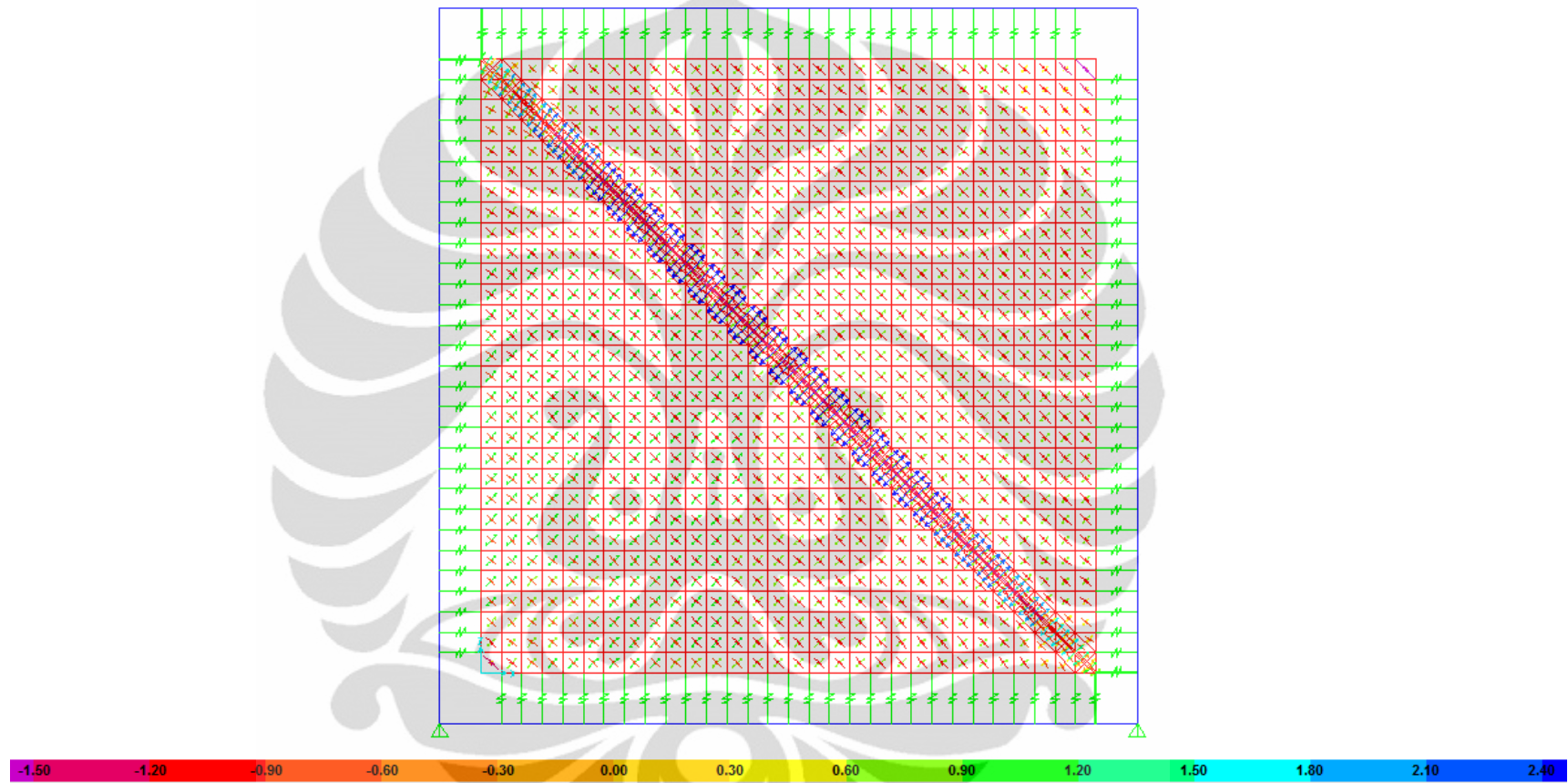
Gambar A4.18 Dinding Bata Plester Var-1 - *Unlink* 5

(Lanjutan)



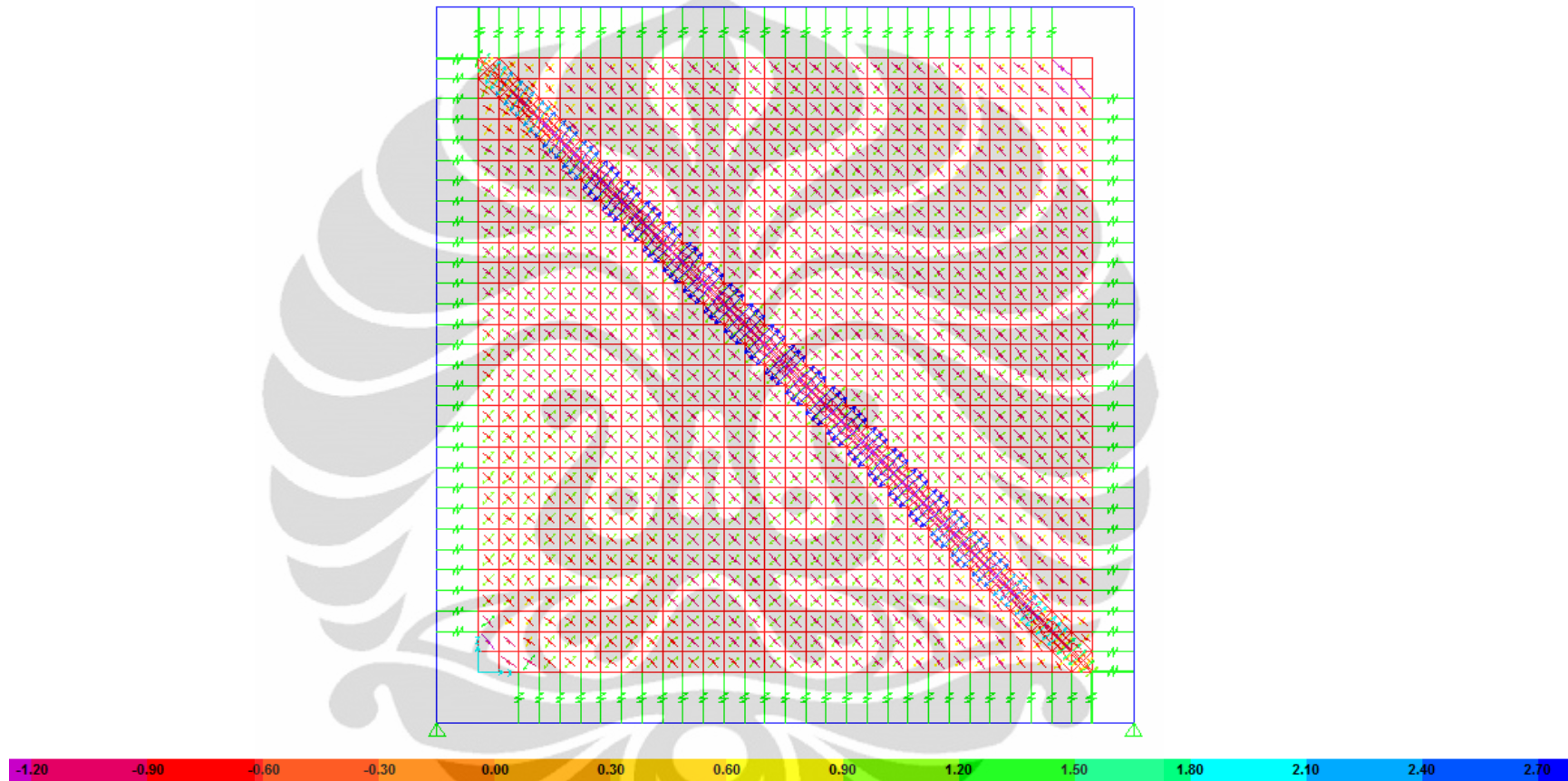
Gambar A4.19 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 0*

(Lanjutan)



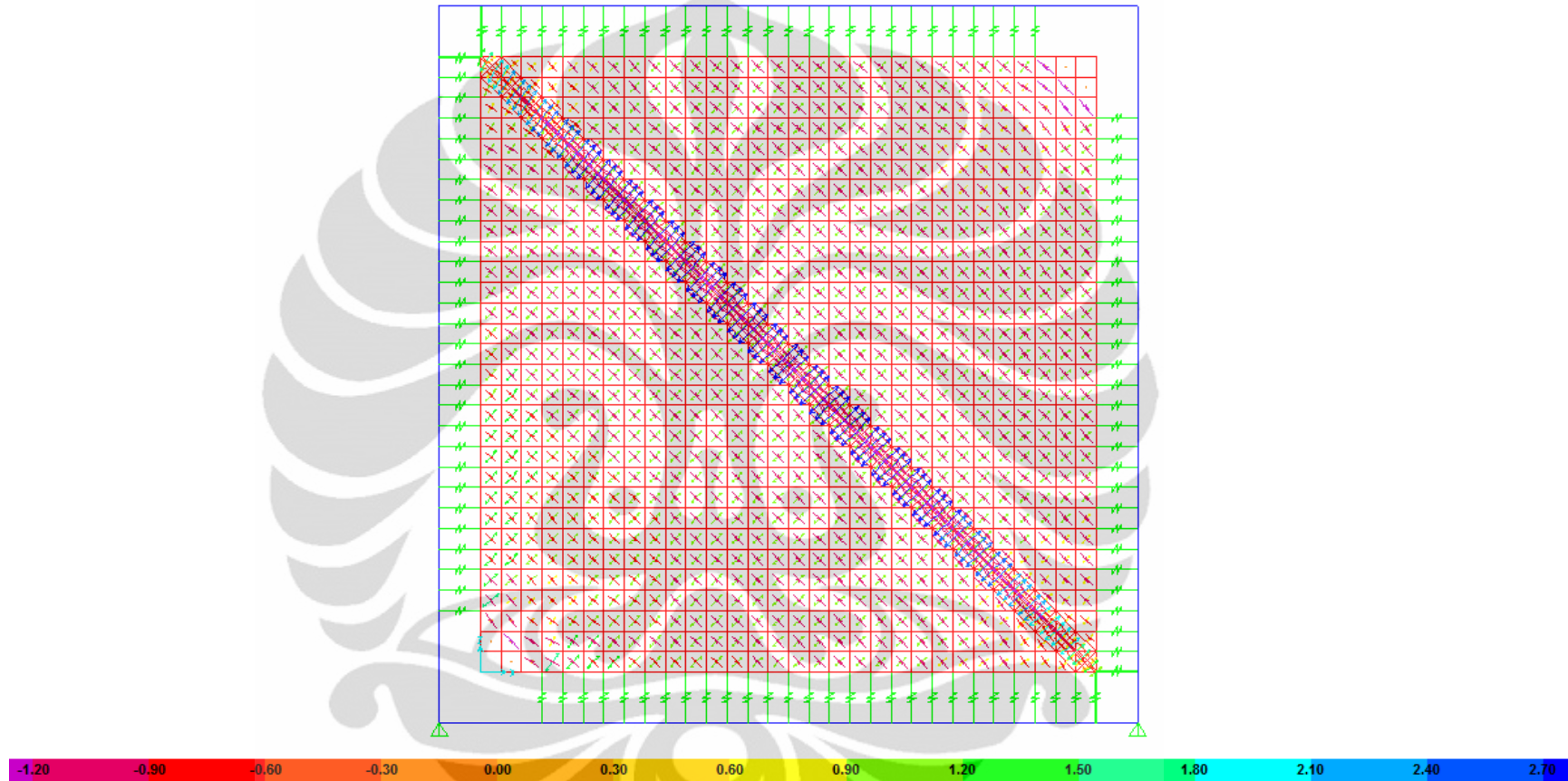
Gambar A4.20 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 1*

(Lanjutan)

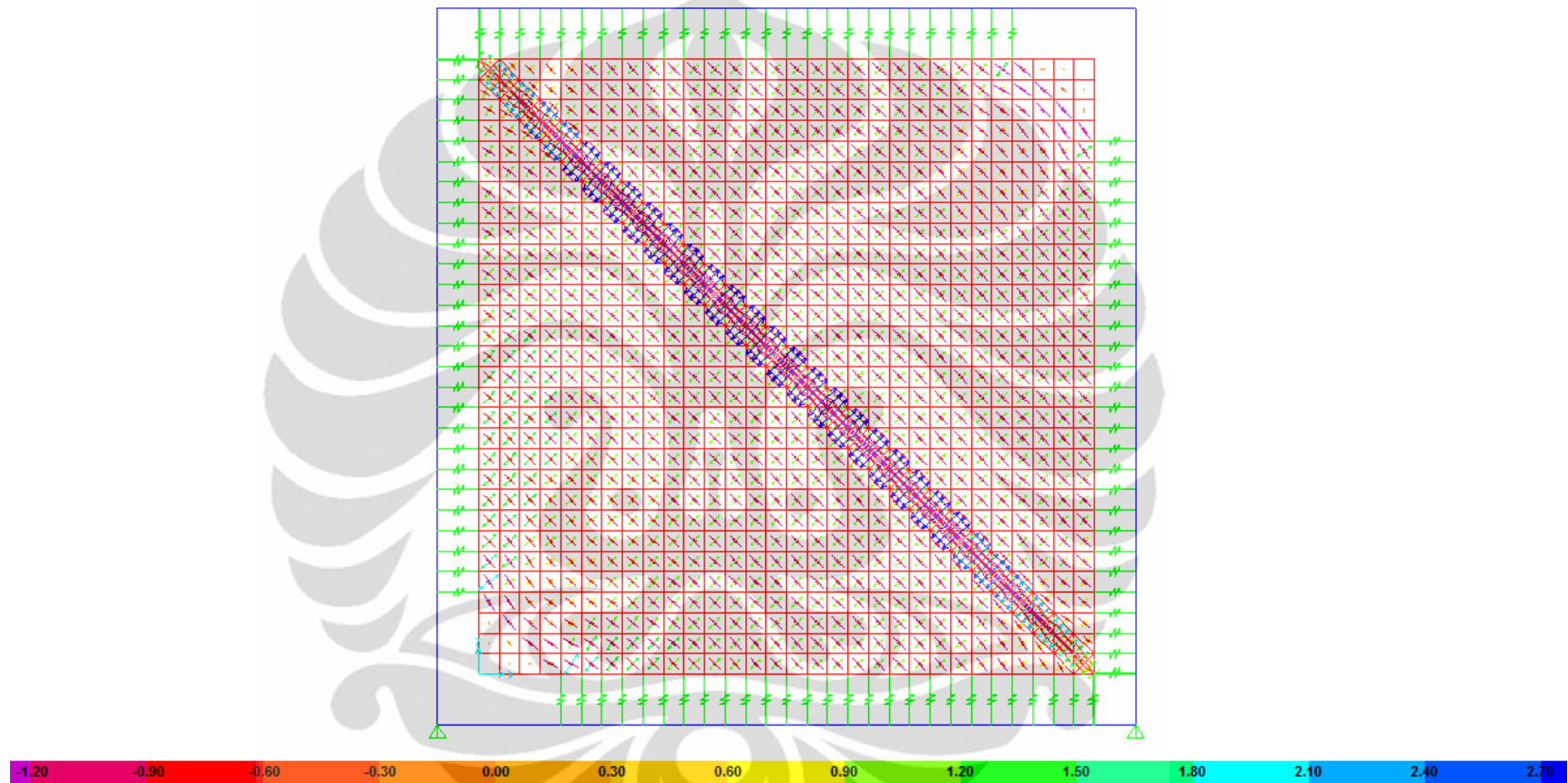


Gambar A4.21 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 2*

(Lanjutan)

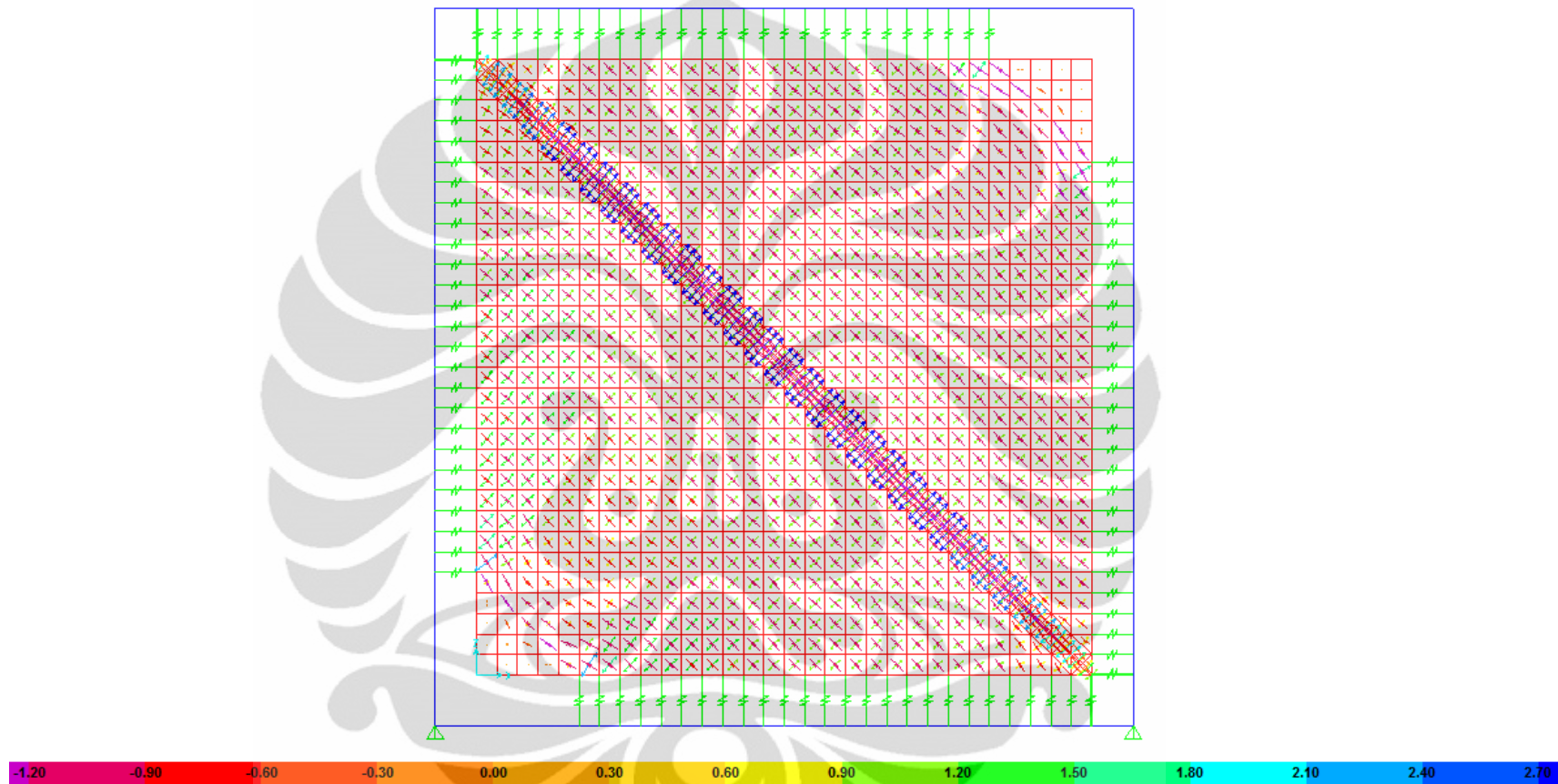


Gambar A4.22 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 3*



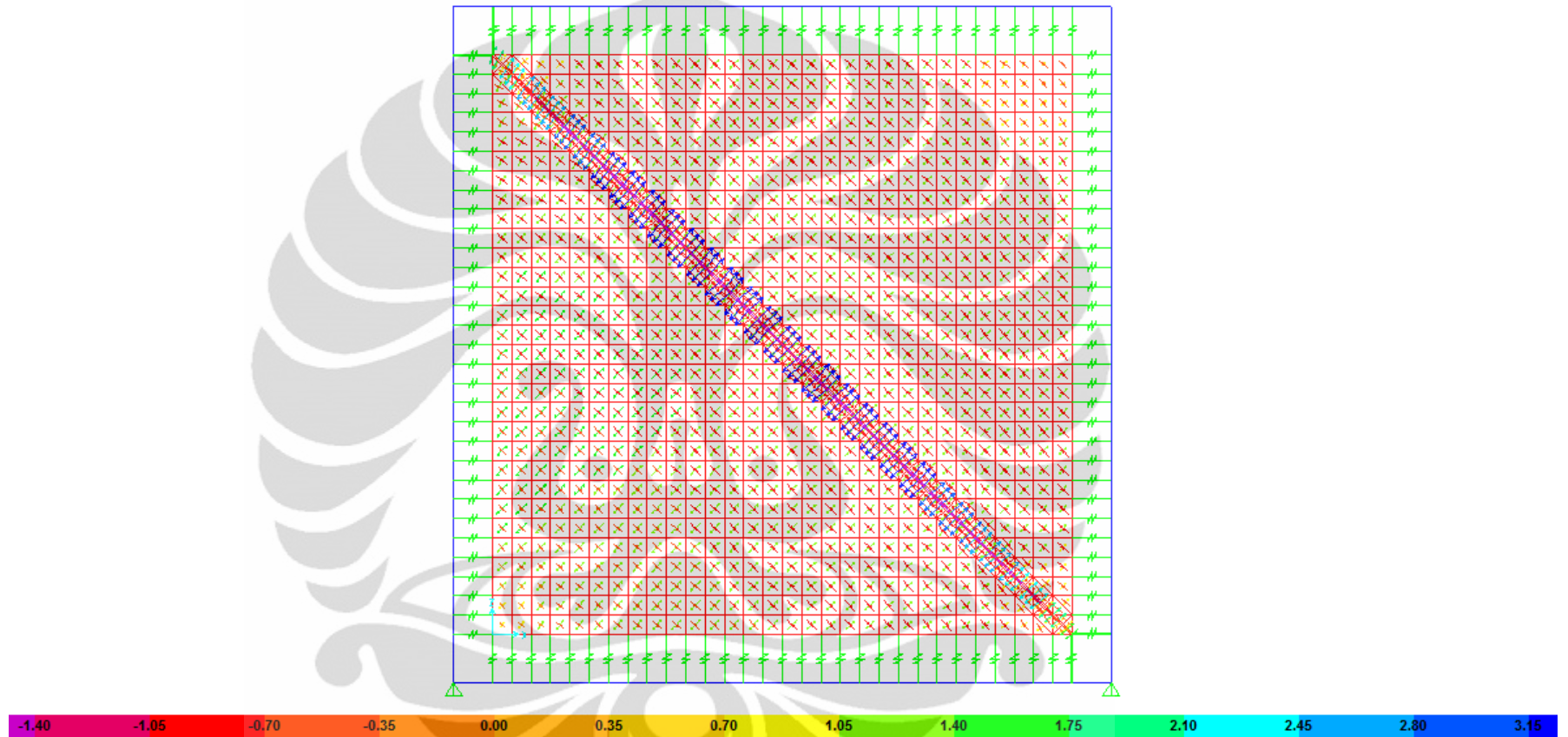
Gambar A4.23 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 4*

(Lanjutan)



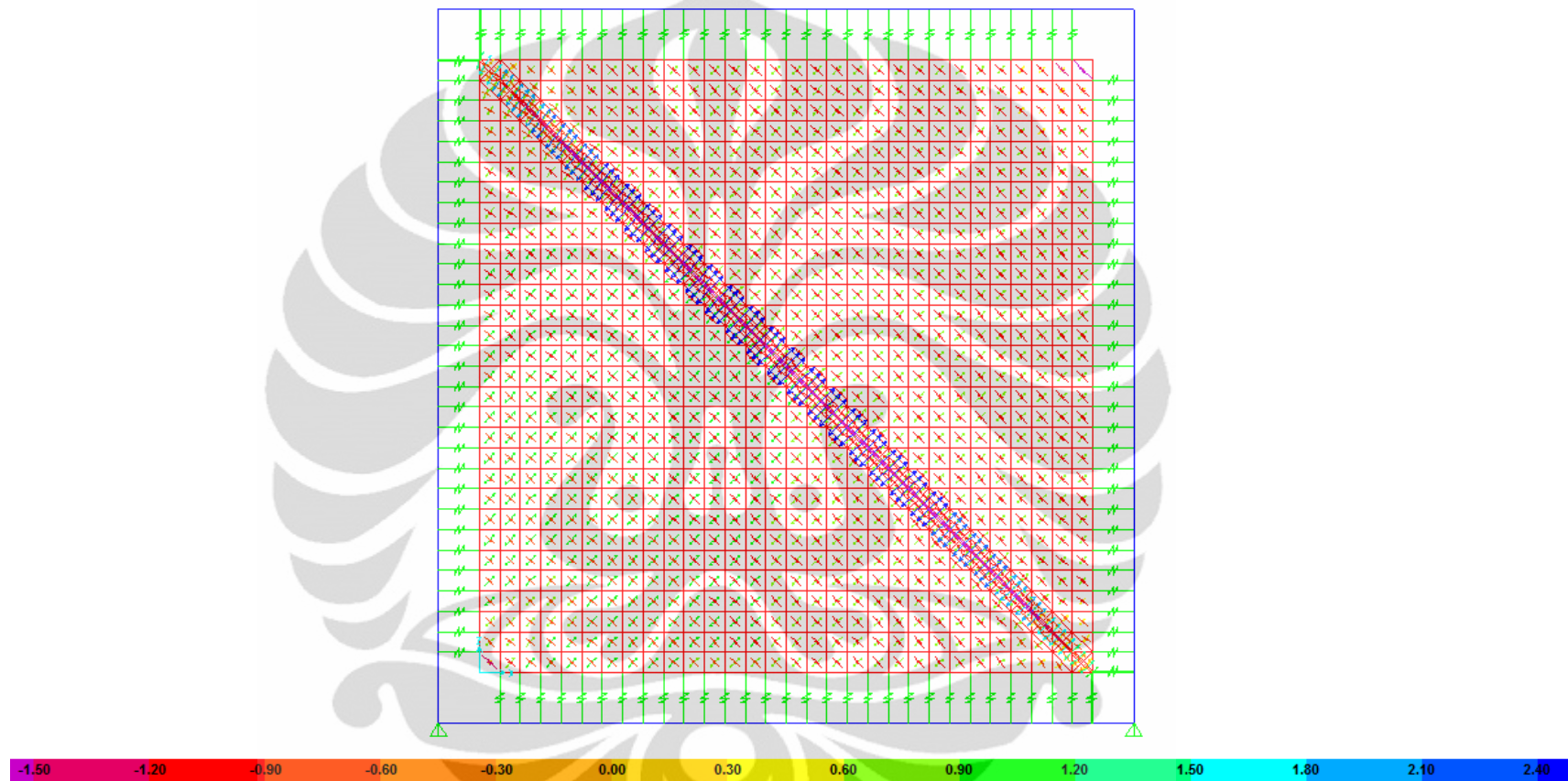
Gambar A4.24 Dinding Bata Plester Var-2 - *Unlink 5*

(Lanjutan)



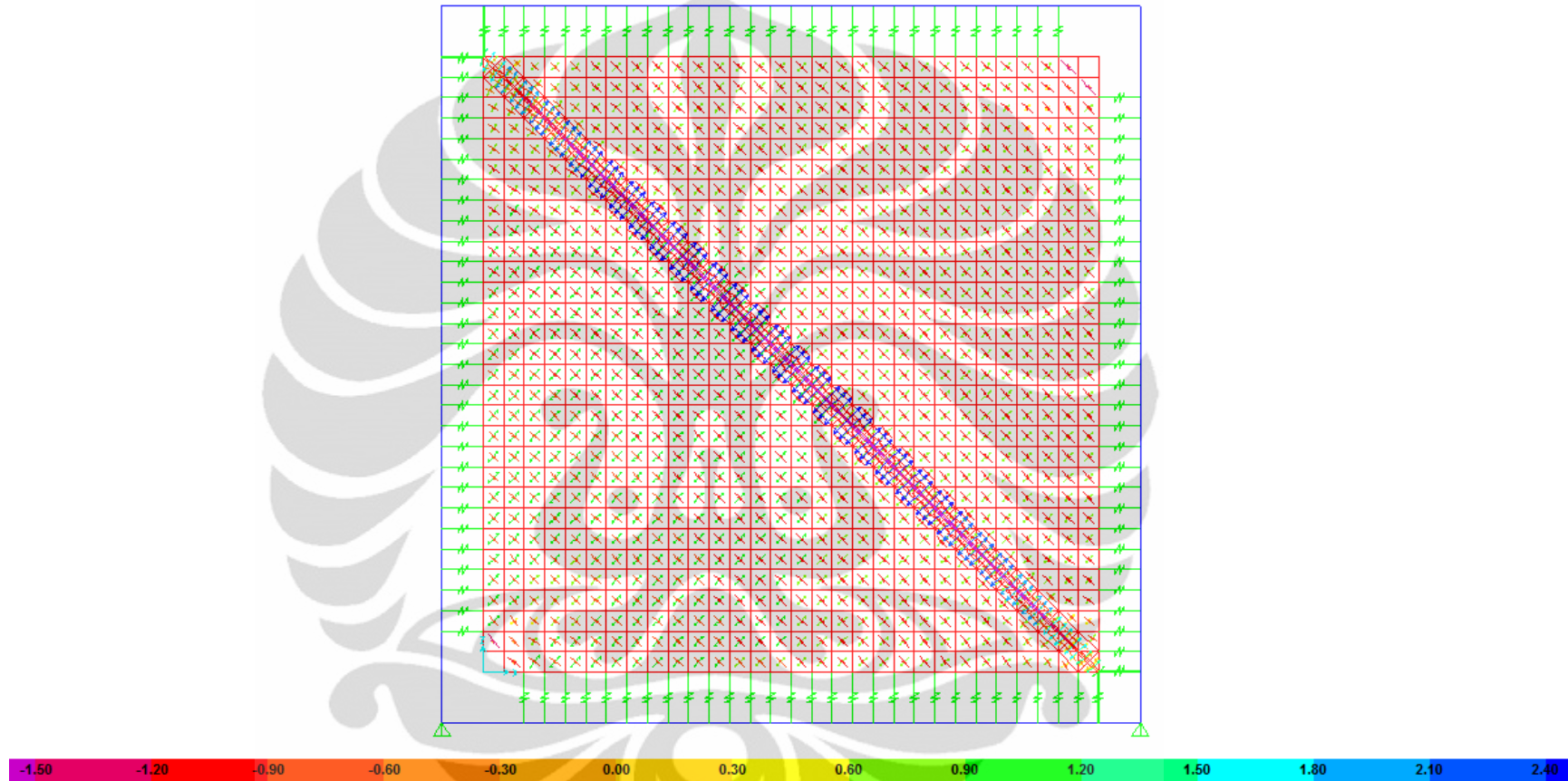
Gambar A4.25 Dinding Bata Plester Var-3 - Unlink 0

(Lanjutan)



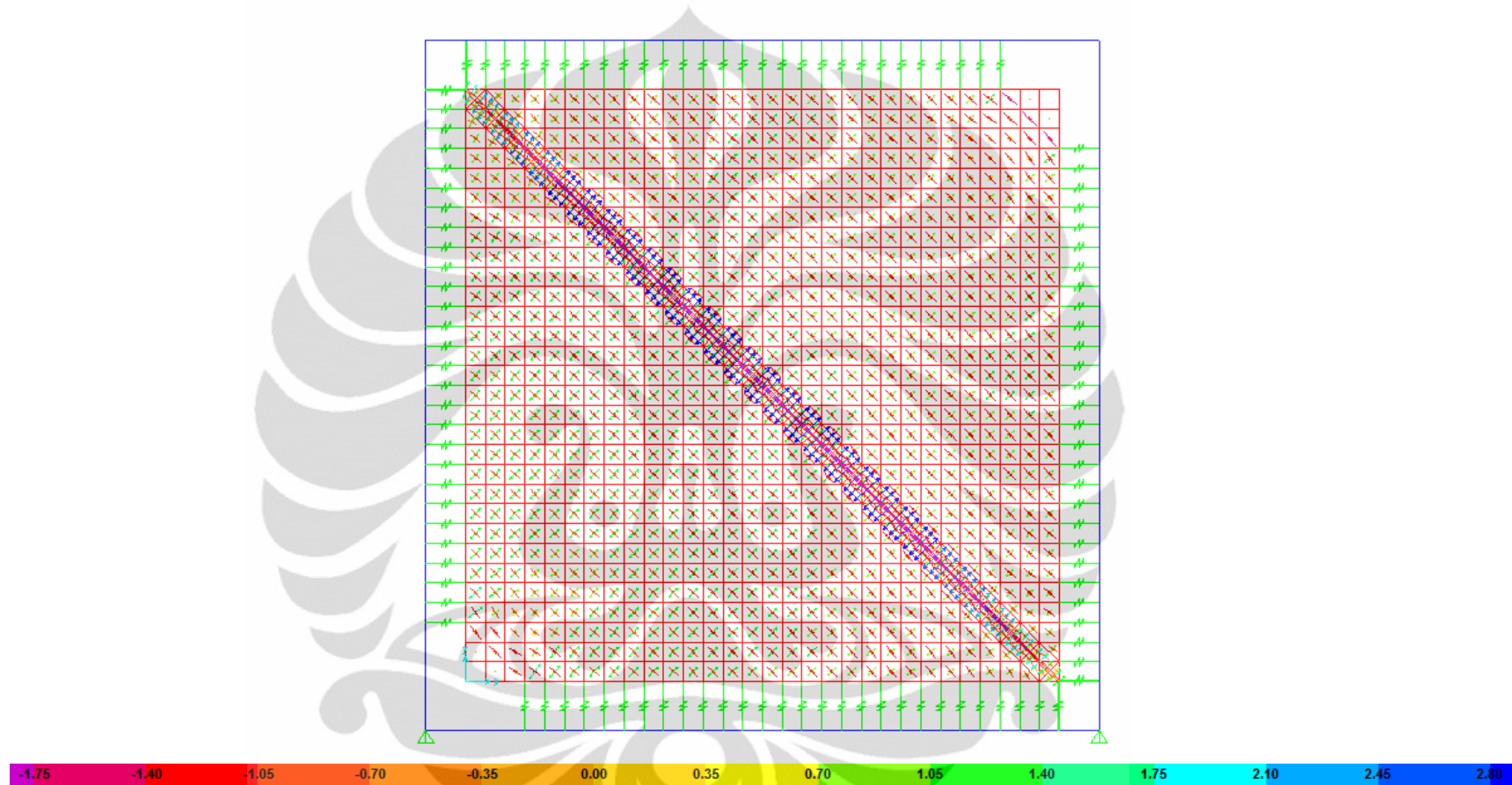
Gambar A4.26 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 1*

(Lanjutan)



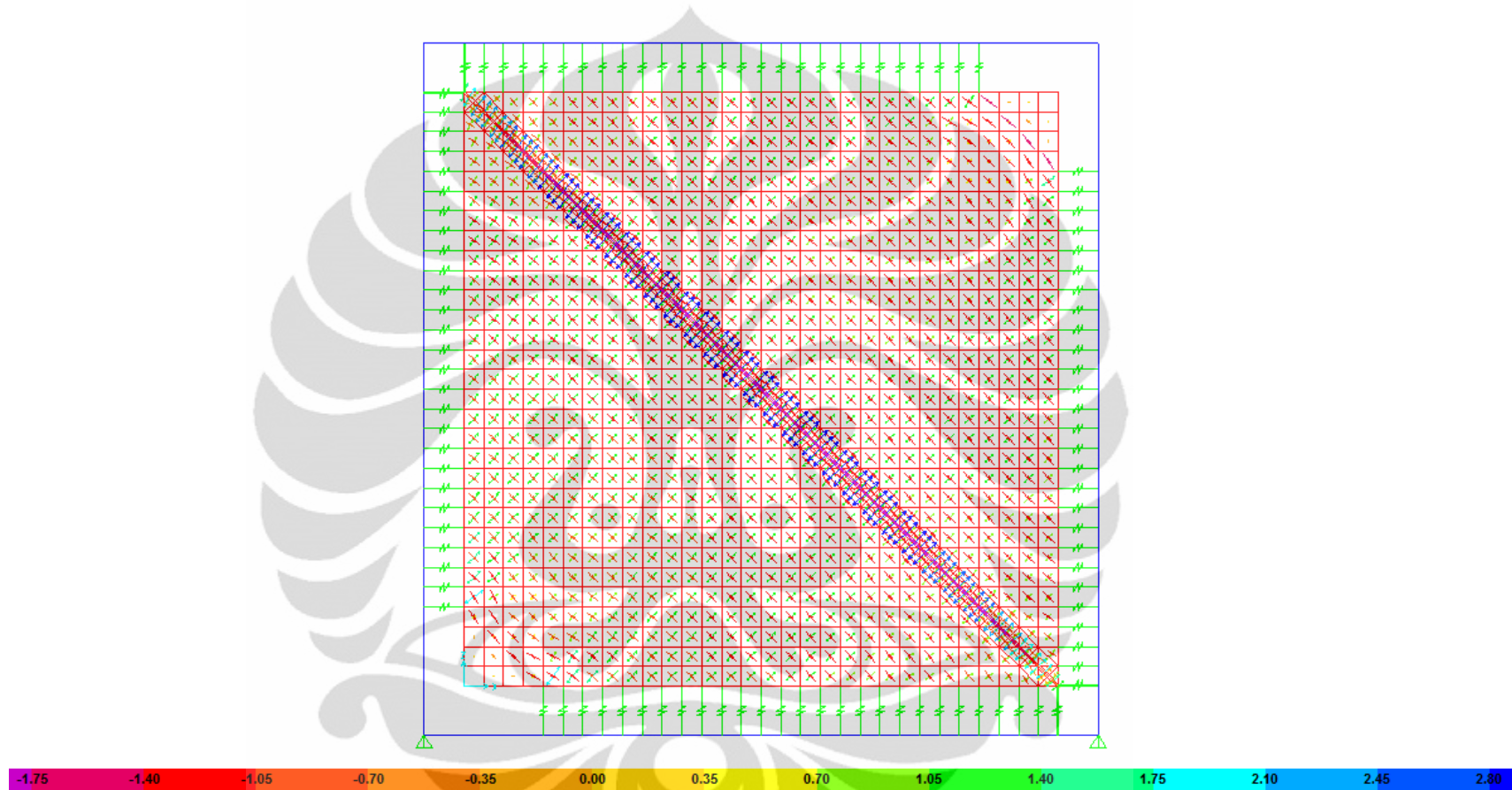
Gambar A4.27 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 2*

(Lanjutan)



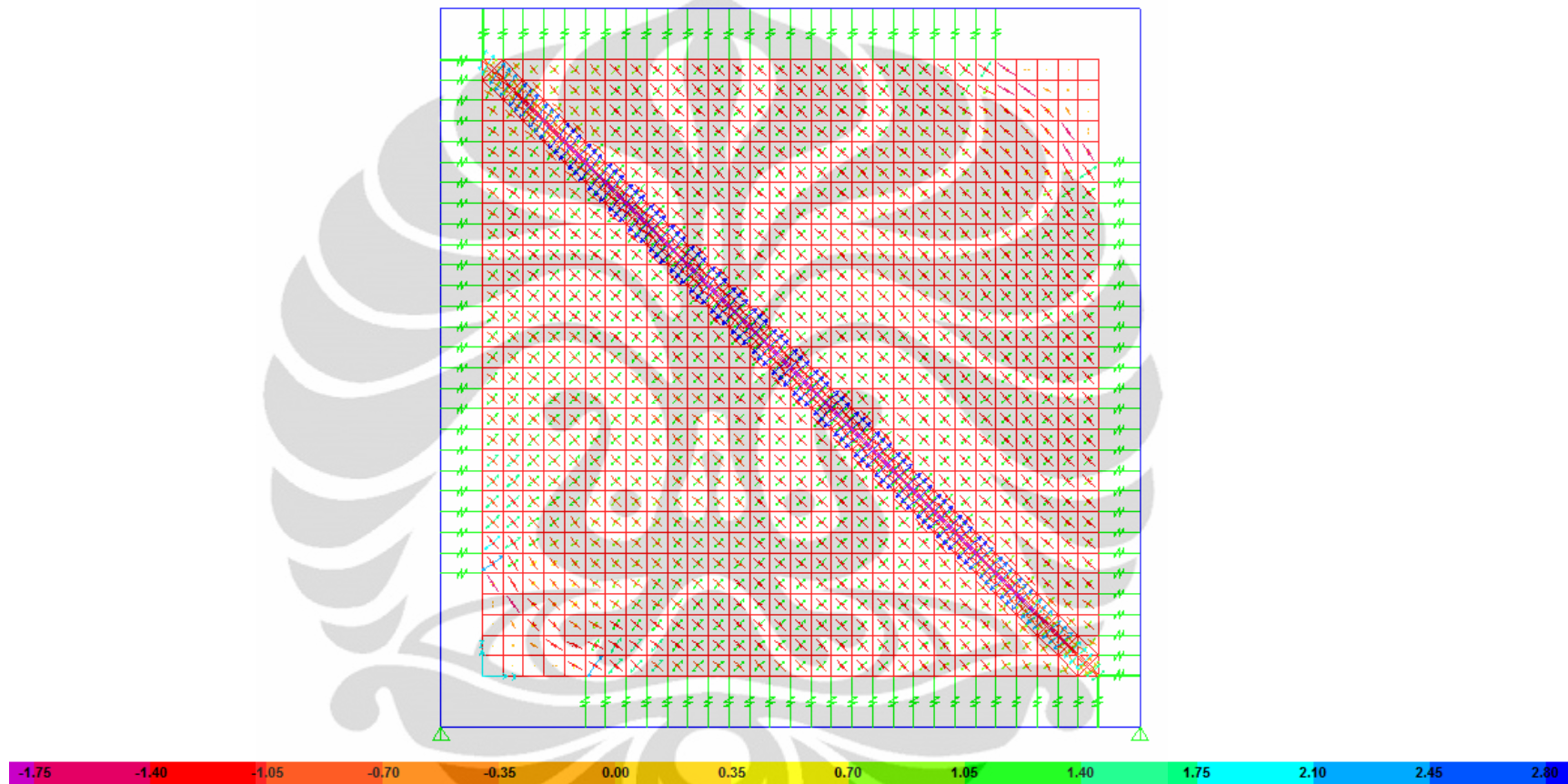
Gambar A4.28 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 3*

(Lanjutan)



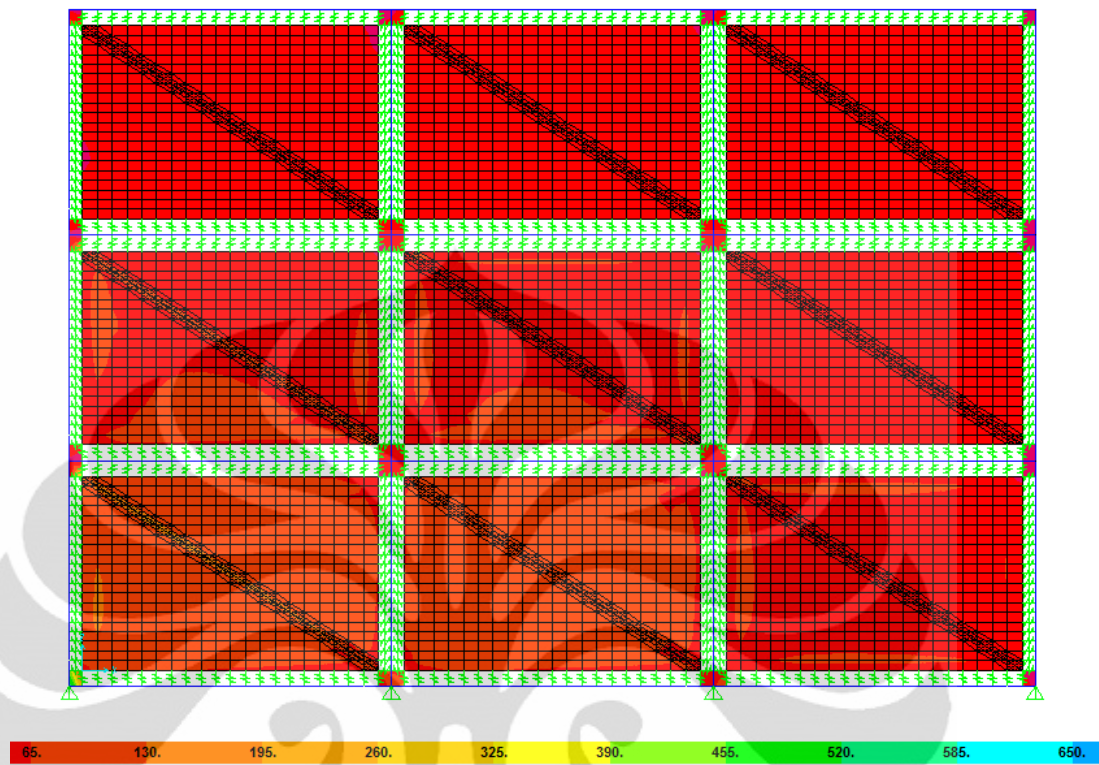
Gambar A4.29 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink 4*

(Lanjutan)

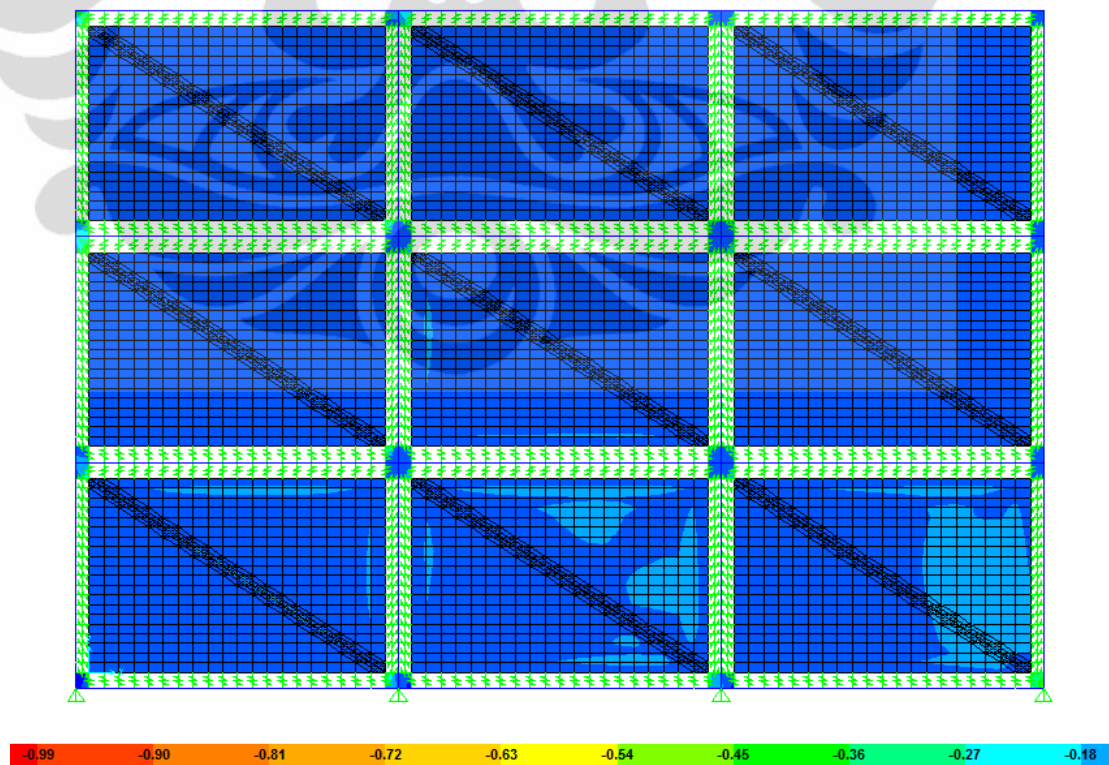


Gambar A4.30 Dinding Bata Plester Var-3 - *Unlink* 5

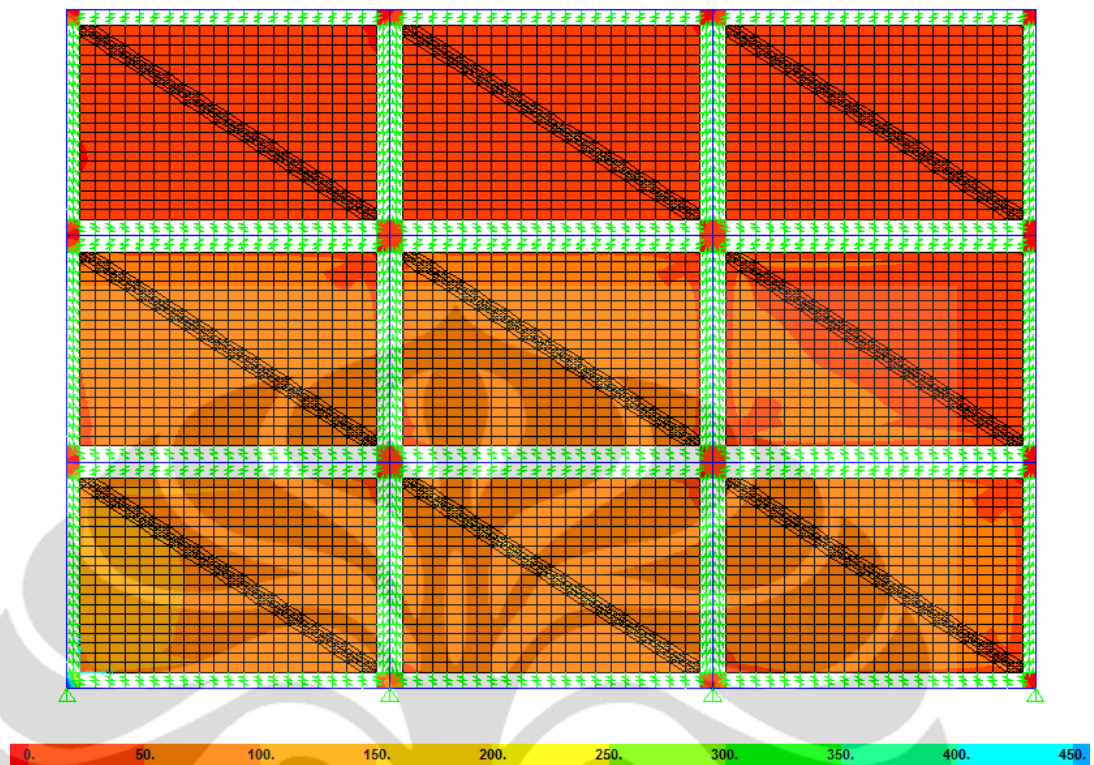
Lampiran 5: Distribusi Tegangan Utama Model Ruko



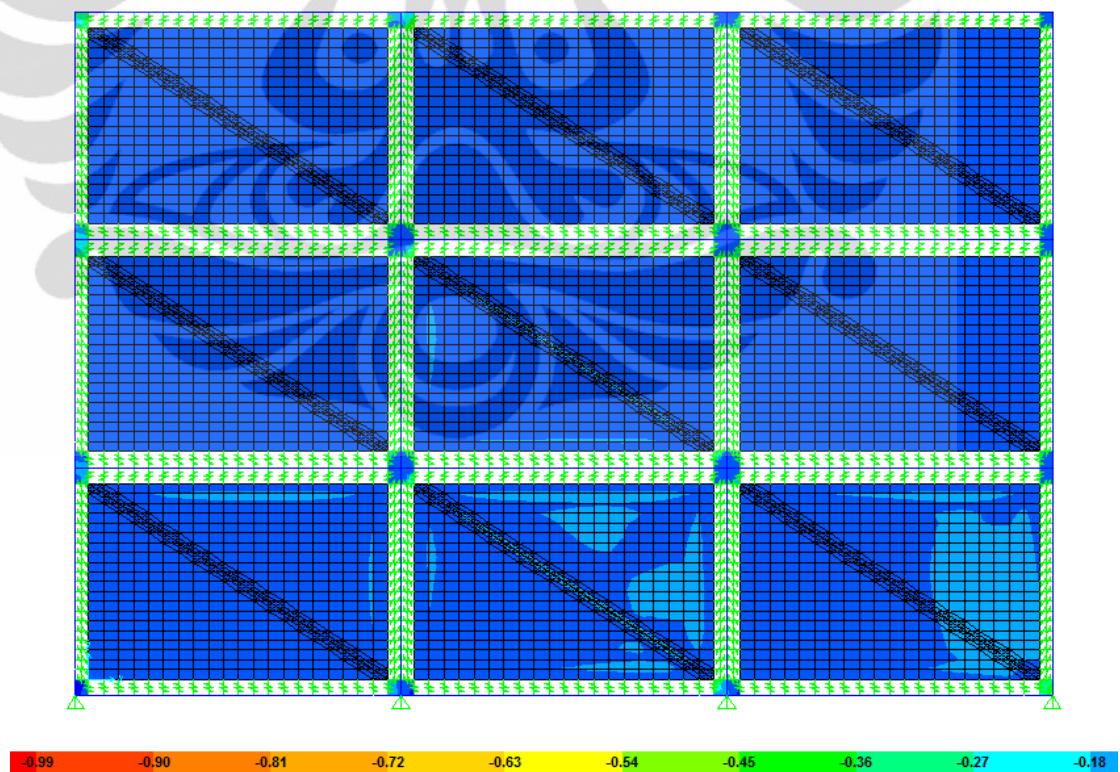
Gambar A5.1 Variasi 1 S_{max}



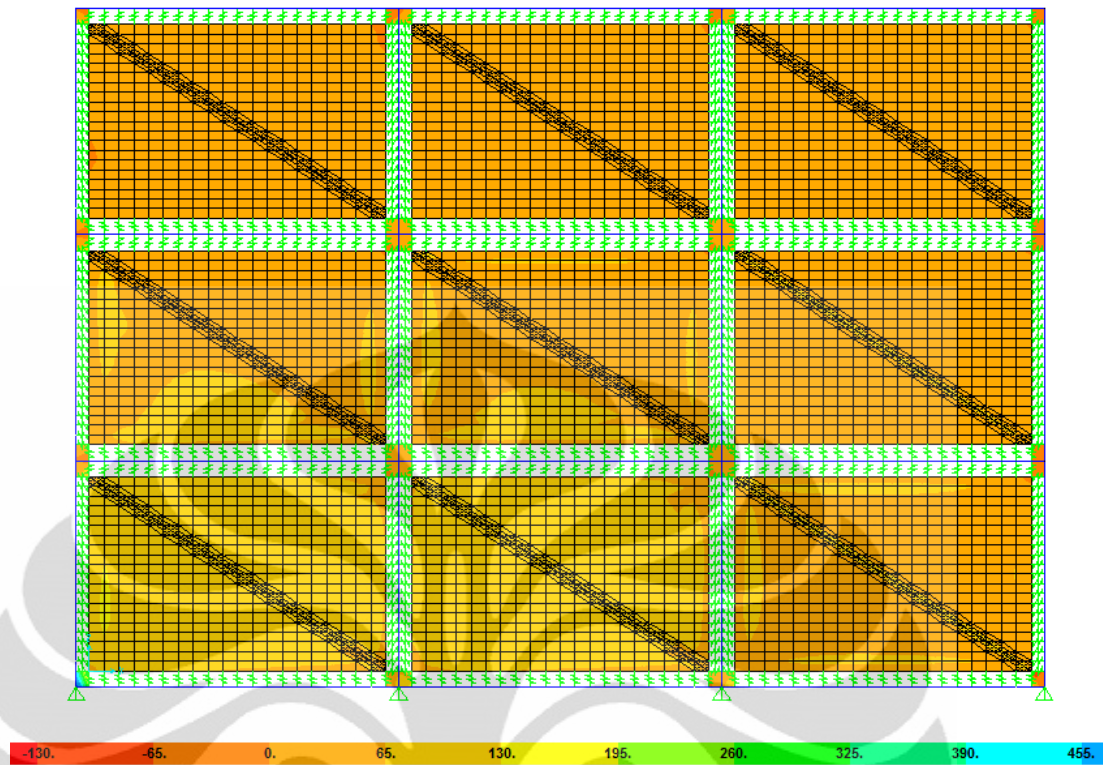
Gambar A5.2 Variasi 1 S_{min}



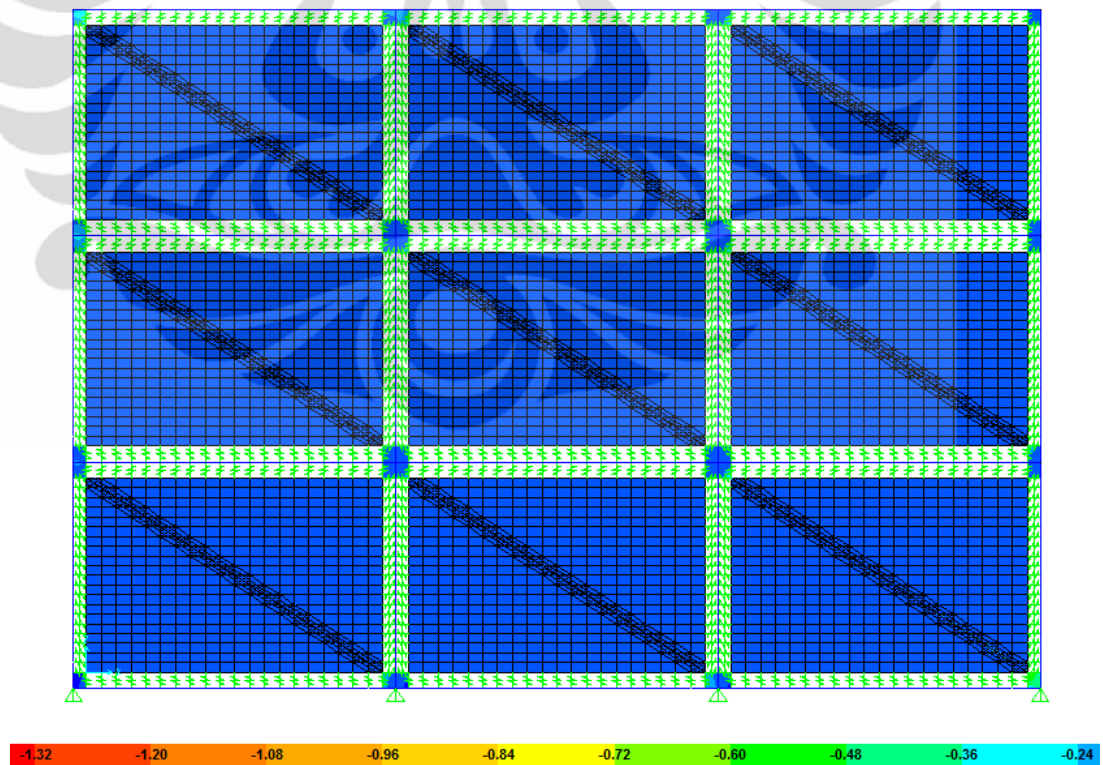
Gambar A5.3 Variasi 2 S_{max}



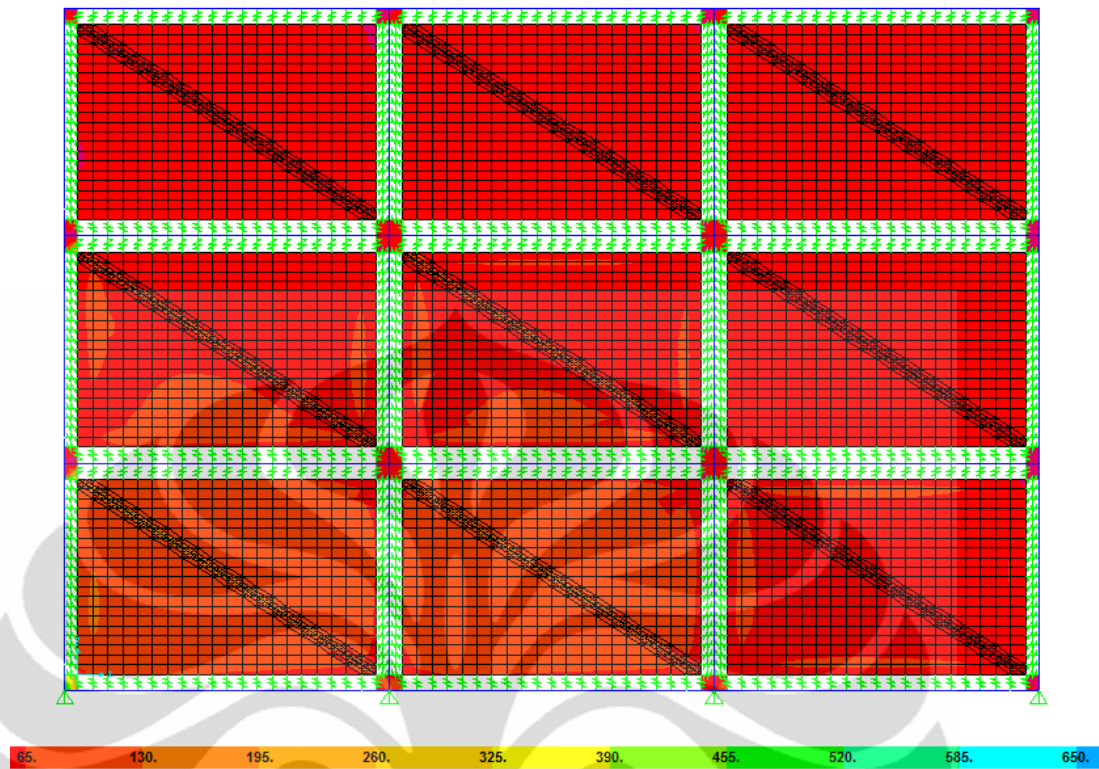
Gambar A5.4 Variasi 2 S_{min}



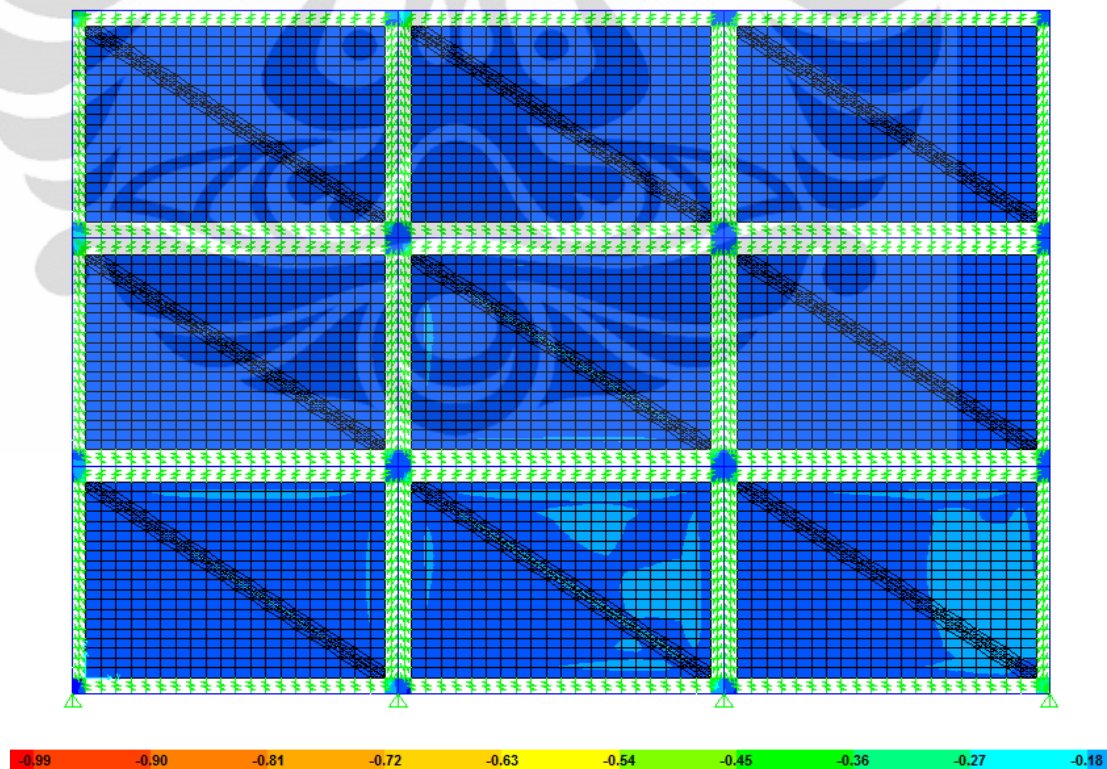
Gambar A5.5 Variasi 3 Smax



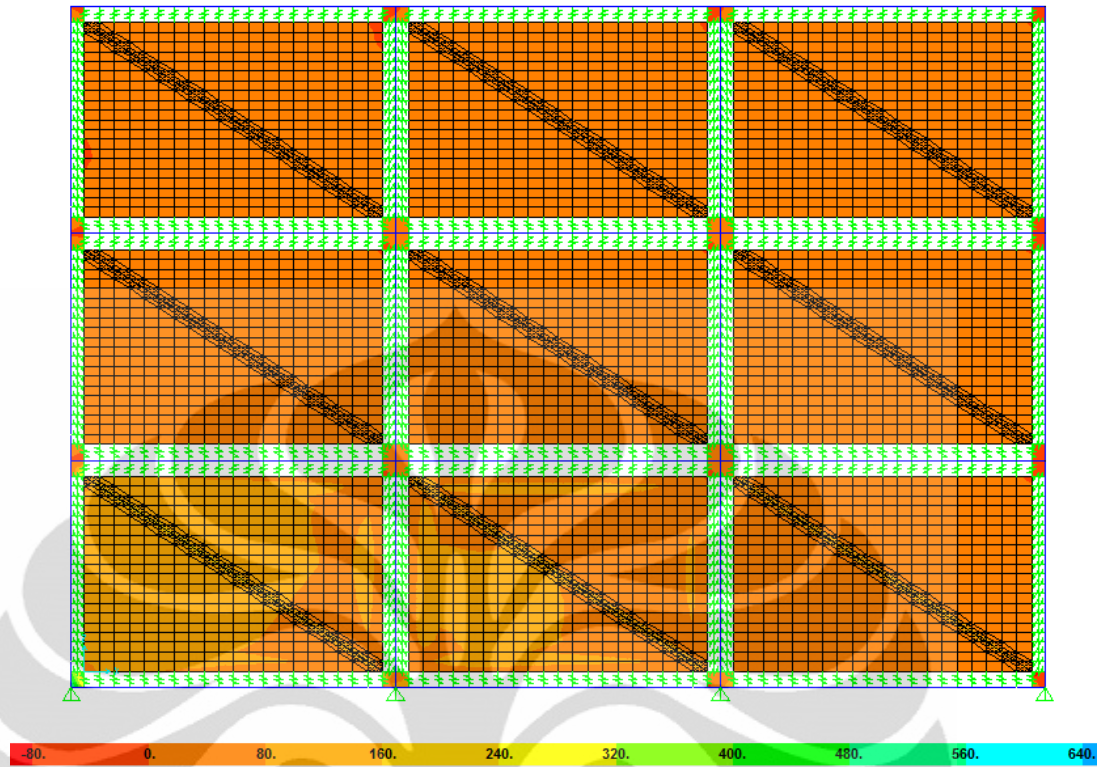
Gambar A5.6 Variasi 3 Smin



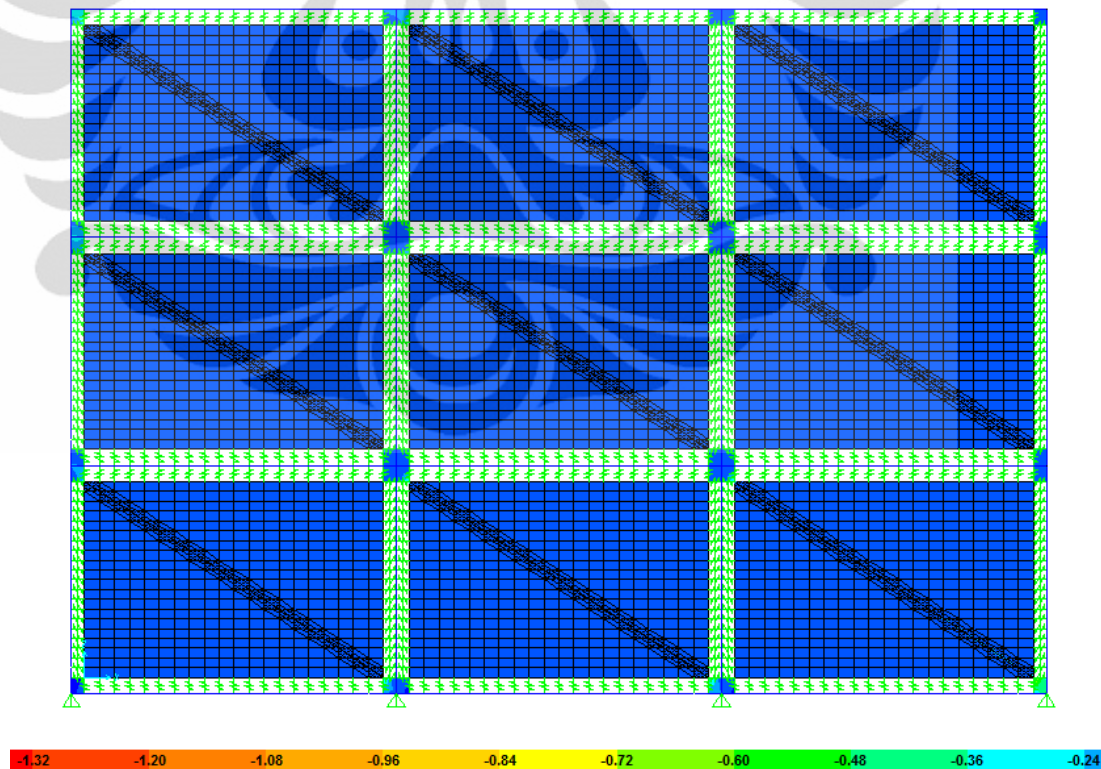
Gambar A5.7 Variasi 4 Smax



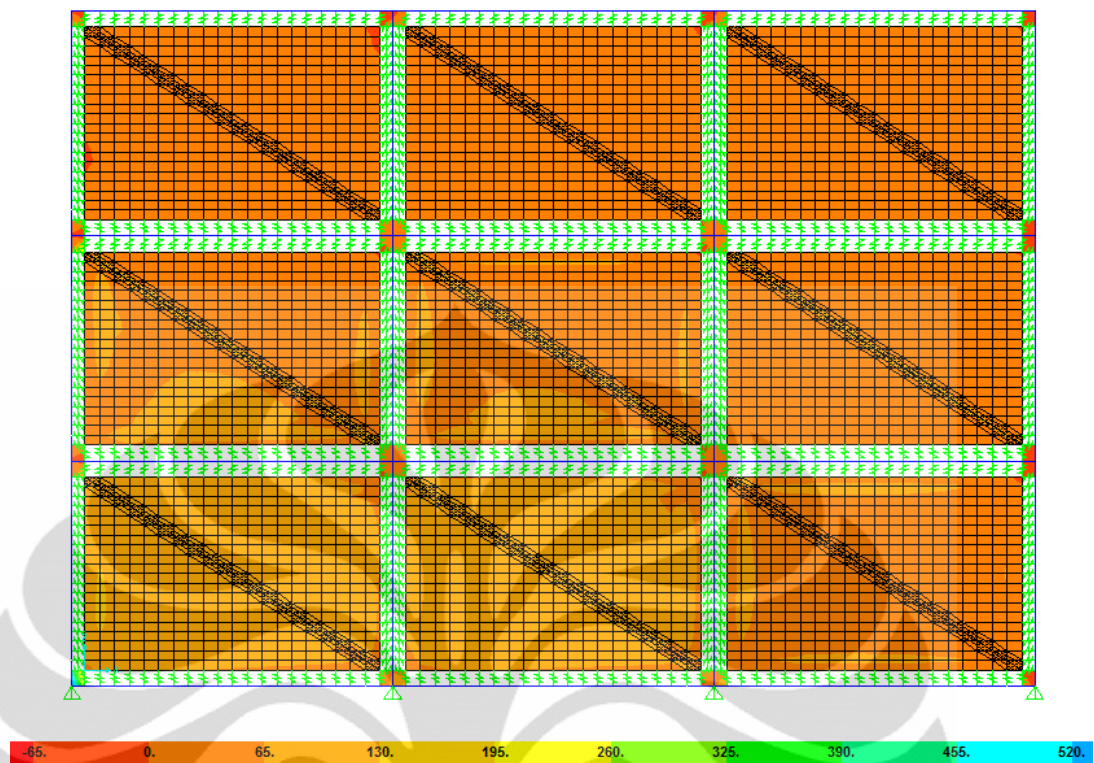
Gambar A5.8 Variasi 4 Smin



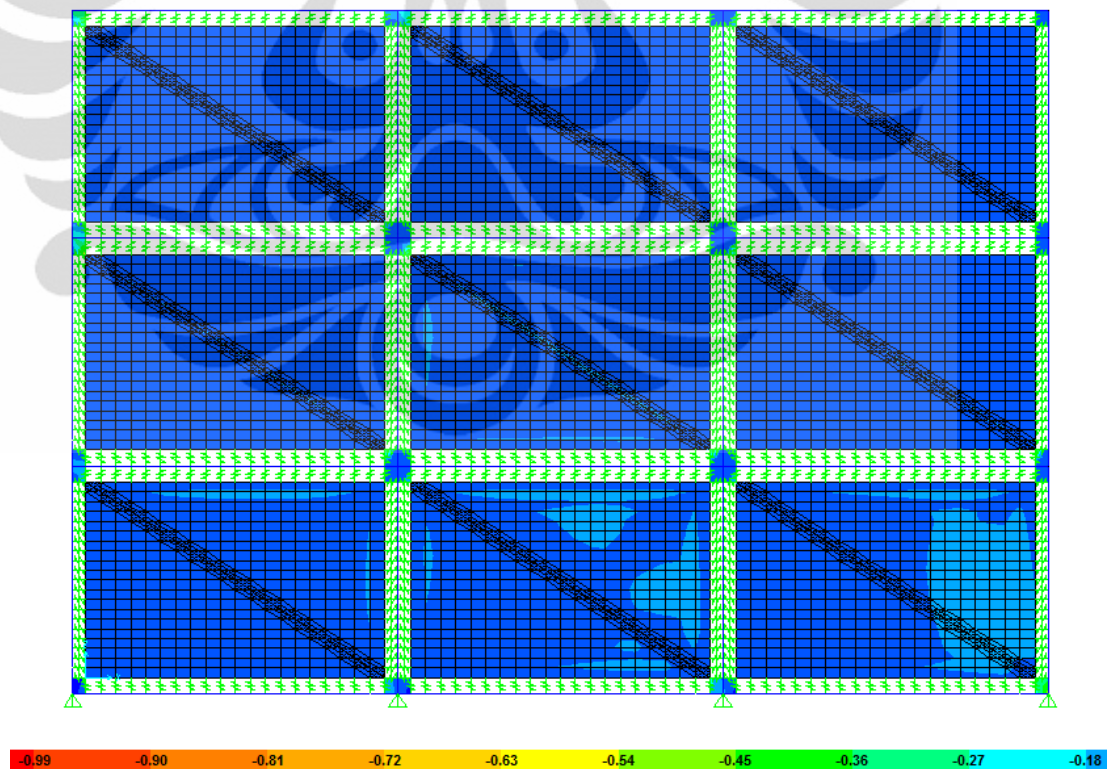
Gambar A5.9 Variasi 5 Smax



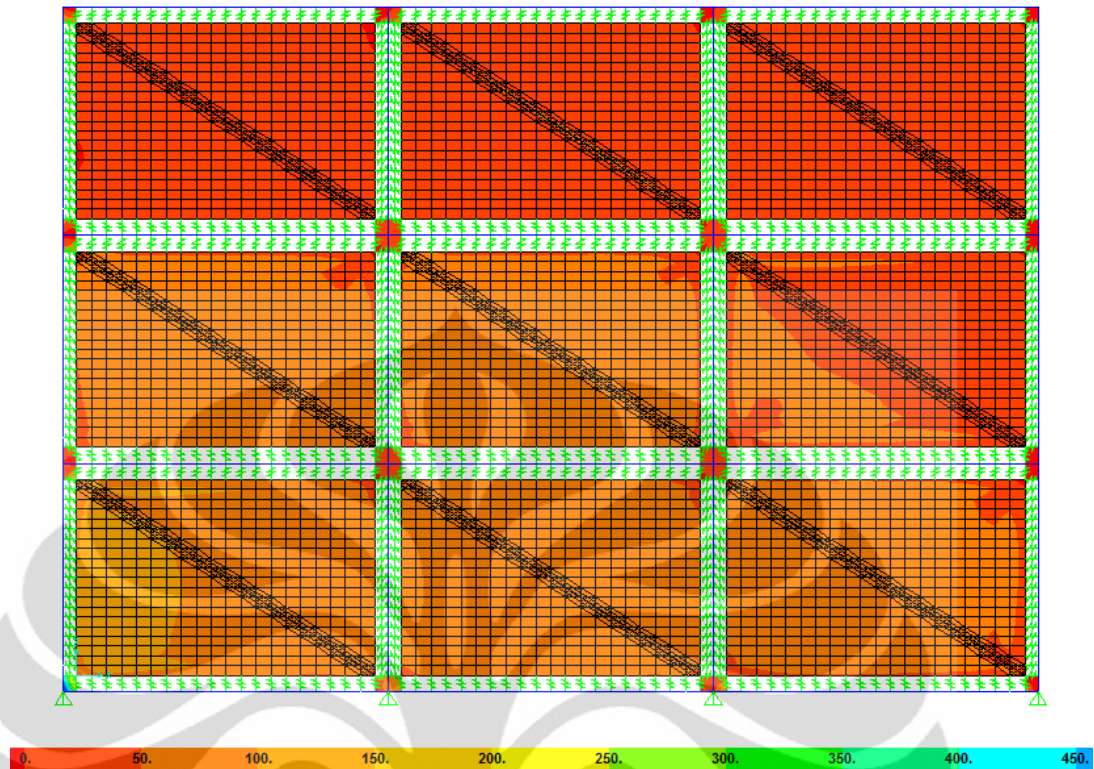
Gambar A5.10 Variasi 5 Smin



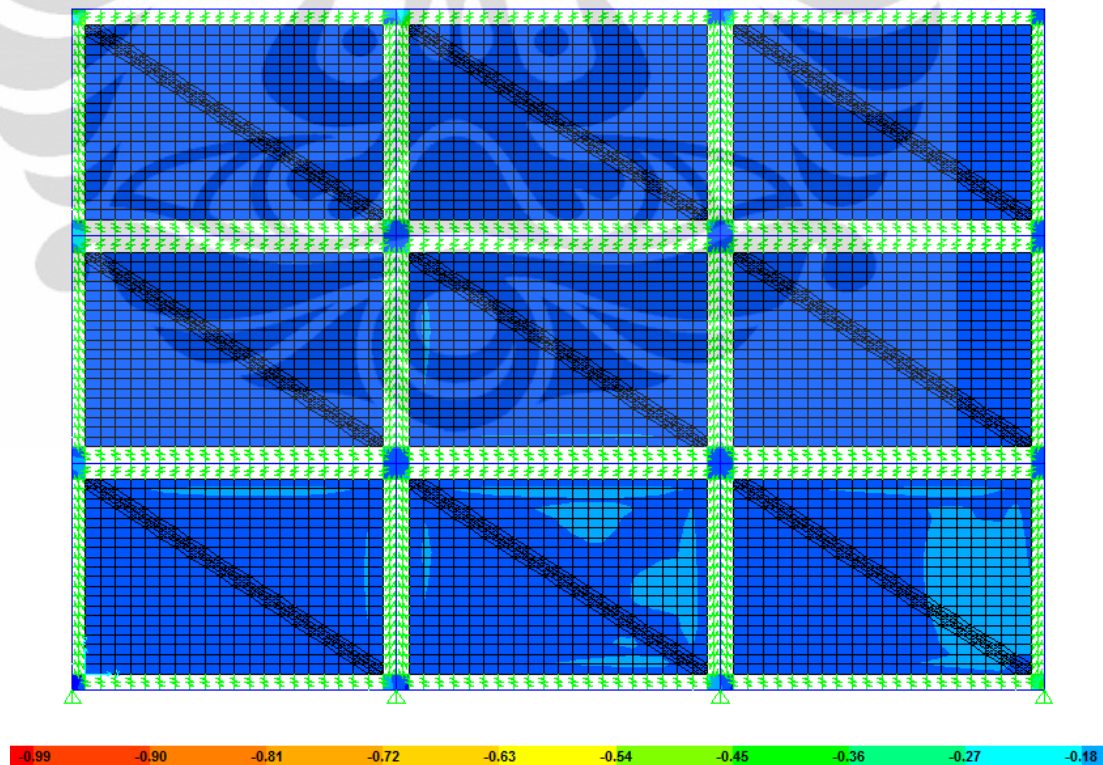
Gambar A5.11 Variasi 6 Smax



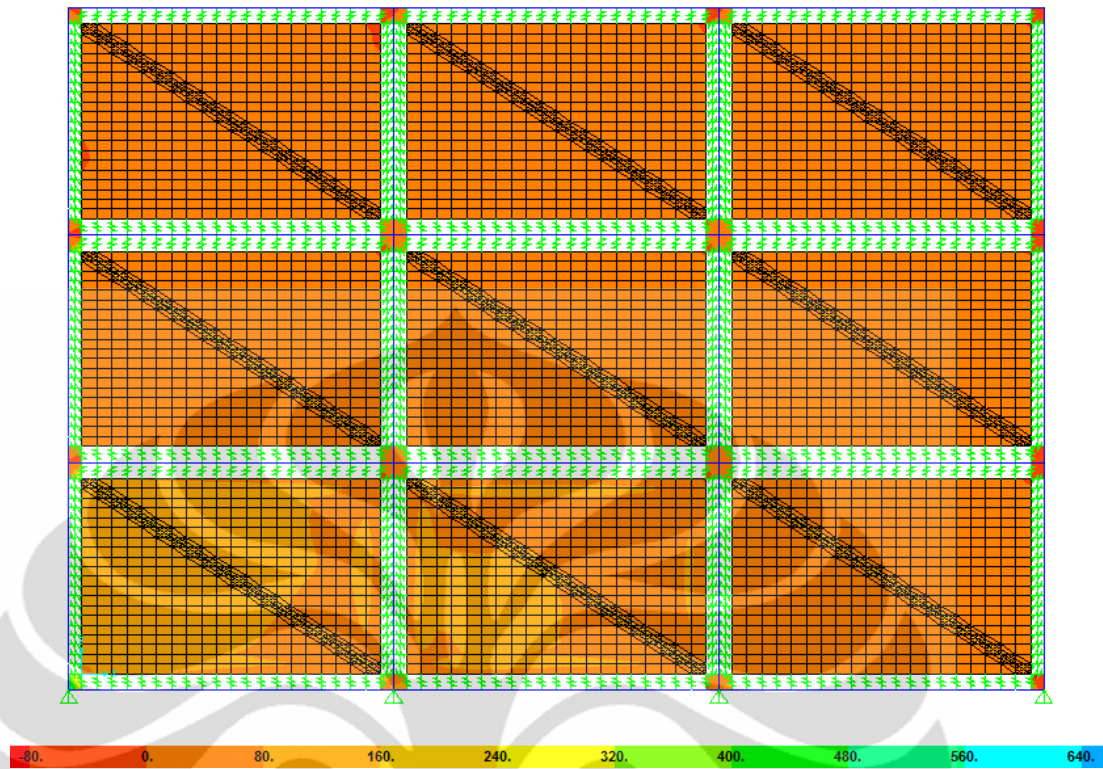
Gambar A5.12 Variasi 6 Smin



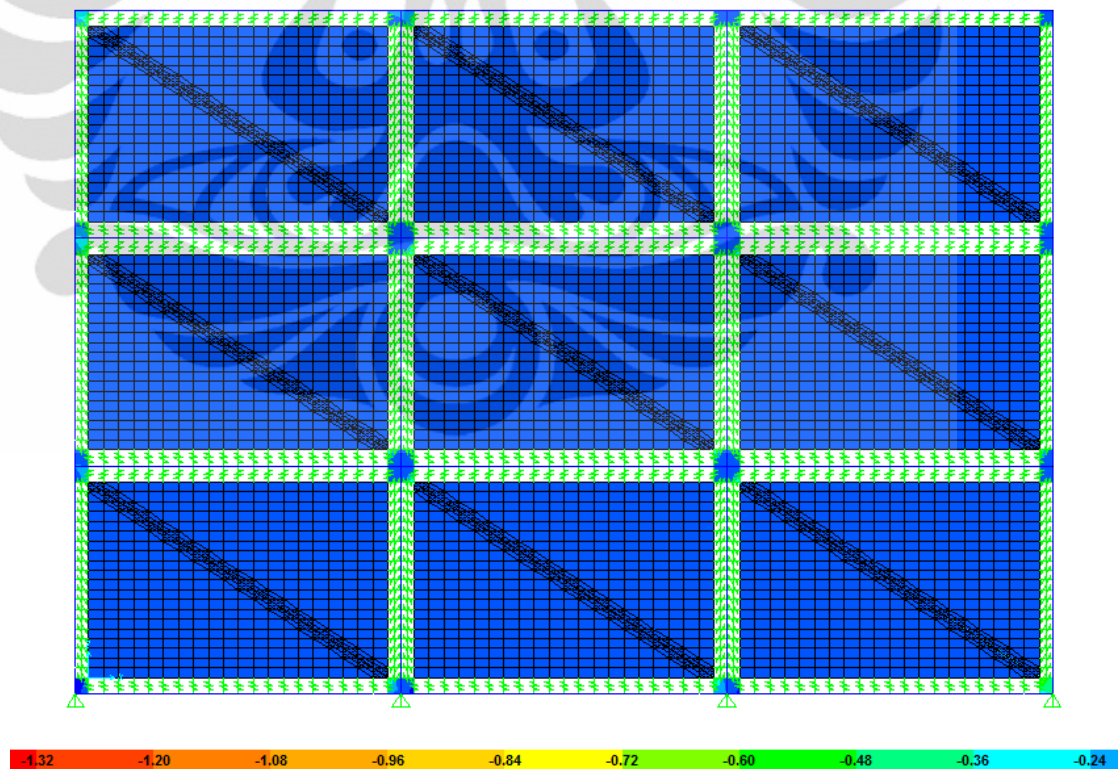
Gambar A5.13 Variasi 7 Smax



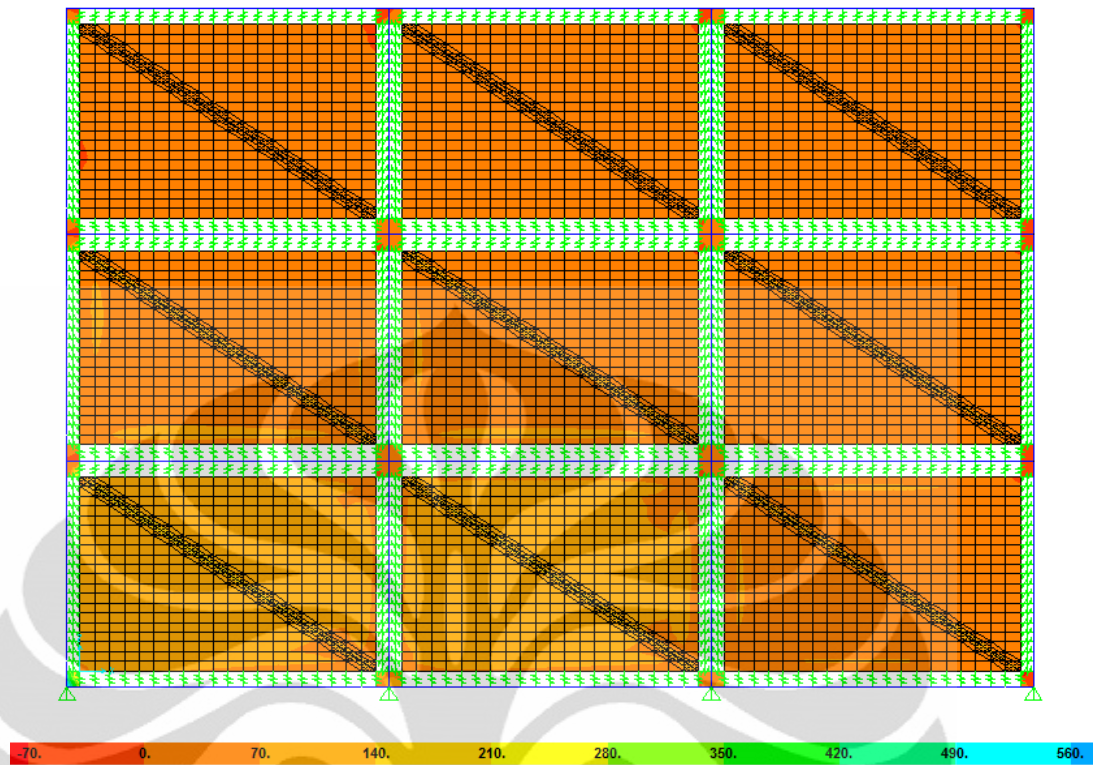
Gambar A5.14 Variasi 7 Smin



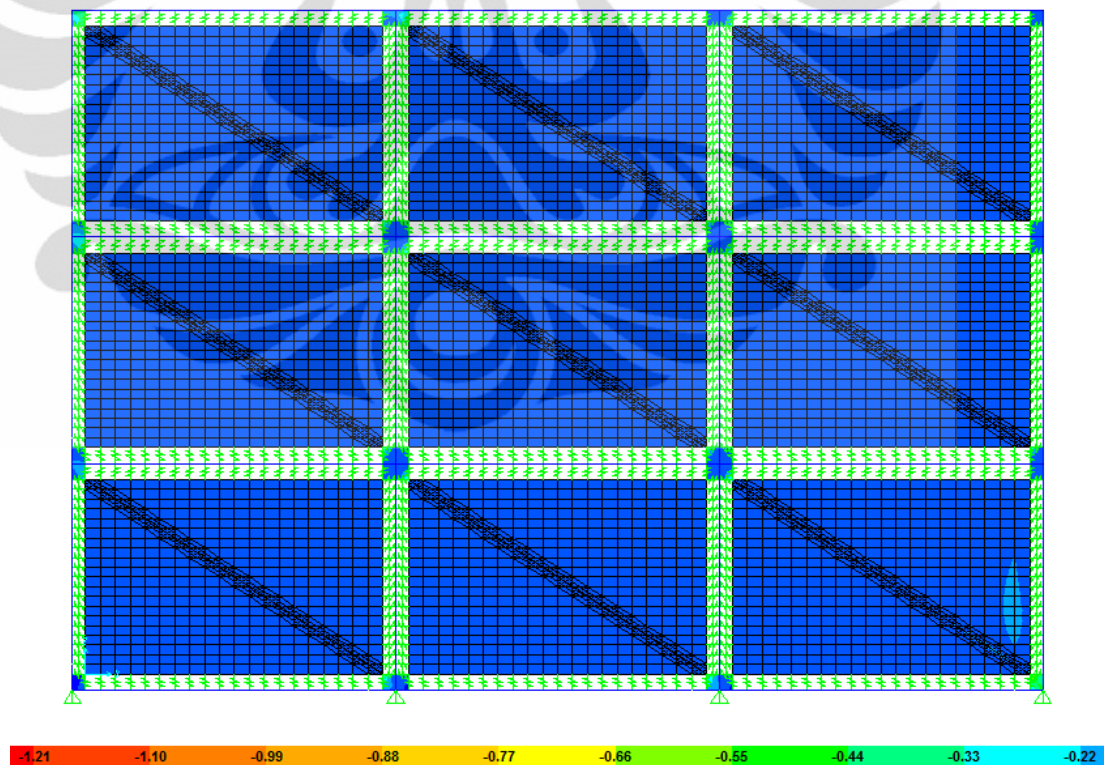
Gambar A5.15 Variasi 8 Smax



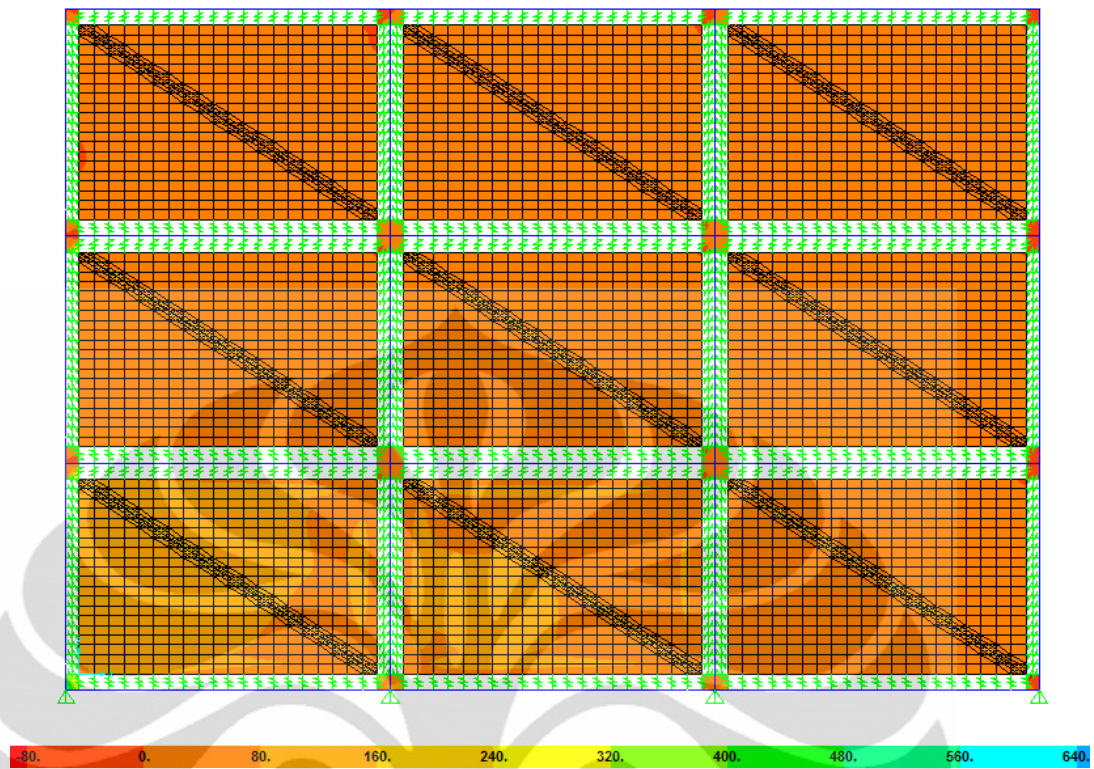
Gambar A5.16 Variasi 8 Smin



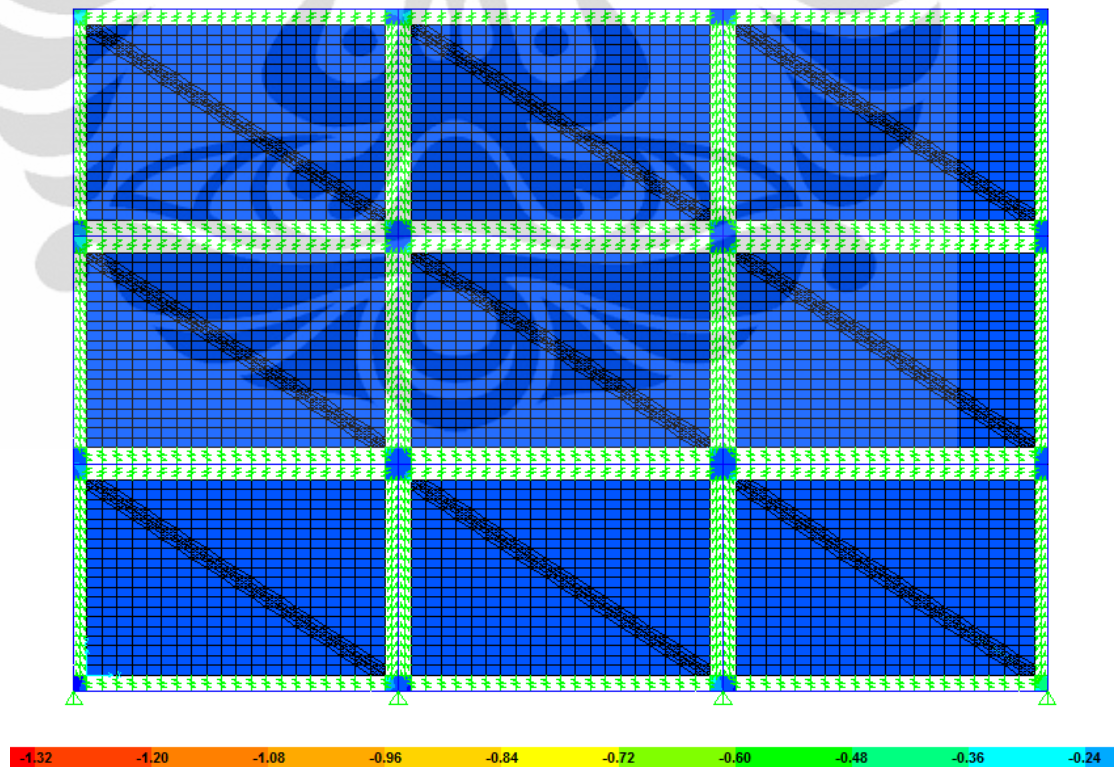
Gambar A5.17 Variasi 9 Smax



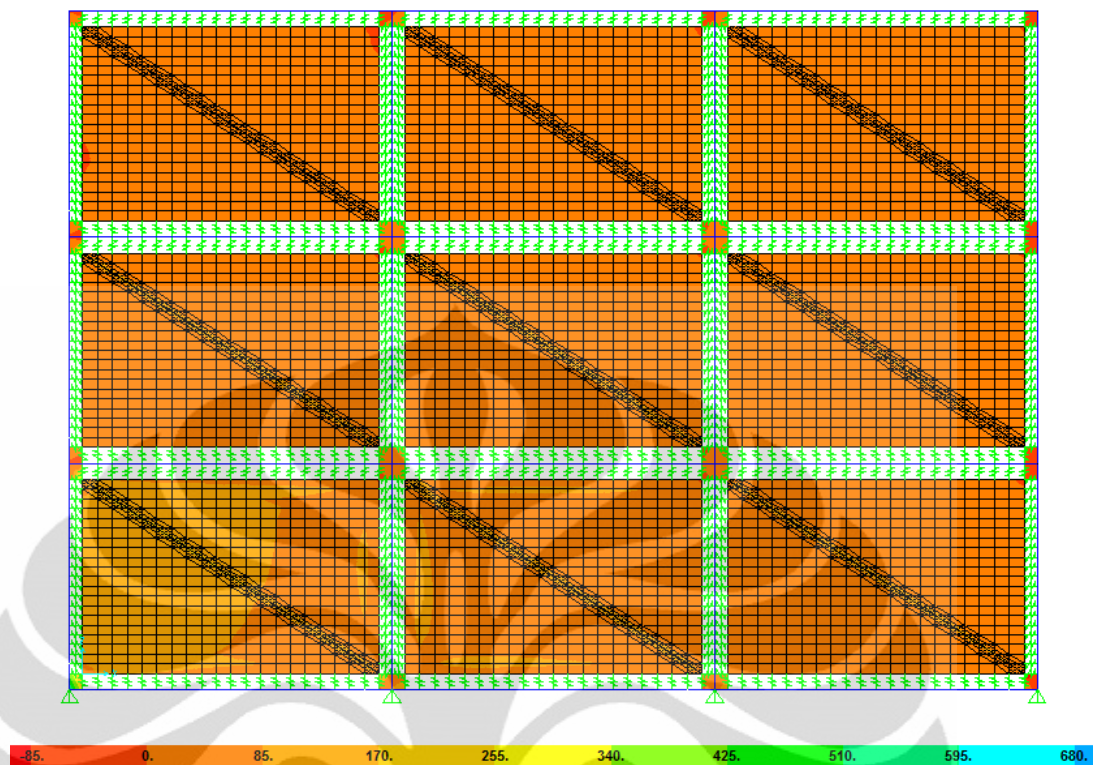
Gambar A5.18 Variasi 9 Smin



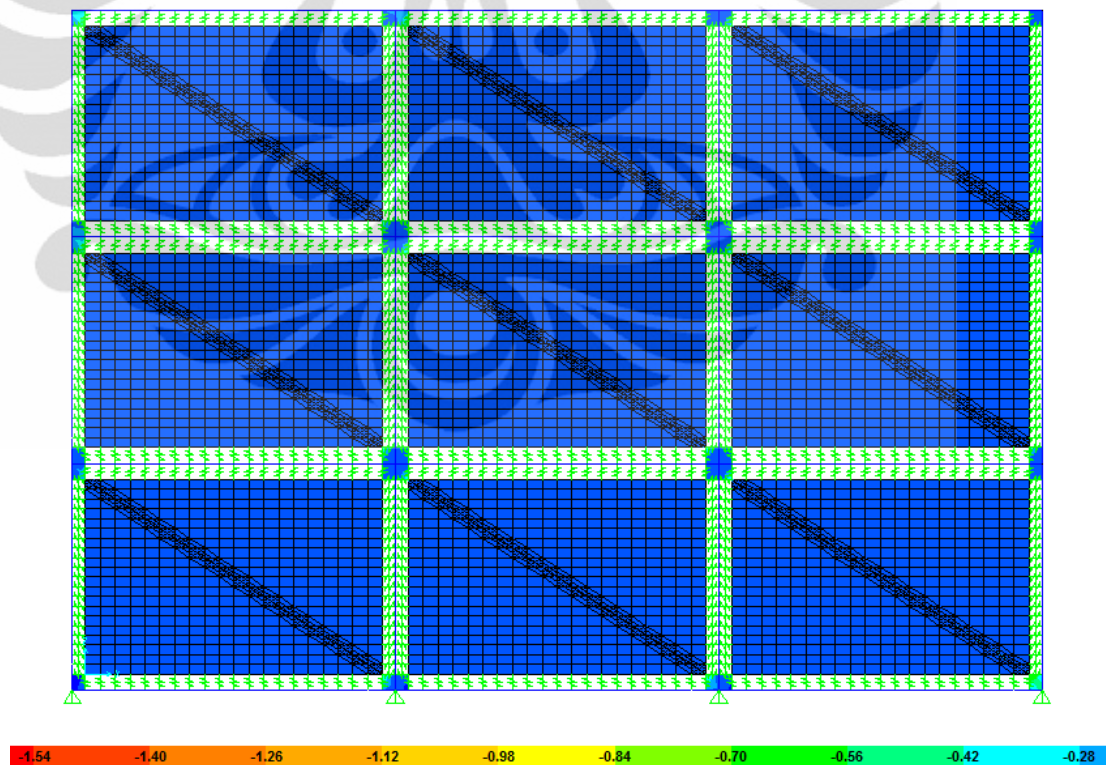
Gambar A5.19 Variasi 10 Smax



Gambar A5.20 Variasi 10 Smin



Gambar A5.21 Variasi 11 Smax



Gambar A5.22 Variasi 11 Smin