



**UNIVERSITAS INDONESIA**

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

**SKRIPSI**

**GREGORY F. SARAGIH**

**0706266304**

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

1065/FT.01/SKRIP/07/2011



**UNIVERSITAS INDONESIA**

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

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

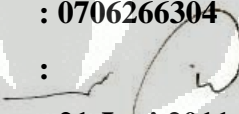
**GREGORY F. SARAGIH**

**0706266304**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Gregory F. Saragih  
NPM : 0706266304  
Tanda Tangan :   
Tanggal : 21 Juni 2011

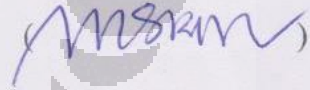
## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Gregory F. Saragih  
NPM : 0706266304  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Dinding Bata yang diperbaiki  
dengan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

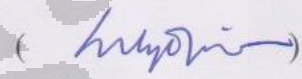
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

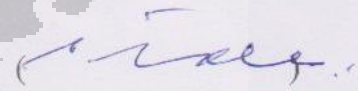
Pembimbing : Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA  
NIP. 19610608 198703 1 003



Penguji : Dr. Ir. Elly Tjahjono DEA  
NIP. 19540220 198103 2 001



Penguji : Ir. Sjahril A. Rahim, M. Eng  
NIP. 19470725 197903 1 001



Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Tanggal : 21 Juni 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas anugerah dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Yuskar Lase, DEA selaku pembimbing yang selalu mau bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu menghadapi setiap kesulitan dalam proses penyelesaian skripsi ini dan menjadi teman diskusi yang hebat dan inspiratif bagi saya.
2. Ir. Sjahril A. Rahim, M. Eng dan Dr. Ir. Elly Tjahjono DEA selaku dosen penguji yang turut memberikan pengetahuan dalam pengembangan dan penyempurnaan skripsi ini.
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dalam segala hal. J. Saragih dan M br. Sinaga terima kasi atas doa, kasih sayang, dan segala nasehat bijaknya. Serta Rio Nare Saragih terima kasih atas seluruh dukungannya.
4. Eliana Ayu Karinda, ST, terima kasih atas segala dukungan, kesabaran, dampingan, dan warna-warni yang diberikan pada kehidupan saya.
5. Christy Natalia, ST, Dian Pramitarini Kasihbudi, ST, dan Rais Pamungkas, ST rekan-rekan skripsi saya yang hebat, terima kasih atas petualangan yang menakjubkan selama penulisan skripsi ini.
6. Mega Rahmawati mahasiswi Farmasi Institut Teknologi Bandung angkatan 2009, sahabat dan adik tanpa hubungan darah yang sangat saya sayangi, terima kasih atas pertemanan yang sangat menyenangkan.
7. Diorita Fitrianti, S.Ars, Ismail Johan Marzuki, ST, Agung Sahputra, Dwitya Harits Waskito, Revanraine Difitrio, dan seluruh keluarga besar Moesik Bengkel Fakultas Teknik Universitas Indonesia, terima kasih karena telah menjadi keluarga yang hangat bagi saya.

8. Muliadi Halim Wijaya, ST, Ishlah Habibi, Aep Riyadi, ST, Aditya Putra Karisma, Arvian Ringga, Rino Bagas Nugroho, ST, Widya Larastika, ST, Muhammad Rizqi, ST, dan Try Puji Santoso, ST, hingga Mahisha Mohammad Reno, terima kasih atas pertemanan yang sangat mengasyikkan.
9. Teman-teman BKST FTUI, IMS FTUI, BEM FTUI, KAPA FTUI, kontingen FTUI untuk UIFest 2010, panitia MADK Sipil FTUI 2010, panitia Kersos 2010, panitia CENS UI 2009, panitia Kersos 2009, panitia MAP 2009, hingga panitia Dirgahayu IKM FTUI 2008 serta kegiatan ekstrakurikuler lainnya, terima kasih atas pengalaman hebat dan tak terlupakan bagi saya.
10. Teman-teman mahasiswa Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia khususnya angkatan 2007 dan 2006 (Uud, Uday, Aat, Aji, Dodi, Madie, Dicky, Farhan, Bastian, dll), terima kasih telah memberikan kehidupan yang sangat menyenangkan bagi saya.
11. Teman-teman mahasiswa Universitas Indonesia khususnya Fakultas Teknik (Mao, Redenx, Ceper, Weldi, Daniel, dll), terima kasih telah memberikan banyak sudut pandang hebat dalam keberagaman bagi saya.
12. Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, terima kasih telah memfasilitasi segala kepentingan dalam penulisan skripsi ini.
13. Sir Alex Ferguson dan klub sepakbola terhebat di dunia, Manchester United, terima kasih telah mengajarkan saya untuk tetap optimis hingga pertarungan berakhir.
14. Seluruh pihak yang turut berperan luar biasa dalam penulisan skripsi ini, terima kasih.

Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif dan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta peningkatan daya saing bangsa.

Depok, 21 Juni 2011



Penulis

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

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

Nama : Gregory F. Saragih  
NPM : 0706266304  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

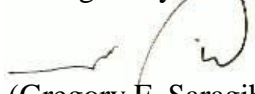
ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI DENGAN  
PLESTER DAN KAWAT ANYAM TERPAKU

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

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2011

Yang menyatakan

  
(Gregory F. Saragih)

## ABSTRAK

Nama : Gregory F. Saragih  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisis Kinerja Dinding Bata yang diperbaiki dengan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

Kerusakan yang paling sering terjadi pada bangunan sederhana *non engineered* seperti bangunan ruko akibat gempa bumi adalah pada dinding bata. Salah satu metode perbaikan yang dapat digunakan adalah metode kawat anyam terpaku dengan plester.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek perbaikan dengan plester dan kawat anyam terpaku terhadap kinerja dinding bata. Perbaikan dengan plester dan kawat anyam terpaku diharapkan mampu mengembalikan kekuatan dan kekakuan dinding bata yang retak akibat beban lateral. Penelitian berdasarkan analisis elastis linier dengan *continuum model* menggunakan perangkat lunak SAP2000 v14.1.

Model yang digunakan adalah satu panel dinding bata dengan beban lateral *in-plane* dan ruko tiga lantai dengan beban gempa statik ekuivalen sesuai SNI 03-1726-2002. Elemen *link* digunakan sebagai penghubung antara portal dengan dinding bata. Kekakuan portal dan dinding bata dianalisis berdasarkan evaluasi periode getar alami dan simpangan sedangkan kekuatannya dianalisis berdasarkan evaluasi tegangan. Efek separasi antara portal beton dan dinding bata dianalisis dengan melepas elemen *link*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa perbaikan dengan plester dan kawat anyam terpaku mampu mengembalikan kinerja dinding bata retak seperti kondisi utuh.

Kata kunci:

Beban lateral, dinding bata, kawat anyam terpaku, kekakuan, kekuatan, plester



## ABSTRACT

Name : Gregory F. Saragih  
Study Program: Civil Engineering  
Judul : Performance Analysis of Masonry Wall Retrofitted using Plaster  
and Nailed Low Grade Wire Mesh

The most common damage due to earthquake on simple non-engineering building such as store-house is the crack on its masonry wall. Plaster and nailed low grade wire mesh can be used as one of the retrofitting method.

The aim of this study is to investigate the effects of retrofitting using both plaster and nailed low grade wire mesh to the performance of masonry wall. The usage of plaster and nailed low grade wiremesh has been expected to restore strength and stiffness of cracked masonry walls due to lateral load. This study is based on linear elastic analysis with continuum models approach using SAP200 v14.1.

The model used in this study was one panel of masonry wall with lateral in-plane loading and a three stories three bays store-house building with static equivalent earthquake loading based on SNI 03-1726-2002. The Rigid link element was used as a connector between the frame and the masonry wall. Stiffness of both the frame and masonry wall has been analyzed by fundamental period and deflection evaluation, and the strength has been analyzed by stress evaluation. The effect of separation between the frame and masonry wall has been analyzed by releasing the rigid link element.

The results of the analysis indicated that retrofitting method using plaster and nailed low grade wire mesh was capable to restore the performance of cracked masonry wall as its initial condition.

Key words:

Lateral load, masonry wall, nailed low grade wire mesh, plaster, strength, stiffness

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	6
1.3. Hipotesis .....	6
1.4. Batasan Masalah .....	6
1.5. Metodologi Penelitian .....	7
1.6. Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
2.1. Dinding Bata.....	9
2.1.1. Batu Bata .....	9
2.1.2. Kegagalan dan Pola Retak pada Dinding Bata .....	11
2.1.3. Perbaikan Dinding Bata.....	14
2.1.4. Pemodelan Dinding Bata.....	17
2.2. Metode Elemen Hingga.....	18
2.2.1. Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga.....	19
2.2.2. Metode Elemen Hingga untuk Elemen <i>Frame</i> .....	19
2.2.3. Metode Elemen Hingga untuk Perilaku <i>Plane Stress</i> .....	21
2.3. Analisis Tegangan.....	24
2.3.1. Perilaku Material.....	24
2.3.2. Hukum Hooke.....	24
2.3.3. Poisson's Ratio.....	25
2.3.4. Transformasi Tegangan .....	25
2.3.5. Tegangan Utama .....	26
2.4. Dinamika Struktur.....	27
2.4.1. Persamaan Dinamik akibat Gempa .....	27
2.4.2. Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Getaran Bebas .....	28
2.4.3. Analisis Statik Ekuivalen.....	30
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1. Properti Material .....	34
3.1.1. Beton Bertulang .....	34
3.1.2. Dinding Bata .....	34
3.1.3. Plester .....	36
3.1.4. Kawat Anyam .....	37
3.2. Pemodelan .....	39

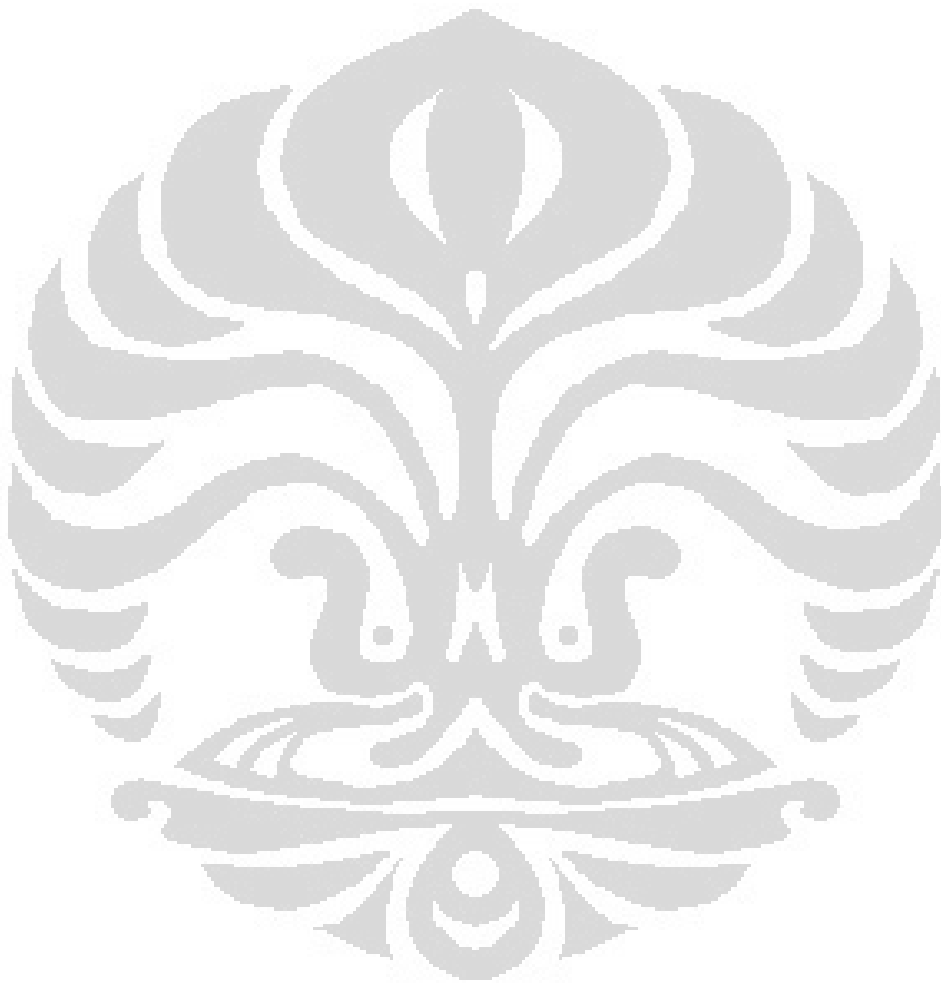
3.2.1.	Elemen Link.....	41
3.2.2.	Pemodelan Satu Panel Dinding Bata (1B1S).....	42
3.2.3.	Pembebanan Model 1B1S .....	45
3.2.4.	Variasi Model 1B1S .....	45
3.2.5.	Pemodelan Ruko Tiga Lantai (3B3S) .....	47
3.2.6.	Pembebanan Model 3B3S .....	51
3.2.7.	Variasi Model 3B3S .....	55
3.3.	Prosedur Analisis .....	57
3.3.1.	Prosedur Analisis Model 1B1S .....	58
3.3.2.	Prosedur Analisis Model 3B3S .....	59
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISIS .....</b>		<b>64</b>
4.1.	Analisis Model Satu Bentang Satu Lantai.....	64
4.1.1.	P-Fail pada Elemen Acuan .....	65
4.1.2.	Efek Separasi antara Portal dan Dinding Bata.....	75
4.2.	Analisis Model Tiga Bentang Tiga Lantai .....	83
4.2.1.	Periode Getar Alami.....	83
4.2.2.	Beban Gempa Statik Ekuivalen .....	85
4.2.3.	Distribusi Beban Gempa antara Kolom dan Panel Dinding Bata .....	88
4.2.4.	Simpangan dan Kekakuan Lateral .....	90
4.2.5.	Kinerja Kekuatan pada Daerah Retak .....	96
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>99</b>
5.1.	Kesimpulan.....	99
5.2.	Saran.....	100
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>		<b>101</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Peta Zonasi Gempa Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2002 (Sumber: SNI 03-1726-2002) .....	1
Gambar 1. 2.	Bangunan <i>Non-Engineered</i> di Indonesia (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010) .....	2
Gambar 1. 3.	Tipe Kerusakan Bangunan <i>Non-Engineered</i> Akibat Gempa Bumi (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010).....	3
Gambar 1. 4.	Dinding Bata Retak Diagonal Akibat Beban Lateral (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010) .....	4
Gambar 1. 5.	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (1) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010) .....	5
Gambar 1. 6.	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (2) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010) .....	5
Gambar 1. 7.	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (3) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010) .....	5
Gambar 2. 1.	Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial <i>Clay Brick Masonry P.A Hidalgo and C. Luders</i> (Sumber: Hidalgo, P. A. & Luders, C., 1984) .....	10
Gambar 2. 2.	Kurva Tegangan-Regangan Tekan <i>Concrete Masonry</i> (Sumber: Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992).....	11
Gambar 2. 3.	<i>Sliding Failure</i> dan <i>Shear Failure</i> (Sumber: Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992) .....	13
Gambar 2. 4.	Model <i>Knee-Braced Frame</i> pada <i>Sliding Shear Failure</i> (Sumber: Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992) .....	13
Gambar 2. 5.	Material yang Digunakan dalam <i>Ferrocement</i> (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001).....	15
Gambar 2. 6.	Dimensi Tipikal dari <i>Reinforced Plaster</i> (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001).....	15
Gambar 2. 7.	Aplikasi <i>Shotcrete</i> untuk Tes <i>Specimen</i> (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001).....	16
Gambar 2. 8.	Kurva <i>Specimen</i> Sebelum dan Sesudah Perbaikan dengan Menggunakan <i>Shotcrete</i> (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001).....	16
Gambar 2. 9.	Elemen <i>Frame</i> (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007) .....	20
Gambar 2. 10.	Beban <i>In-Plane</i> .....	21
Gambar 2. 11.	Elemen <i>Plane</i> dan Tegangan pada Elemen <i>Plane</i> (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007).....	22
Gambar 2. 12.	Tegangan pada <i>Gauss Points</i> Diekstrapolasi ke Sisi Tepi Elemen (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007).....	23
Gambar 2. 13.	Transformasi Tegangan .....	26

Gambar 3. 1. Gambar Kerja Pengujian Kawat Anyam .....	37
Gambar 3. 2. Pengujian Kawat Anyam .....	38
Gambar 3. 3. Alat Pengujian Kawat Anyam.....	38
Gambar 3. 4. Beban Pengujian Kawat Anyam.....	38
Gambar 3. 5. Ilustrasi <i>Continuum Model</i> Dinding Bata .....	40
Gambar 3. 6. Ilustrasi Celah Retak dan Metode Perbaikan Model .....	41
Gambar 3. 7. Ilustrasi Elemen Link Yang Kaku (Rigid Link).....	42
Gambar 3. 8. Ilustrasi Model 1B1S .....	43
Gambar 3. 9. Ilustrasi Beban Lateral <i>In-Plane</i> Model 1B1S .....	45
Gambar 3. 10. Ilustrasi Model 1B1S-1-0.....	46
Gambar 3. 11. Ilustrasi Model 1B1S-2-0/1B1S-KAWAT2.....	46
Gambar 3. 12. Ilustrasi Model 1B1S-3-0.....	47
Gambar 3. 13. Tampak Atas Bangunan Ruko Tiga Lantai.....	48
Gambar 3. 14. Portal Bidang Model 3B3S .....	48
Gambar 3. 15. Ilustrasi Model 3B3S .....	49
Gambar 3. 16. Ilustrasi Sambungan Kaku Balok Dan Kolom Model 3B3S.....	51
Gambar 3. 17. Ilustrasi Beban Akibat Pengaruh Portal Arah Ortogonal Model 3B3S .....	52
Gambar 3. 18. Ilustrasi Pembebanan Per Lantai Model 3B3S.....	52
Gambar 3. 19. Ilustrasi Beban Gempa Statik Ekuivalen Model 3B3S.....	55
Gambar 3. 20. Prosedur Analisis Model 1B1S .....	58
Gambar 3. 21. Prosedur Analisis Model 3B3S .....	60
Gambar 3. 22. Bagan Alur Metodologi Penelitian.....	63
Gambar 4. 1. Lokasi Elemen Acuan Model 1B1S .....	65
Gambar 4. 2. Grafik P-Fail Tarik Dinding Bata Model 1B1S .....	66
Gambar 4. 3. Grafik P-Fail Tekan Dinding Bata Model 1B1S .....	68
Gambar 4. 4. P-Fail Tarik Plester Model 1B1S .....	70
Gambar 4. 5. P-Fail Tekan Plester Model 1B1S .....	72
Gambar 4. 6. P-Fail Leleh Kawat Anyam Model 1B1S .....	74
Gambar 4. 7. Distribusi Tegangan Utama pada tepi Dinding Bata Model 1B1S Variasi 2 akibat <i>Un-link</i> .....	75
Gambar 4. 8. Pergerakan Lokasi Elemen Tegangan Utama Maksimum dan Minimum pada tepi Model 1B1S Variasi 2 akibat <i>Un-link</i> .....	76
Gambar 4. 9. $T_1$ Model 3B3S.....	84
Gambar 4. 10. Perbandingan $T_1$ Model 3B3S, Variasi Retak 9 .....	84
Gambar 4. 11. Beban Geser Dasar (V) Model 3B3S.....	86
Gambar 4. 12. Perbandingan Beban Geser Dasar (V) Model 3B3S, Variasi Retak 9 .....	87
Gambar 4. 13. Kolom Lantai Dasar Model 3B3S yang Ditinjau .....	88
Gambar 4. 14. Kekakuan Lateral Model 3B3S .....	92
Gambar 4. 15. Kekakuan Lateral Model 3B3S, Variasi Retak 9 .....	92

Gambar 4. 16. Kekakuan Lateral Antar Tingkat Model 3B3S, Variasi Retak 9... 95



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1.	Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah (Sumber : Penelitian <i>Case Study</i> Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia) .....	9
Tabel 2. 2.	Kuat Tekan Pasangan Bata Merah (Sumber : Penelitian <i>Case Study</i> Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia) .....	10
Tabel 2. 3.	Perbandingan <i>Diagonal Compression Strut</i> Dengan <i>Continuum Model</i> .....	18
Tabel 3. 1.	Pendekatan Kuat Tarik Dinding Bata .....	35
Tabel 3. 2.	Pendekatan Kuat Tarik Plester .....	36
Tabel 3. 3.	Tegangan Putus Kawat Anyam Hasil Pengujian .....	39
Tabel 3. 4.	Elemen Yang Digunakan .....	40
Tabel 3. 5.	Model 1B1S yang Digunakan .....	43
Tabel 3. 6.	Variasi Model 1B1S .....	45
Tabel 3. 7.	Pembebanan Model 3B3S .....	53
Tabel 3. 8.	Variasi Model 3B3S .....	57
Tabel 3. 9.	Parameter Analisis .....	58
Tabel 4. 1.	Tegangan Utama atau Gaya Aksial Elemen Acuan Model 1B1S ....	64
Tabel 4. 2.	P-Fail Tarik Dinding Bata Model 1B1S .....	66
Tabel 4. 3.	P-Fail Tekan Dinding Bata Model 1B1S .....	68
Tabel 4. 4.	P-Fail Tarik Plester Model 1B1S .....	70
Tabel 4. 5.	P-Fail Tekan Plester Model 1B1S .....	71
Tabel 4. 6.	P-Fail Leleh Kawat Anyam Model 1B1S .....	73
Tabel 4. 7.	Gaya Dalam Portal Model 1B1S Variasi 2 dengan <i>Un-link</i> (Lanjutan).....	77
Tabel 4. 8.	$T_1$ Model 3B3S .....	83
Tabel 4. 9.	Beban Geser Dasar (V) Model 3B3S .....	86
Tabel 4. 10.	$W_i$ , $z_i$ , dan $W_i z_i$ Model 3B3S .....	88
Tabel 4. 11.	Distribusi Beban Gempa antara Kolom dan Panel Dinding Bata ....	89
Tabel 4. 12.	Simpangan Puncak Model 3B3S .....	90
Tabel 4. 13.	Kekakuan Lateral Model 3B3S .....	91
Tabel 4. 14.	Perbandingan Kekakuan Lateral Model 3B3S .....	93
Tabel 4. 15.	Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S .....	94
Tabel 4. 16.	Perbandingan Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S, Variasi Retak 9 .....	96
Tabel 4. 17.	Tegangan Utama Dinding Bata Daerah Retak Model 3B3S Diperbaiki .....	97
Tabel 4. 18.	Tegangan Utama Plester Model 3B3S Diperbaiki .....	97
Tabel 4. 19.	Gaya Aksial Kawat Anyam Terpakai Model 3B3S Diperbaiki .....	97

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Keterangan Model 1B1S .....	104
Lampiran 2 : Ilustrasi Tegangan Utama Dinding Bata Model 1B1S .....	105
Lampiran 3 : Ilustrasi Tegangan Utama Plester Model 1B1S .....	109
Lampiran 4 : Diagram Tegangan Utama Model 1B1S (Tekan dan Tarik).....	112
Lampiran 5 : Vektor Resultan Tegangan Utama Model 1B1S .....	130
Lampiran 6 : Keterangan Model 3B3S .....	149
Lampiran 7 : Faktor Respons Gempa (C) Model 3B3S sesuai SNI 03-1726- 2002 .....	150
Lampiran 8 : Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen (Fi) Model 3B3S sesuai SNI 03-1726-2002.....	151
Lampiran 9 : Simpangan Lateral Model 3B3S .....	152
Lampiran 10 : Diagram Tegangan Utama Model 3B3S (Tekan dan Tarik).....	153
Lampiran 11 : Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S Tidak Diperbaiki dan Model 3B3S Metode Perbaikan Plester .....	164
Lampiran 12 : Tegangan Utama Maksimum Dinding Bata Model 3B3S Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku .....	165



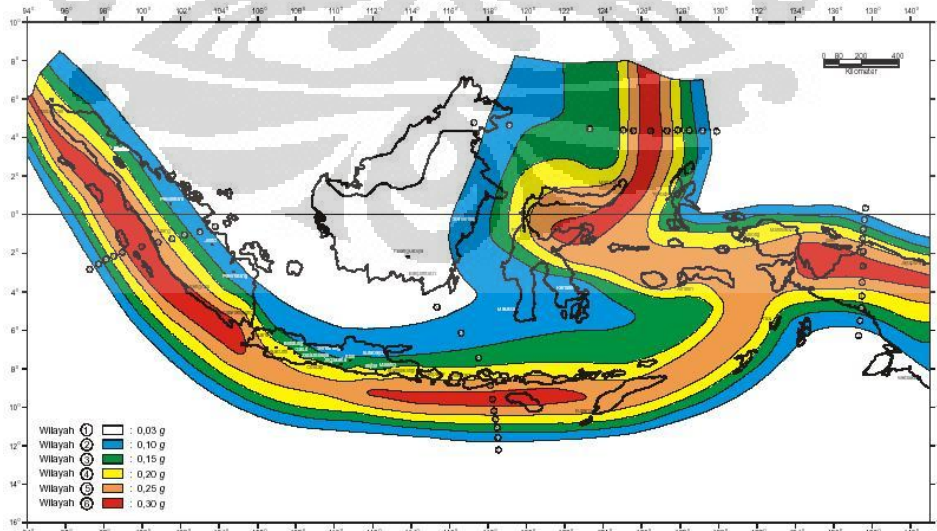
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Bata merupakan salah satu material yang sering digunakan pada bangunan sebagai dinding pengisi struktur. Dinding bata sering digunakan karena sifatnya yang ekonomis, mudah didapatkan, dan tahan terhadap cuaca. Seringkali dinding bata tidak diperhitungkan sebagai bagian dari struktur bangunan (komponen non-struktural), dan hanya dianggap sebagai dinding pengisi yang bebannya disalurkan ke portal. Namun pada kenyataannya dinding bata berpengaruh terhadap perilaku struktur, seperti sumbangan kekakuan dalam menahan beban lateral. Beban lateral yang dominan membebani struktur bangunan adalah beban gempa bumi.

Indonesia merupakan negara yang sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Intensitas gempa di Indonesia tinggi, seperti pada rentang 2004 hingga 2010. Terdapat beberapa gempa berskala besar yang menimbulkan kerusakan bangunan bahkan korban jiwa. Contohnya adalah gempa di Aceh tahun 2004, gempa di Padang tahun 2009, dan gempa di Mentawai tahun 2010.



**Gambar 1. 1.** Peta Zonasi Gempa Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2002 (Sumber: SNI 03-1726-2002)

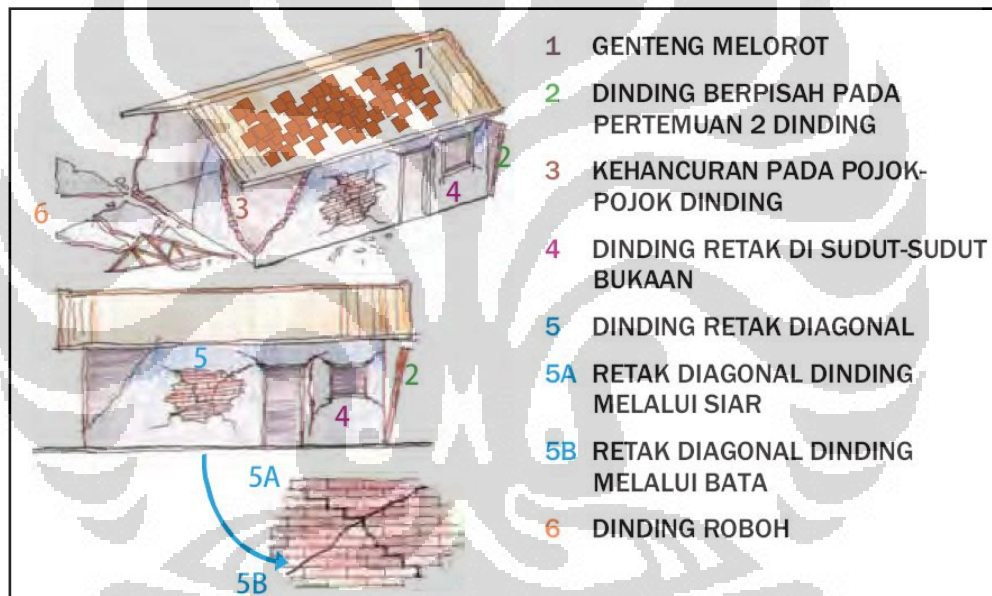
Sebagian besar bangunan yang ada di Indonesia adalah bangunan *non-engineered*, yang bercirikan mutu bahan dan mutu pengerjaan yang rendah. Bangunan *non-engineered* adalah bangunan rumah tinggal dan bangunan komersil sampai dua lantai yang dibangun oleh pemilik, menggunakan tukang setempat, menggunakan bahan bangunan yang didapat setempat, tanpa bantuan arsitek maupun ahli struktur. Biasanya bangunan *non-engineered* menggunakan konstruksi dinding bata pemikul beban vertikal dan beban lateral (Boen dan rekan, 2010).



**Gambar 1. 2.** Bangunan *Non-Engineered* di Indonesia (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)

Kerusakan tipikal bangunan *non-engineered* di Indonesia akibat gempa bumi berdasarkan hasil pengamatan adalah sebagai berikut:

1. Genteng melorot,
2. Dinding terpisah pada pertemuan dua dinding,
3. Kehancuran pada pojok-pojok dinding,
4. Dinding retak pada sudut-sudut bukaan,
5. Dinding retak diagonal,
6. Dinding roboh,
7. Kegagalan sambungan balok-kolom, dan
8. Bangunan roboh.



**Gambar 1. 3.** Tipe Kerusakan Bangunan *Non-Engineered* Akibat Gempa Bumi (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)

Diantara bentuk kerusakan tipikal bangunan *non-engineered* tersebut, kerusakan berupa dinding retak diagonal adalah tipe kerusakan yang paling sering ditemukan. Kerusakan ini terjadi akibat kegagalan tarik dinding bata dalam menahan beban lateral, yaitu beban gempa.

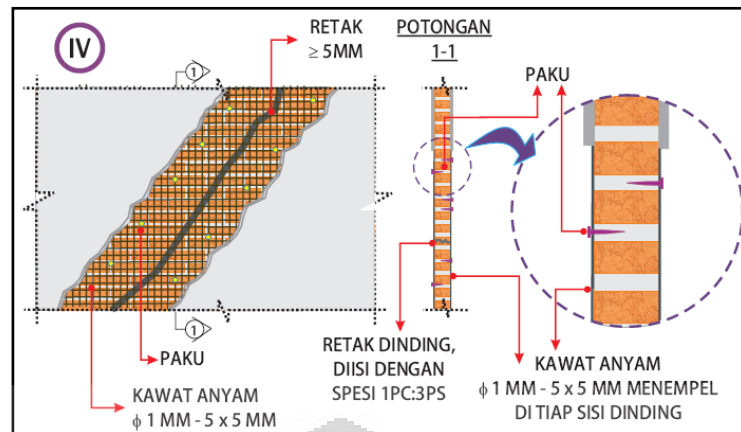


**Gambar 1. 4.** Dinding Bata Retak Diagonal Akibat Beban Lateral (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)

Penanganan dinding bata retak (diagonal) dapat dilakukan dalam batas celah retak lebih besar dari 5 mm hingga 40% komponen struktur utama mengalami kerusakan (Boen dan rekan, 2010). Strategi yang dapat digunakan adalah *retrofitting*, yaitu perbaikan, restorasi, dan perkuatan. Dengan strategi ini perbaikan dinding bata retak dapat dilakukan tanpa harus membongkar struktur secara keseluruhan (hanya pada komponen yang rusak), sehingga didapatkan penanganan yang ekonomis.

Salah satu bentuk perbaikan praktis dan ekonomis yang disarankan untuk penanganan dinding bata retak akibat beban lateral adalah dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku. Metode perbaikan ini praktis karena mudah untuk dilaksanakan, dan ekonomis karena bahan yang dibutuhkan mudah didapatkan. Namun belum ada penelitian yang mempublikasikan tentang efektivitas metode perbaikan ini terhadap kekuatan dan kekakuan dinding bata retak. Hal inilah yang menjadi latar belakang penelitian ini.





**Gambar 1. 5.** Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (1) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)



**Gambar 1. 6.** Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (2) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)



**Gambar 1. 7.** Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku (3) (Sumber: Boen, Teddy and associates, 2010)

Pada penelitian ini dipelajari efektivitas metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku terhadap kinerja kekuatan dan kekakuan dinding bata retak, yang disederhanakan dan dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer

**Universitas Indonesia**

(bantuan perangkat lunak). Diharapkan hasil penelitian ini mampu menegaskan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku sebagai strategi penanganan dinding bata retak akibat beban lateral (khususnya gempa) yang praktis, ekonomis, dan efektif mengembalikan kinerja dinding bata.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari dampak metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku terhadap kinerja dinding bata retak dengan beban lateral berupa beban *in-plane* maupun beban gempa statik ekuivalen. Kinerja yang dimaksud adalah kekuatan dan kekakuan.

## 1.3. Hipotesis

Dalam penelitian ini kinerja dinding bata retak yang diperbaiki dengan plester dan kawat anyam terpaku akan kembali seperti kondisi utuh. Dengan kata lain metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku akan mampu mengembalikan kekuatan dan kekakuan dinding bata retak.

## 1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan adalah beton bertulang (portal), dinding bata non-standar, plester, dan kawat anyam terpaku.
2. Pemodelan dilakukan dengan *Continuum Model*.
3. Model yang digunakan adalah model satu panel dinding bata dan model bangunan rumah toko (ruko) tiga lantai.
4. Retak pada model dinding bata adalah retak akibat kegagalan tarik yang diidealisasi.
5. Beban yang digunakan adalah beban lateral, yaitu beban lateral *in-plane* untuk model satu panel dinding bata dan beban gempa statik ekuivalen untuk model bangunan ruko tiga lantai.
6. Beban gempa statik ekuivalen didasarkan pada SNI 03-1726-2002.

Wilayah Gempa Rencana yang digunakan adalah wilayah 3 (tiga) dengan jenis tanah lunak.

Universitas Indonesia

7. Analisis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*.
8. Analisis dibatasi pada analisis elastis linier.

### **1.5. Metodologi Penelitian**

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi literatur, diskusi, dan pengujian di laboratorium. Pada tahapan ini mempelajari teori karakteristik dinding bata pada struktur, teori metode elemen hingga, teori analisis tegangan, dan teori dinamika struktur melalui studi literatur, diskusi, dan pengujian di laboratorium (khusus kawat anyam). Dari tahapan ini didapatkan properti material, metode pemodelan, hingga alur analisis yang digunakan dalam penelitian.
2. Pemodelan dan variasi model dengan bantuan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*. Dari tahapan ini didapatkan data masukan untuk penelitian.
3. Pengumpulan hasil keluaran perangkat lunak *SAP2000 v14.1*. Pada tahapan ini didapatkan tegangan utama dinding bata dan plester, gaya aksial kawat, gaya dalam portal (efek separasi antara portal dan dinding bata), periode getar alami model, dan simpangan lateral model akibat beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 03-1726-2002.
4. Analisis. Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap hasil keluaran yang didapatkan untuk melihat kinerja dinding bata retak yang diperbaiki dengan plester dan kawat anyam terpaku.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan yang dilakukan yaitu:

1. Bab 1 Pendahuluan  
Bab pendahuluan berisi Latar Belakang, Tujuan Penelitian, Hipotesis, Batasan Masalah, Metodologi Penelitian, dan Sistematika Penulisan.
2. Bab 2 Tinjauan Pustaka  
Bab ini menguraikan teori-teori yang digunakan untuk menunjang penelitian ini yaitu teori mengenai dinding bata, metode elemen hingga, analisis tegangan, dan dinamika struktur.

3. Bab 3 Metodologi Penelitian

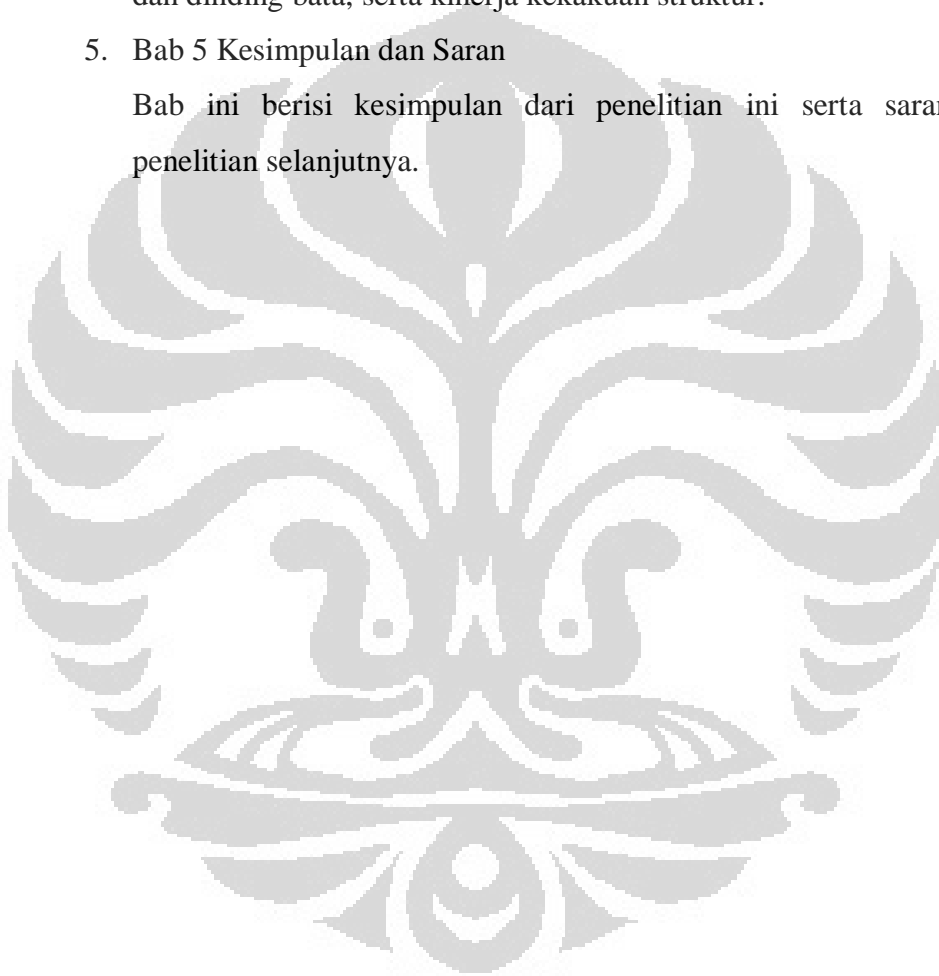
Bab ini membahas tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini.

4. Bab 4 Hasil dan Analisis

Bab ini berisi tentang analisis dari hasil keluaran yang diperoleh dari pemodelan struktur. Hasil-hasil yang ditampilkan berupa tabel atau grafik kinerja kekuatan komponen struktur, efek separasi antara portal dan dinding bata, serta kinerja kekakuan struktur.

5. Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian ini serta saran untuk penelitian selanjutnya.





## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Dinding Bata

##### 2.1.1. Batu Bata

###### 2.1.1.1. Definisi

Menurut SNI 15-2094-1991 tentang Bata Merah Pejal, 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

- Modulus Elastisitas

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

**Tabel 2. 1.** Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah (Sumber : Penelitian *Case Study* Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia)

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

- Kuat Tekan

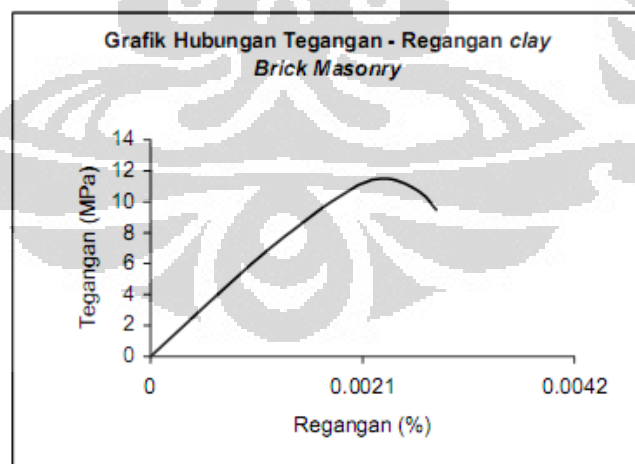
Berikut adalah kuat tekan berdasarkan penelitian di Indonesia (hasil penelitian di laboratorium bahan universitas Indonesia) untuk kalangan sendiri.

**Tabel 2. 2.** Kuat Tekan Pasangan Bata Merah (Sumber : Penelitian *Case Study* Di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia)

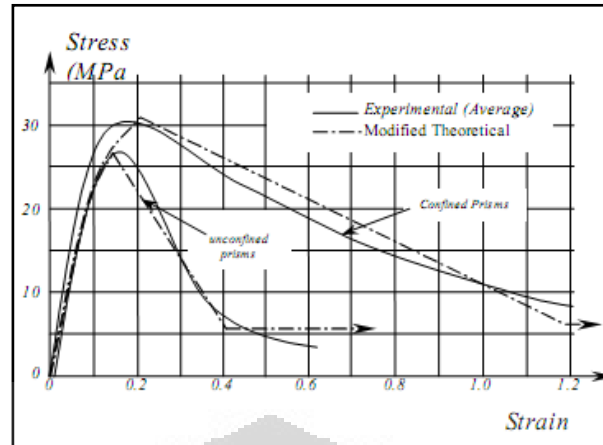
No.	Jenis Pasangan	Kuat tekan (Mpa)
1	Tanpa plesteran	10.91
2	Dengan plesteran	11.05
3	Dengan kamprot +plesteran	10.88

- Kuat Tarik

Dikarenakan tidak didapatkannya nilai kuat tarik yang pasti, maka untuk mengetahui nilai kuat tarik dilakukan dengan 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:

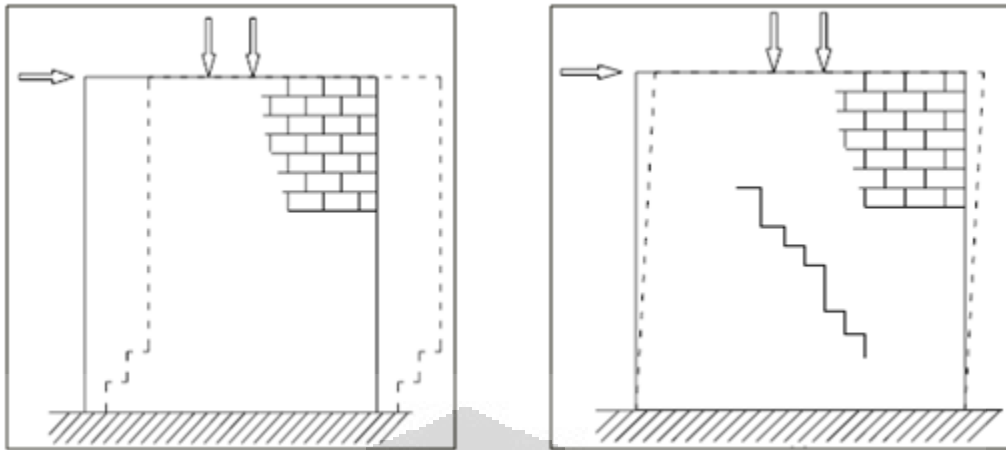
- *Tension Failure Mode*: Kegagalan tarik dari kolom yang tidak kuat menahan tarik akibat momen.

Universitas Indonesia

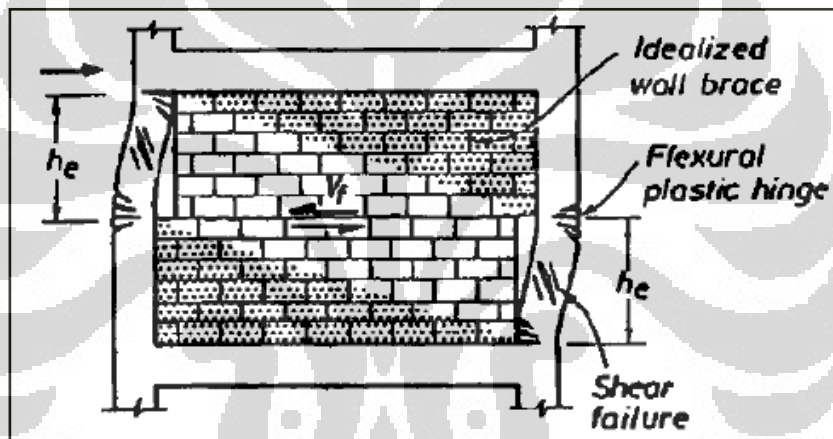
- *Sliding shear failure*: Kegagalan geser pada dinding sepanjang arah horizontal dekat atau tepat pada setengah ketinggian panel dinding pengisi.
- *Diagonal Tensile Cracking*: Retak sepanjang diagonal dinding bata karena tarik.
- *Compression failure of the diagonal compression strut*.
- *Flexural 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 compression 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 compression strut*

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

Dari ulasan di atas, kemudian direkomendasikan untuk mendesain portal dengan dinding pengisi bata pada moda kegagalan geser atau moda kegagalan

*diagonal compression* untuk dapat menahan gaya lateral sesuai dengan respon elastis dari level disain gempa.

### 2.1.3. Perbaikan Dinding Bata

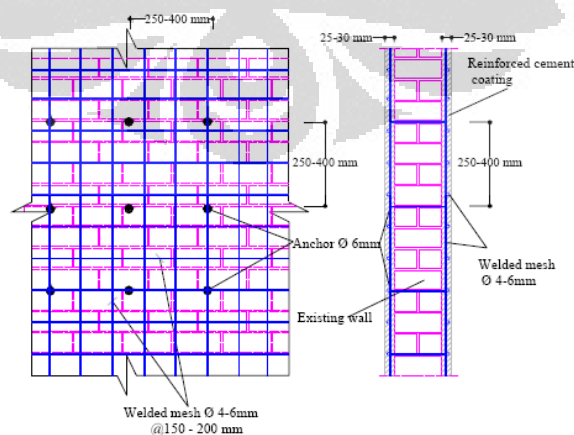
Ada beberapa cara teknik konvensional yang kerap digunakan dalam perbaikan dan perkuatan *un-reinforced masonry* (URM) terhadap gaya seismik. Salah satunya adalah metode pelapisan permukaan dinding (*surface treatment*). Metode ini adalah metode yang paling sering digunakan dan terus berkembang. Pelapisan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

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



**Gambar 2. 5.** Material yang Digunakan dalam *Ferrocement* (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001)

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

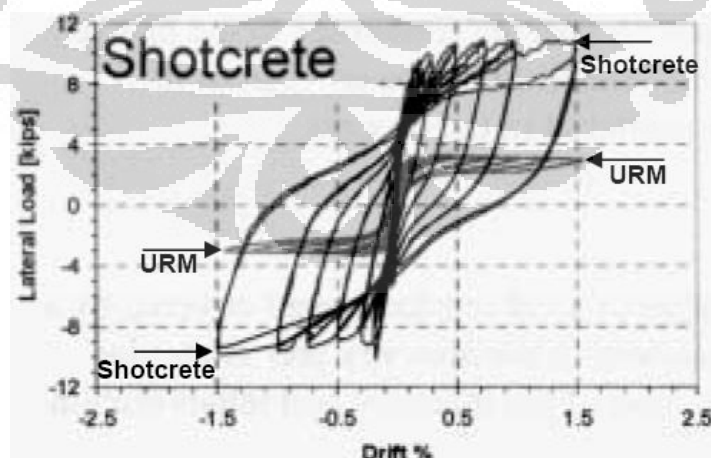


**Gambar 2. 6.** Dimensi Tipikal dari *Reinforced Plaster* (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001)

*Shotcrete* adalah metode perbaikan dinding dengan 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 ultimate dinding. Dengan menggunakan *shotcrete* setebal 90 mm, dalam *diagonal tension test* (Kahn 1984) dapat meningkatkan gaya ultimate pada URM panel dengan faktor 6-25. Sedangkan dalam *static cyclic test* (Abrams and Lynch 2001), dapat meningkatkan gaya ultimate pada dinding yang telah diperbaiki dengan faktor 3.



**Gambar 2. 7.** Aplikasi *Shotcrete* untuk Tes *Specimen* (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001)



**Gambar 2. 8.** Kurva *Specimen* Sebelum dan Sesudah Perbaikan dengan Menggunakan *Shotcrete* (Sumber: Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001)



Beberapa metode perbaikan hingga dinding bata, diantaranya menggunakan plester dan kawat anyam terpaku yang telah banyak dilakukan di Indonesia dituangkan oleh Teddy Boen dan rekan pada tahun 2010 dalam publikasi berjudul “*Retrofitting Simple Buildings Damage by Earthquakes*”. Namun tidak ada publikasi penunjang yang menunjukkan efektivitas metode perbaikan yang disarankan dalam publikasi tersebut.

#### 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 Model* dimana elemen *frame*, kerja dinding bata, hubungan permukaan, dan gap/separasi dimodelkan untuk mendapatkan hasil. Sedangkan Metode *Macro modelling* atau disebut Diagonal Tekan Ekivalen metode ini menggunakan satu atau lebih strut untuk mewakili dinding pengisi (Arief, 2010).

##### a. Diagonal Tekan Ekivalen

Diagonal Tekan Ekivalen atau *Equivalent Diagonal Compression Strut* adalah suatu metode permodelan dinding bata yang memodelkan kekakuan ekivalen 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 ekivalen. Dengan memasukkan properti mekanik ( $A_d$  dan  $E_d$ ), lalu portal isi dianalisis sebagai “portal terbuka dengan diagonal tekan ekivalen”. 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 ekivalen. Dengan konsep perencanaan berbasis kuat batas atau beban terfaktor, selanjutnya portal berpenopang ekivalen (*equivalent braced frame*) dapat dianalisis dengan cara manual atau komputer sebagai portal berpenopang biasa (*ordinary braced frame*). Gaya-gaya pada

diagonal tekan ekivalen 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 Model

*Continuum Model* 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 metode pemodelan :

**Tabel 2. 3.** Perbandingan *Diagonal Compression Strut* Dengan *Continuum Model*

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

## 2.2. Metode Elemen Hingga

Pada dasarnya, semua permasalahan di dunia dapat disimplifikasi dalam persamaan differensial. Persamaan differensial pun memiliki derajat bervariasi

berdasarkan kompleksitas masalahnya. Untuk dapat menyelesaikan persamaan differensial yang harus diselesaikan secara numerik, seringkali persamaan tersebut ditransformasi menjadi persamaan simultan yang dapat lebih mudah diselesaikan. Mentransformasi persamaan differensial yang tanpa batas menjadi persamaan simultan dengan berbagai batasan dan asumsi inilah yang menjadi dasar terbentuknya metode elemen hingga.

Metode elemen hingga adalah metode pendekatan fungsi solusi terhadap persamaan differensial dan integral yang bentuk persamaan akhirnya adalah persamaan matriks. Dalam permasalahan struktural, persamaan matriks hadir dalam persamaan kekakuan elemen-elemen struktural yang pada akhirnya disuperposisi menjadi persamaan kekakuan struktur untuk kemudian dianalisis deformasi, gaya-gaya dalam serta reaksi perletakan (Katili, 2008).

### 2.2.1. Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga

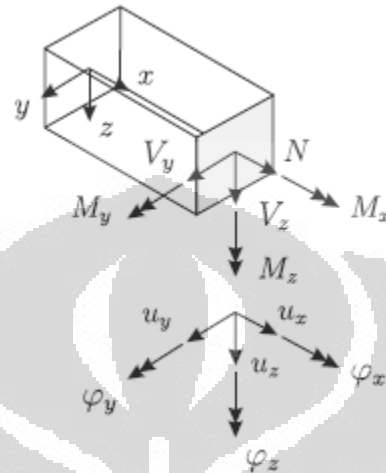
Menganalisa struktur dengan metode elemen hingga pada dasarnya adalah membatasi (*constraining*) struktur hingga menjadi sesuai dengan bentuk-bentuk (*shapes*) yang ditunjukkan oleh fungsi-fungsi bentuk (*shape functions*). Akurasi metode elemen hingga sangat bergantung pada bagaimana program (yang digunakan)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

### 2.2.2. Metode Elemen Hingga untuk Elemen *Frame*

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

Keuntungan menggunakan analisis 1D terletak pada representasinya yang jelas dan deskriptif terhadap struktur karena hasilnya yang langsung ditampilkan

pada bentuk integral, namun semakin banyak efek yang harus ditinjau dalam analisis maka semakin analisis 1D tidak dapat diandalkan (Hartmann, F. dan Katz, C., 2007).



Gambar 2. 9. Elemen *Frame* (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007)

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:

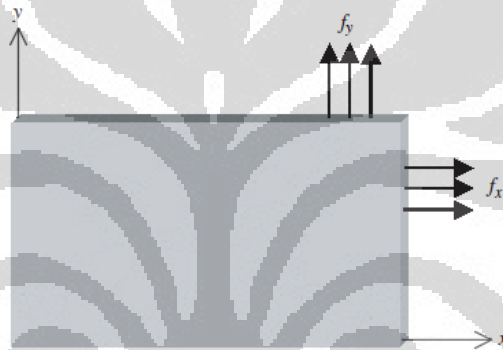
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L}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

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 dianalisa sebagai elemen dua dimensi dengan beban *in-plane*.

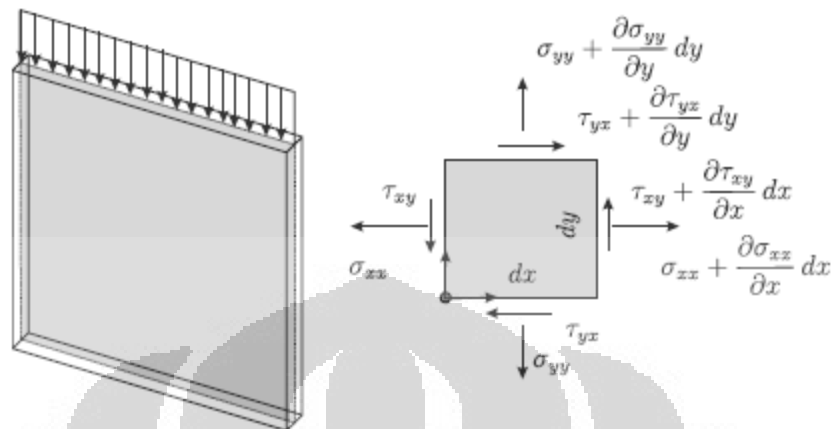


Gambar 2. 10. Beban *In-Plane*

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

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

### 2.2.3.1. Regangan dan Tegangan



**Gambar 2.11.** Elemen *Plane* dan Tegangan pada Elemen *Plane* (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007)

Deformasi pada sebuah pelat dideskripsikan dengan vektor perpindahan:

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

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

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

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

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

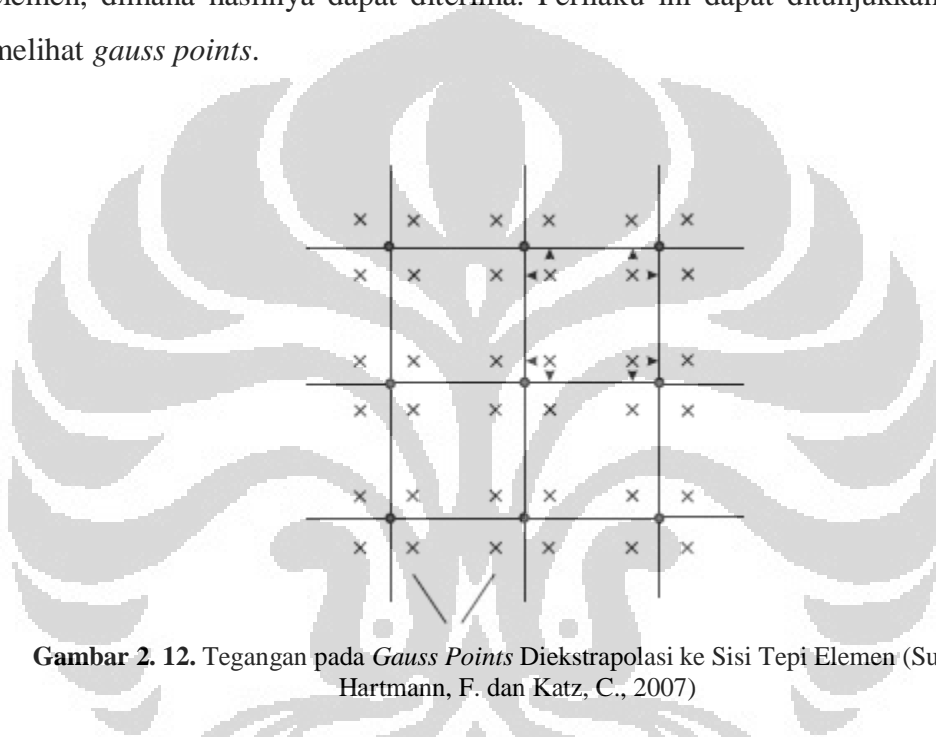
sehingga untuk mendapatkan regangan dari tegangan, digunakan perumusan:

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

dimana  $G = 0,5 E/(1+\nu)$  atau modulus geser material yang digunakan. Dengan transformasi tegangan dapat ditentukan tegangan utama atau tegangan geser maksimum (Hartmann, F. dan Katz, C., 2007).

### 2.2.3.2. Stress Averaging

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



**Gambar 2. 12.** Tegangan pada *Gauss Points* Diekstrapolasi ke Sisi Tepi Elemen (Sumber: Hartmann, F. dan Katz, C., 2007)

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

## 2.3. Analisis Tegangan

### 2.3.1. Perilaku Material

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

#### a. 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.

#### b. Material *Brittle*

Material *brittle* yaitu material yang sedikit atau bahkan tidak terjadi leleh sebelum material tersebut gagal. Munculnya awal retak pada material ini sangat acak, material *brittle* tidak dapat didefinisikan dengan baik gagalnya akibat tegangan tarik. Jika dibandingkan dengan sifat tariknya, material ini menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi untuk tekanan aksialnya.

### 2.3.2. Hukum Hooke

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

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

Nilai  $E$  merupakan modulus elastisitas yang merepresentasikan perbandingan tegangan dan regangan yang konstan. Modulus elastisitas merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan pada daerah elastisnya. Persamaan di atas merepresentasikan persamaan dari awal garis lurus pada diagram tegangan-regangan sampai batas proporsionalnya. Modulus elastisitas merupakan properti mekanik yang mengindikasikan kekakuan. Semakin kaku material, angka modulus elastisitasnya semakin besar. Modulus elastisitas hanya

**Universitas Indonesia**



dapat digunakan ketika material berperilaku linear-elastis dan ketika tegangan pada material lebih besar dari batas proporsional, diagram tegangan-regangan berhenti menjadi garis lurus dan persamaan di atas tidak berlaku lagi (Hibbeler, 2008).

### 2.3.3. Poisson's Ratio

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

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

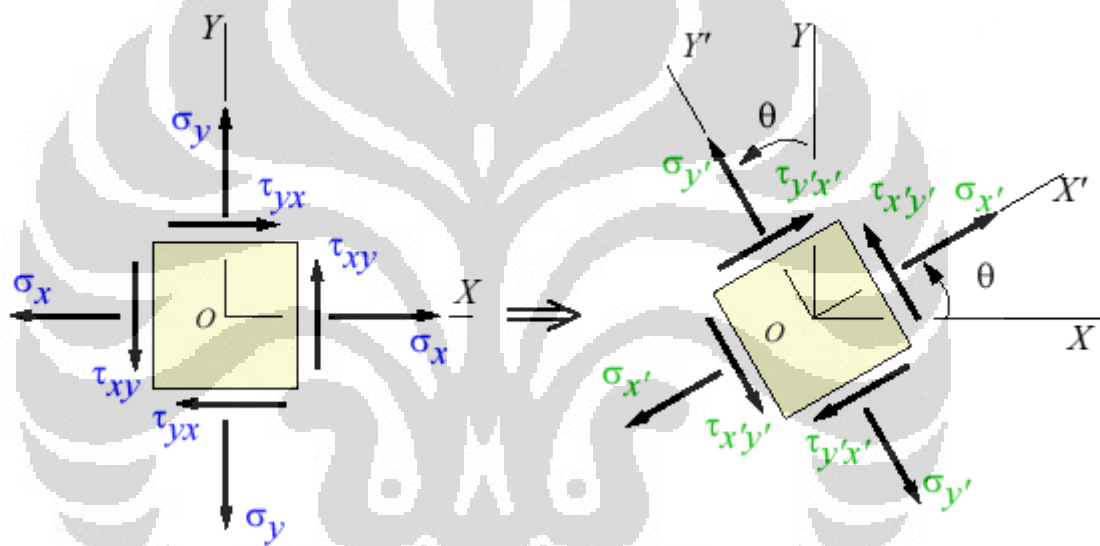
Perbandingan ini selalu bernilai negatif karena arah pergerakan longitudinal dan lateralnya selalu berlawanan. Ini hanya berlaku apabila gaya yang dikenakan ke material pada arah longitudinal saja, tidak ada gaya atau tegangan yang bekerja pada arah lateralnya.

### 2.3.4. Transformasi Tegangan

Pada kondisi umum tegangan pada suatu titik dicirikan dengan enam tegangan normal independen dan tegangan geser. Keadaan tegangan seperti ini tidak sering ditemukan dalam praktiknya. Oleh karena itu dilakukan perkiraan atau simplifikasi beban pada material dalam rangka bahwa tegangan yang dihasilkan pada struktur dapat dianalisis pada bidang tunggal. Pada keadaan ini, material dikatakan mengalami *plane stress*. Keadaan umum dari *plane stress* pada partikel direpresentasikan oleh dua komponen tegangan normal ( $\sigma_x$  dan  $\sigma_y$ ) dan sebuah tegangan geser ( $\tau_{xy}$ ), 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 di tentukan pada kondisi

**Universitas Indonesia**

elemen yang memiliki orientasi berbeda, maka tiga komponen tegangan ini didefinisikan sebagai  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , dan  $\tau_{xy}$ . Dengan kata lain, keadaan dari *plane stress* pada suatu titik ini unik yang direpresentasikan oleh dua komponen tegangan normal dan sebuah komponen tegangan geser yang bekerja pada elemen yang memiliki orientasi khusus pada titik tersebut. Komponen tegangan yang memiliki satu orientasi dari suatu elemen dapat ditransformasi ke elemen yang memiliki orientasi berbeda. Transformasi tegangan ini harus memperhitungkan besar dan arah dari masing-masing komponen tegangan dan orientasi dari area pada masing-masing komponen.



Gambar 2. 13. Transformasi Tegangan

### 2.3.5. Tegangan Utama

Dalam melakukan transformasi tegangan, orientasi bidang miring pada komponen tegangan normal dan geser harus ditentukan, yang mana harus ditentukan dengan menggunakan sudut  $\theta$ . 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  $\theta$  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*.

## 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 horizontal. Dalam suatu struktur yang memiliki redaman, massa dan kekakuan tertentu, ketika dikenai eksitasi dinamik akan menimbulkan reaksi berupa gaya inersia ( $f_I$ ) untuk melawan massa sebesar  $f_I = m \cdot \ddot{u}$ , gaya gesek ( $f_s$ ) untuk melawan kekakuan sebesar  $f_s = k \cdot u$  dan gaya redaman ( $f_d$ ) untuk melawan redaman sebesar  $f_d = c \cdot \dot{u}$ . Berikut ini adalah persamaan dinamik secara general akibat getaran bebas:

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 2.4.2. Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Getaran 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 *multi 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 getar alami 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 getar alaminya. Nilai frekuensi alami yang paling kecil menunjukkan nilai  $\omega_1$  dan seterusnya.

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

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

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

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

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

jika dikombinasikan dengan persamaan sebelumnya, maka akan menghasilkan persamaan:

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

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

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

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

Untuk mengetahui nilai  $\Phi_n$  dan  $\omega$ , persamaan di atas disubstitusi ke dalam persamaan dinamik general.

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

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

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

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

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

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

memiliki solusi nontrivial, sehingga:

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

dengan  $\omega_n^2$  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 ekivalen yang terjadi di tingkat dasar berdasarkan SNI 03-1726- 2002 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung:

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.23)$$

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

Nilai  $C_1$  merepresentasikan percepatan tanah pada daerah tempat struktur berdiri dalam satuan grafitasi dan dependen terhadap nilai periode getar alami struktur. Periode getar alami 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.

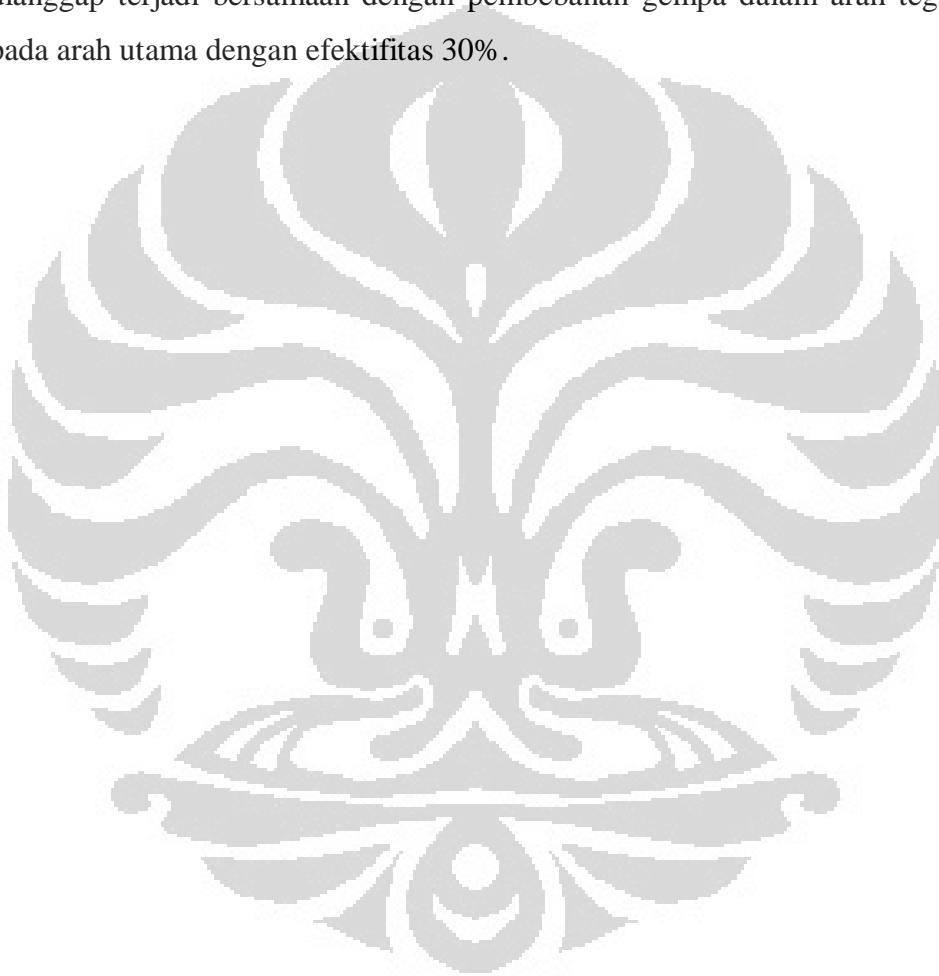
Gaya geser dasar nominal tersebut kemudian dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen  $F_i$  yang menagkap pada pusat massa lantai tingkat ke- $i$  mengikuti bentuk dari pola ragam getar mode pertama.

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2.24)$$

Apabila rasio antara tinggi struktur gedung dan ukuran denahnya dalam arah pembebanan gempa sama dengan atau melebihi tiga, maka 0,1V harus

dianggap sebagai beban horizontal terpusat yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai tingkat paling atas, sedangkan  $0,9V$  sisanya harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal static ekuivalen menurut persamaan di atas (Nasional, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung, 2002).

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





### BAB 3

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini mempelajari kinerja dinding bata yang diperbaiki dengan plester dan kawat anyam terpaku pada bangunan ruko. Penelitian dilakukan dengan simulasi komputer menggunakan perangkat lunak SAP2000 v14.1.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton bertulang, dinding bata, plester, dan kawat anyam. Properti material yang digunakan didapatkan dari literatur, pendekatan terhadap asumsi yang digunakan, dan hasil pengujian di laboratorium. Pada penelitian ini analisis difokuskan pada material dinding bata, plester, dan kawat.

Simulasi komputer menggunakan perangkat lunak SAP2000 v14.1 dilakukan pada *continuum model* portal beton bertulang dengan dinding bata pengisi dalam berbagai kondisi. Model yang digunakan adalah model satu panel dinding bata dan model ruko tiga lantai. Elemen link digunakan sebagai penghubung antara portal dan dinding. Pembebanan pada model satu panel dinding bata adalah beban lateral *in-plane*, sementara pada model ruko tiga lantai adalah beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 03-1726-2002.

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada analisis elastis linier. Pada model satu panel dinding bata, analisis dilakukan untuk mempelajari kinerja dinding bata dan efek separasi antara portal dan dinding bata terhadap beban lateral *in-plane* yang diberikan. Sementara pada model ruko tiga lantai, analisis dilakukan untuk mempelajari pengaruh dinding bata dan metode perbaikan terhadap struktur serta kinerja saat diberikan beban statik ekuivalen.

### 3.1. Properti Material

Properti material yang didapatkan dengan pendekatan terhadap asumsi yang digunakan adalah kuat tarik dinding bata dan kuat tarik plester, sementara properti material yang didapatkan dengan pengujian di laboratorium adalah kuat leleh kawat anyam.

#### 3.1.1. Beton Bertulang

Dalam penelitian ini material beton bertulang digunakan untuk balok dan kolom struktur. Dimensi balok yang digunakan adalah 500x300 mm<sup>2</sup>, dan dimensi kolom yang digunakan adalah 400x400 mm<sup>2</sup>.

Material beton bertulang yang digunakan adalah beton bertulang K-300 ( $f_c' = 25$  MPa). Berikut adalah properti material beton bertulang yang digunakan.

- Modulus Elastisitas : 23452,92 MPa
- *Poisson's Ratio* : 0,3
- Massa Jenis : 2400 kg/m<sup>3</sup>

#### 3.1.2. Dinding Bata

Dinding bata yang digunakan adalah dinding bata yang diberikan plester. Bata yang digunakan adalah bata non-standar (bata cikarang), sementara plester yang digunakan adalah plester dengan campuran 1:4 (semen banding pasir). Tebal bata yang digunakan adalah 10 cm, dan tebal plester yang digunakan adalah 2,5 cm satu sisi.

Material dinding bata yang digunakan diasumsikan bersifat homogen, isotrop, getas, dan elastis linier. Berikut adalah properti material dinding bata yang digunakan.

- Modulus elastisitas : 3201,86 MPa<sup>(1)</sup>
- *Poisson's ratio* : 0,19<sup>(2)</sup>
- Massa jenis : 1700 kg/m<sup>3(3)</sup>

<sup>1</sup> Penelitian *Case Study* di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia untuk kalangan sendiri

<sup>2</sup> Tabel *Material's Elastic Properties* dalam jurnal *Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames* oleh P.G. Asteris, tahun 2008

<sup>3</sup> Pedoman Perancangan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung SKBI-1.3.53.1987 UDC: 642.042 oleh Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia

- Kuat tekan : 11,05 MPa<sup>(1)</sup>
- Kuat tarik : 0,219 MPa

Kuat tarik material dinding bata yang digunakan didapatkan dengan pendekatan terhadap sifat getas dinding bata yang sama dengan beton bertulang. Dengan pendekatan ini kuat tarik material dinding bata dapat ditentukan menggunakan rumus kuat tarik beton bertulang yang dimodifikasi.

Nilai kuat tarik material dinding bata yang didapatkan dengan pendekatan terhadap sifat getasnya adalah 0,219 MPa, atau 2% dari kuat tekannya. Nilai ini sesuai dengan saran bahwa kuat tarik dinding bata sebaiknya tidak melebihi 10% kuat tekannya (Klinger, 2010).

**Tabel 3. 1.** Pendekatan Kuat Tarik Dinding Bata

<b>Pendekatan Kuat Tarik Dinding Bata</b>	
Modulus elastisitas proporsional dengan $\sqrt{f_c'}$	
	$E_{Beton} = \beta_c \sqrt{f_c'} \quad E_{Bata} = \beta_b \sqrt{f_b'}$
Kuat tarik proporsional dengan $\sqrt{f_c'}$	
	$f_{tBeton} = \alpha_c \sqrt{f_c'} \quad f_{tBata} = \alpha_b \sqrt{f_b'}$
Bila dibandingkan, rasio antara modulus elastisitas dengan kuat tarik adalah sebagai berikut:	
	$\frac{\beta_c}{\beta_b} = \frac{\alpha_c}{\alpha_b}$
Jika,	$f_c' = f_b'$
	$E_{Beton} = 4700 \sqrt{f_c'}$
Maka diperoleh	$\frac{E_c}{E_b} = \frac{f_{tc}}{f_{tb}} = 0,2$
Dengan demikian, kuat tarik bata senilai dengan 0,2 f <sub>t</sub> beton	
	$f_{tBeton} = 0,33\lambda\sqrt{f_c'}^{(4)}$
	$f_{tBata} = 0,2 (0,33\lambda\sqrt{f_b'})$

<sup>4</sup> Collins, Michael P., Mitchell, Denis. 1991. *Prestressed Concrete Structures*. Prentice Hall, New Jersey.

### 3.1.3. Plester

Plester yang digunakan sebagai metode perbaikan sama dengan plester pada dinding bata, yaitu plester dengan campuran 1:4 dan ketebalan 2,5 cm satu sisi. Plester diasumsikan bersifat getas dan elastis linier. Berikut adalah properti material plester yang digunakan.

- Modulus elastisitas : 5130.58 MPa<sup>(1)</sup>
- *Poisson's ratio* : 0,2
- Massa jenis : 105 kg/m<sup>3(3)</sup>
- Kuat tekan : 17.64 MPa<sup>(1)</sup>
- Kuat tarik : 0.360 MPa

Nilai kuat tarik material plester didapatkan dengan pendekatan yang sama seperti mendapatkan nilai kuat tarik dinding bata, yaitu terhadap sifat getasnya yang sama dengan beton bertulang. Dengan demikian nilai kuat tarik plester yang digunakan ditentukan dengan rumus kuat tarik beton bertulang yang dimodifikasi.

Tabel 3. 2. Pendekatan Kuat Tarik Plester

<b>Pendekatan Kuat Tarik Plester</b>
<p>Pendekatan dilakukan dengan cara yang sama pada pendekatan kuat tarik dinding bata, sehingga didapatkan:</p> $\frac{E_c}{E_p} = \frac{f_{tc}}{f_{tp}} = 0,259$ <p>Dengan demikian, kuat tarik bata senilai dengan 0,259 <math>f_t</math> beton bertulang</p> $f_{t_{Beton}} = 0,33\lambda\sqrt{f_c'}$ $f_{t_{plester}} = 0,259 (0,33\lambda\sqrt{f_b'})$

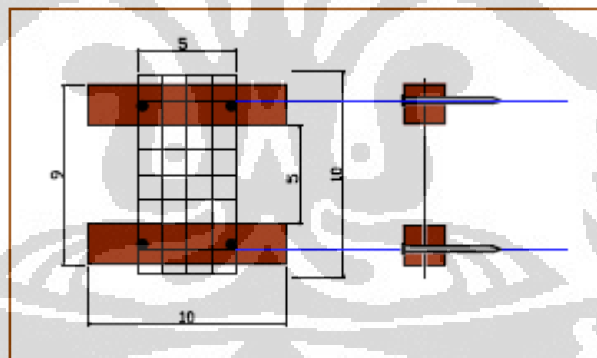
### 3.1.4. Kawat Anyam

Material kawat anyam yang digunakan adalah jenis material kawat anyam yang mudah ditemukan di toko material bangunan. Ukuran grid kawat anyam adalah 1,25 cm x 1,25 cm dengan diameter 0,8 mm.

Kawat pada kawat anyam diasumsikan bersifat daktail seperti baja. Berikut adalah properti material kawat yang digunakan.

- Modulus Elastisitas :  $2 \times 10^5$  MPa
- Poisson's Ratio : 0,3
- Massa Jenis :  $800,38 \text{ kg/m}^3$
- Kuat Leleh :  $664.608 \text{ N}^{(5)}$

Nilai kuat leleh kawat didapatkan dengan pengujian di Laboratorium Bahan Departemen Sipil Universitas Indonesia. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan nilai tegangan putus kawat, kemudian nilai kuat leleh kawat diambil sebesar 70% dari nilai kuat putus kawat.



**Gambar 3. 1.** Gambar Kerja Pengujian Kawat Anyam

<sup>5</sup> Hasil pengujian di Laboratorium Bahan Universitas Indonesia



**Gambar 3. 2.** Pengujian Kawat Anyam



**Gambar 3. 3.** Alat Pengujian Kawat Anyam



**Gambar 3. 4.** Beban Pengujian Kawat Anyam

**Tabel 3. 3.** Tegangan Putus Kawat Anyam Hasil Pengujian

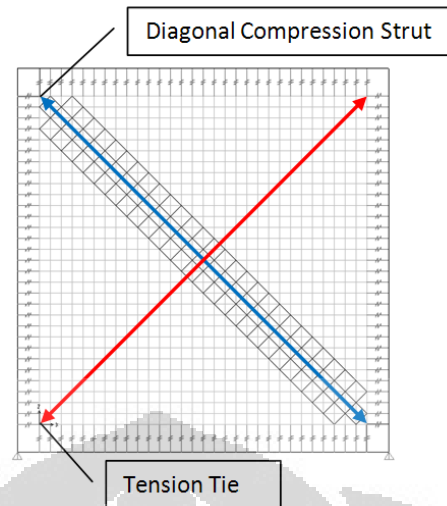
Sampel	P (kg)	P/btg (kg)	Luas kawat (mm <sup>2</sup> )	Tegangan putus (MPa)
1	90	18	0.5024	358.2802548
2	80	16	0.5024	318.4713376
3	100	20	0.5024	398.089172
			Rata-rata	358.2802548

Dengan tegangan putus kawat anyam hasil pengujian didapatkan gaya aksial putus kawat sebesar 949.44 N. Untuk analisis pada batas elastis linier, diasumsikan perilaku kawat linier dan digunakan gaya aksial leleh sebagai kapasitas ijin kawat sebesar 70% dari gaya aksial putus kawat, yaitu 664,608 N.

### 3.2. Pemodelan

Metode pemodelan yang dapat digunakan untuk elemen struktur dinding bata adalah *continuum model* dan *diagonal compression strut*. Metode pemodelan dengan *continuum model* dapat menunjukkan secara detail bagian-bagian dari struktur dinding bata yang dimodelkan, sementara metode pemodelan dengan *diagonal compression strut* hanya menunjukkan dinding bata sebagai batang diagonal tekan. *Continuum model* (metode elemen hingga) mampu menunjukkan hasil yang lebih baik daripada *diagonal compression strut* pada struktur kecil (Dorji, 2009).

Pemodelan dalam penelitian ini menggunakan *continuum model*, untuk menunjukkan secara detail kinerja dinding bata, hingga kinerja metode perbaikan yang digunakan. Hal ini tidak dapat ditangani dengan baik oleh pemodelan menggunakan *diagonal compression strut*, yang hanya mampu menunjukkan kontribusi kuat tekan dinding bata.



**Gambar 3. 5.** Ilustrasi *Continuum Model* Dinding Bata

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model satu panel dinding bata dan model ruko tiga lantai. Sumbu *in-plane* yang digunakan adalah sumbu X (horisontal) dan sumbu Z (vertikal). Selanjutnya model satu panel dinding bata akan disebut model 1B1S, dan model ruko tiga lantai akan disebut model 3B3S.

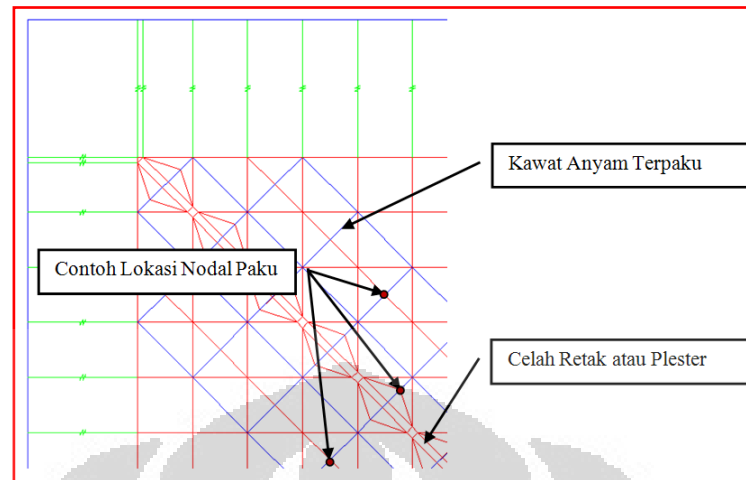
Secara umum elemen yang digunakan mewakili material untuk model 1B1S dan model 3B3S dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.4.

**Tabel 3. 4.** Elemen Yang Digunakan

<b>Material</b>	<b>Elemen</b>
Portal Beton Bertulang	<i>Frame</i>
Dinding Bata	<i>Membrane</i>
Plester	<i>Membrane</i>
Kawat Anyam	<i>Truss</i>

Pada pemodelan dalam penelitian ini, paku dimodelkan sebagai nodal. Kawat anyam terpaku adalah grid kawat anyam yang dibagi-bagi oleh nodal paku sehingga panjang efektif masing-masing kawat menjadi lebih pendek. Dengan adanya nodal sehingga panjang efektif kawat yang pendek, kawat anyam terpaku menjadi lebih kaku daripada kawat anyam (biasa).





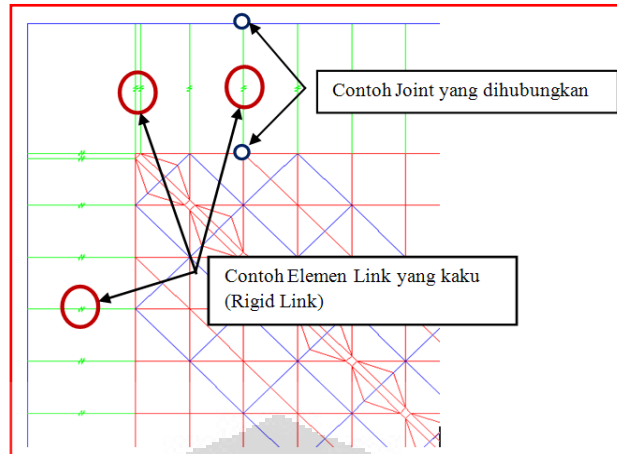
**Gambar 3. 6.** Ilustrasi Celah Retak dan Metode Perbaikan Model

Struktur yang dimodelkan menggunakan *tie beam* pada dasar struktur sehingga perletakan yang digunakan pada model adalah perletakan sendi. Derajat kebebasan pada seluruh *joint* direduksi menjadi perilaku *in-plane* dengan melakukan *constraining* UY, RX, dan RZ. *Constraining* pada derajat kebebasan translasi sumbu Y serta pada rotasi X dan Z menghilangkan perilaku *out-of-plane* model sehingga perilaku yang ada adalah perilaku *in-plane*.

### 3.2.1. Elemen Link

Tipe elemen yang digunakan untuk portal (*frame*) dan dinding (*membrane*) menyebabkan adanya celah diantara keduanya. Celah ini menyebabkan portal dan dinding sama sekali tidak terhubung. Sementara itu tidak ada standar yang mengatur pemodelan hubungan antara portal dan dinding.

Untuk mengatasi permasalahan ini perangkat lunak *SAP2000 v14.1* memberikan rekomendasi penggunaan elemen *link* yang kaku (*rigid link*) sebagai penghubung (*gap element*). Dengan elemen ini translasi dan rotasi antara *joint* pada portal dengan *joint* pada dinding yang dihubungkan akan bernilai dan arahnya sama.



**Gambar 3. 7.** Ilustrasi Elemen Link Yang Kaku (Rigid Link)

Penggunaan elemen *link* sebagai elemen pengisi (*gap element*) antara portal dan dinding sesuai dengan pemodelan yang diusulkan oleh J. Dorji dan D.P. Thambiratnam dalam penelitian “*Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads*” tahun 2009. Namun berbeda dengan penelitian tersebut, dalam penelitian ini elemen *link* yang digunakan sangat kaku. Hal ini disebabkan oleh nilai translasi dan rotasi yang harus sama antara *joint* yang dihubungkan sehingga tidak boleh ada redaman yang disumbangkan oleh elemen link sebagai *gap element*. Dengan demikian analisis juga masih berada pada batas elastis linier.

### 3.2.2. Pemodelan Satu Panel Dinding Bata (1B1S)

Model satu panel dinding bata (model 1B1S) adalah portal bidang satu bentang satu lantai dengan dinding bata berbagai kondisi. Dinding bata yang digunakan pada model ini berukuran  $3 \times 3 \text{ m}^2$  (*aspect ratio* satu banding satu untuk lebar dan tinggi).

Berikut adalah spesifikasi model 1B1S yang digunakan:

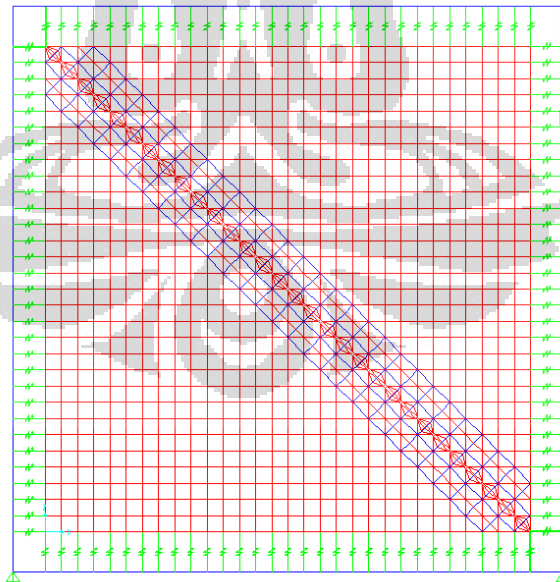
- Ukuran dinding bata : 3 x 3 m<sup>2</sup>
- Mutu beton bertulang : K-300 ( $f_c' = 25 \text{ Mpa}$ )
- Ukuran balok : 500 x 300 mm<sup>2</sup>
- Ukuran kolom : 400 x 400 mm<sup>2</sup>
- Tebal dinding bata : 10 cm

- Tebal plester : 5 cm (dua sisi)
- Diameter kawat : 3,7523 mm
- Lebar celah retak : 14 mm

Daftar model 1B1S yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.5, dan ilustrasi model 1B1S ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Tabel 3. 5. Model 1B1S yang Digunakan

Model 1B1S	Keterangan
1B1S-UTUH	Dinding bata utuh (kondisi awal atau kondisi utuh)
1B1S-RETAK	Dinding bata retak (tidak diperbaiki)
1B1S-PLESTER2	Metode Perbaikan Plester
1B1S-KAWAT2	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam (grid variasi 2)
1B1S-1-0	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku, variasi 1
1B1S-2-0	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku, variasi 2
1B1S-3-0	Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku, variasi 3



Gambar 3. 8. Ilustrasi Model 1B1S

Lebar celah retak model 1B1S adalah 14 mm, berada pada *diagonal compression strut*. Pada model 1B1S dinding bata didiskretisasi menjadi elemen *membrane* persegi berukuran 10 cm x 10 cm. Pada celah retak, *membrane* (dinding bata atau plester) didiskretisasi menjadi elemen-elemen segitiga dan segiempat. Pada daerah sekitar celah retak, elemen *membrane* persegi didiskretisasi agar *joint* yang ada tersambung dengan elemen pada celah retak. Dengan demikian terdapat elemen *membrane* berbentuk trapesium pada daerah sekitar celah retak.

Kawat anyam dimodelkan sebagai elemen rangka silinder pejal dengan diameter ekuivalen. Diameter ekuivalen digunakan sebagai simplifikasi grid kawat anyam agar sesuai dengan *joint* pada elemen dinding bata. Grid kawat anyam berukuran 1,25 cm x 1,25 cm diperbesar dengan diameter ekuivalen mengikuti ukuran diagonal elemen dinding bata, yaitu  $10\sqrt{2}$  cm x  $10\sqrt{2}$  cm atau sebelas kali lipat. Dengan demikian ukuran kawat model 1B1S adalah 11 kali ukuran sebenarnya dikali dua (kawat anyam terdapat pada kedua sisi dinding). Berikut adalah perhitungan diameter ekuivalen untuk kawat anyam.

- Luas penampang kawat sebenarnya

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

- Luas penampang ekuivalen kawat untuk dua sisi

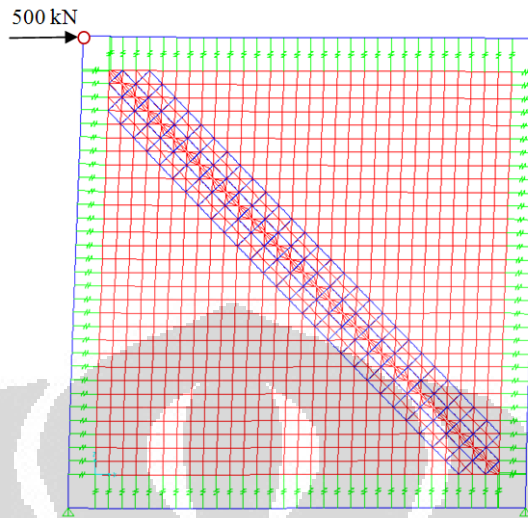
$$A_{ekuivalen} = 2x(11x \frac{1}{4} \pi 0,8^2) = 11,0584 \text{ mm}^2$$

- Diameter ekuivalen kawat

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

Portal pada model 1B1S dihubungkan ke dinding dengan menggunakan elemen *link*. Elemen *link* menghubungkan *joint* pada tepi dinding (terdiskretisasi) ke portal. Dengan demikian elemen *frame* untuk portal didiskretisasi pula sehingga terdapat *joint-joint* yang dihubungkan oleh elemen *link* antara portal dan dinding bata.

### 3.2.3. Pembebanan Model 1B1S



**Gambar 3. 9.** Ilustrasi Beban Lateral *In-Plane* Model 1B1S

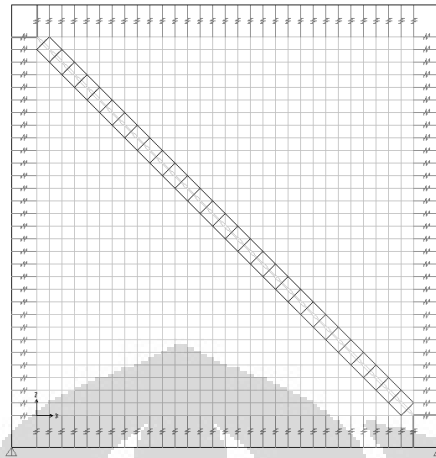
Beban yang diberikan pada model 1B1S adalah beban lateral *in-plane* sebesar 500 kN. Beban terpusat ini diberikan pada ujung atas *diagonal compression strut* model 1B1S atau pada ujung atas celah retak. Beban mati atau berat sendiri model tidak bekerja pada model 1B1S.

### 3.2.4. Variasi Model 1B1S

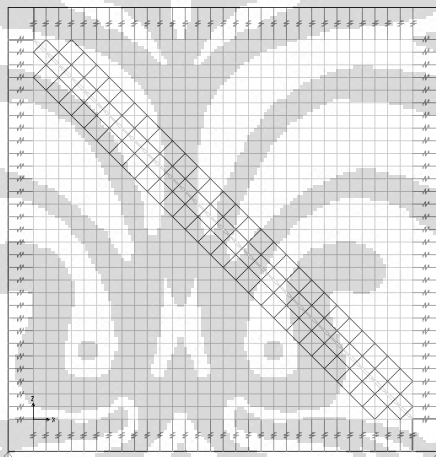
Variasi pada model 1B1S adalah variasi pada kuantitas kawat anyam yang digunakan. Variasi 1 menggunakan 1 grid kawat anyam, variasi 2 menggunakan 3 grid kawat anyam, dan variasi 3 menggunakan 5 grid kawat anyam. Variasi model 1B1S ditunjukkan pada Tabel 3.6 serta Gambar 3.10, Gambar 3.11, dan Gambar 3.12.

**Tabel 3. 6.** Variasi Model 1B1S

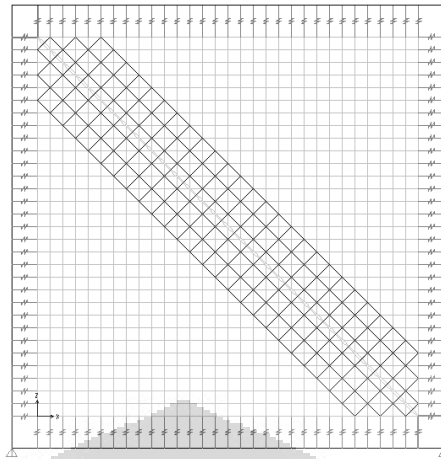
Variasi	Grid	Lebar Kawat (cm)	Model
1	1 grid	14	1B1S-1-0
2	3 grid	42	1B1S-2-0 / 1B1S-KAWAT2
3	5 grid	63	1B1S-3-0



**Gambar 3. 10.** Ilustrasi Model 1B1S-1-0



**Gambar 3. 11.** Ilustrasi Model 1B1S-2-0/1B1S-KAWAT2

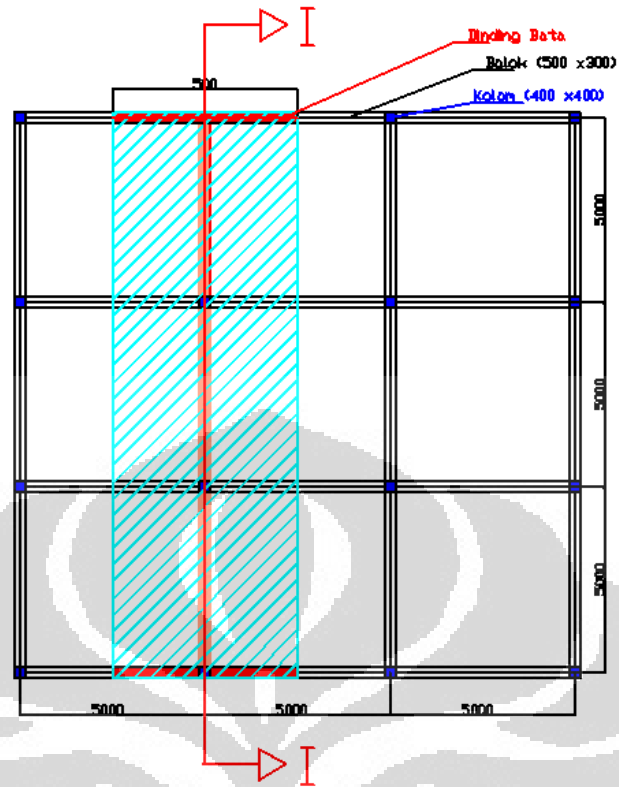


**Gambar 3. 12.** Ilustrasi Model 1B1S-3-0

Sebagai pembandingan untuk analisis model 1B1S, dimodelkan pula model 1B1S retak tanpa perbaikan (1B1S-RETAK), model 1B1S dengan metode perbaikan plester (1B1S-PLESTER2), dan model 1B1S dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam grid variasi 2 (1B1S-KAWAT2).

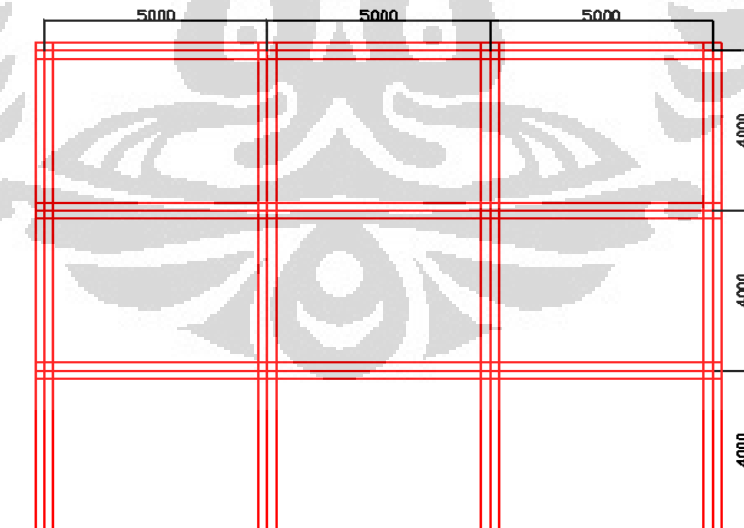
### **3.2.5. Pemodelan Ruko Tiga Lantai (3B3S)**

Model ruko tiga lantai adalah portal bidang tiga bentang tiga lantai dengan dinding bata berbagai kondisi. Portal bidang yang digunakan sebagai model 3B3S adalah portal interior bangunan ruko tiga lantai. Jarak antar as kolom adalah 5 m dan jarak antar as balok adalah 3,5 m. Nilai jarak antar as sebesar ini adalah batas dimana kolom praktis tidak dibutuhkan berdasarkan pengalaman praktis.



01 Tampak Atas Ruko  
SKALA 1 : 100

Gambar 3. 13. Tampak Atas Bangunan Ruko Tiga Lantai



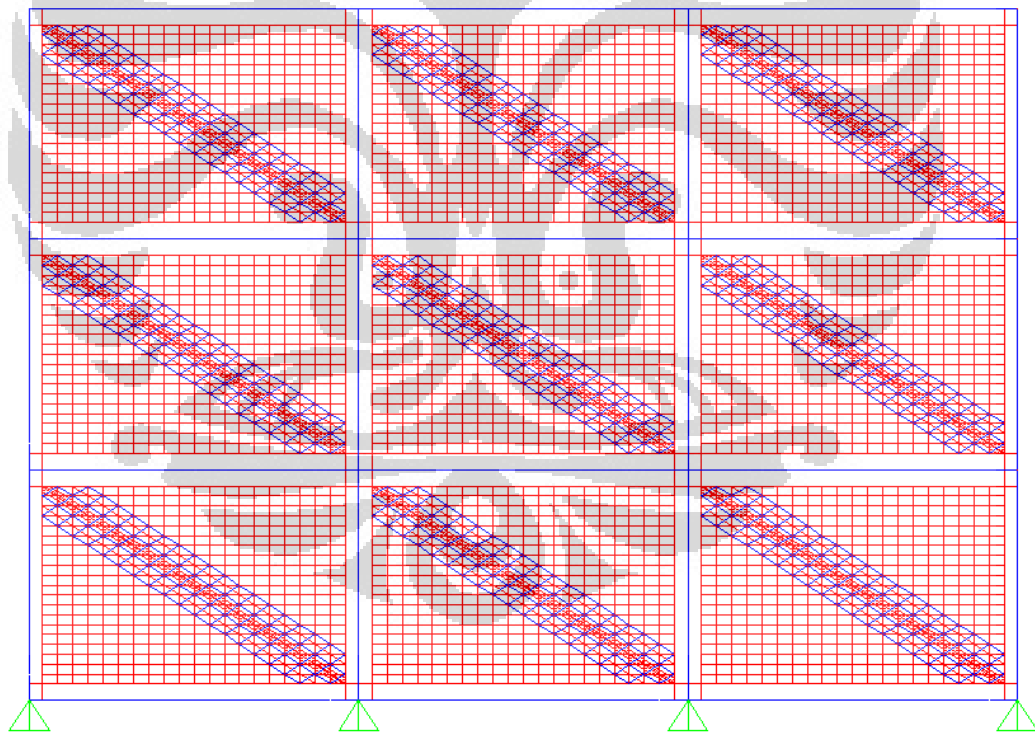
02 Gambar Potongan I-I  
SKALA 1 : 100

Gambar 3. 14. Portal Bidang Model 3B3S



Berikut adalah spesifikasi bangunan ruko tiga lantai yang digunakan:

- Tipe bangunan : Komersial/perniagaan, daerah Jakarta
- Ukuran bangunan : 15 m x 10,5 m
- Ukuran dinding bata : 4,6 x 3 m<sup>2</sup>
- Mutu beton bertulang : K-300 ( $f_c' = 25$  Mpa)
- Ukuran balok : 500 x 300 mm<sup>2</sup>
- Ukuran kolom : 400 x 400 mm<sup>2</sup>
- Tebal dinding bata : 10 cm
- Tebal plester : 5 cm (dua sisi)
- Diameter kawat : 5,31 mm
- Tebal pelat lantai : 12 cm
- Lebar celah retak : 13,73 mm



**Gambar 3. 15.** Ilustrasi Model 3B3S

Lebar celah retak model 3B3S adalah 13,73 mm (berada pada *diagonal compression strut*), disesuaikan dengan diskretisasi pada dinding bata. Konsisten

**Universitas Indonesia**

dengan pemodelan pada model 1B1S, dinding bata (dengan lapisan plester) dimodelkan sebagai elemen *membrane* terdiskretisasi. Pada model 3B3S diskretisasi elemen dinding bata berukuran 23 x 15 cm<sup>2</sup> agar diperoleh jumlah elemen terdiskretisasi pada satu panel sebanyak 900 elemen (konsisten dengan model 1B1S). Diskretisasi pada daerah celah retak juga dilakukan dengan cara yang sama pada model 1B1S.

Pemodelan kawat anyam pada model 3B3S dilakukan dengan cara yang sama pada model 1B1S, dengan diameter ekuivalen kawat yang berbeda. Berikut adalah perhitungan diameter ekuivalen kawat pada model 3B3S. Kawat anyam dengan grid 1,25 x 1,25 cm diperbesar mengikuti ukuran elemen terdiskretisasi dinding bata, menjadi grid berukuran 27,459 cm x 27,459 cm. Dari perbesaran ini didapatkan grid kawat anyam sebesar 22 kali ukuran sebenarnya. Dengan demikian diameter ekuivalen kawat pada model 3B3S adalah 22 kali ukuran awal dikali 2 (kawat anyam terdapat pada kedua sisi dinding). Berikut adalah perhitungan diameter ekuivalen kawat untuk model 3B3S.

- Luas Penampang kawat sebenarnya

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

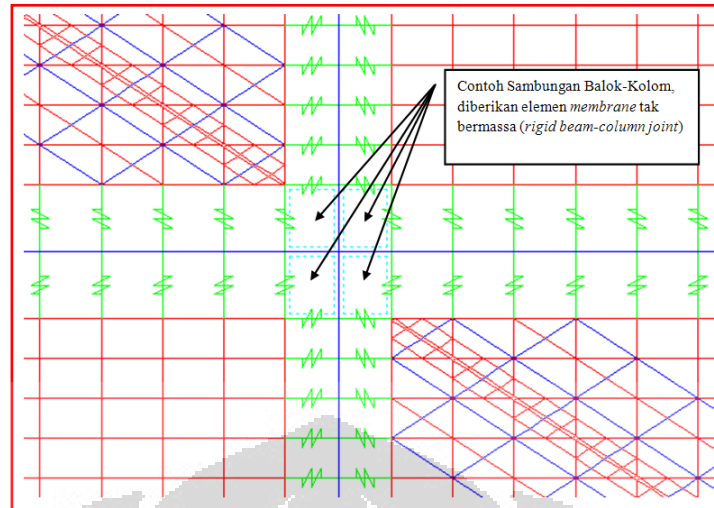
- Luas Penampang Ekuivalen kawat dua sisi

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

- Diameter Ekuivalen Kawat

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

Portal dihubungkan ke dinding bata menggunakan elemen *link* dengan cara yang sama dengan model 1B1S. Demikian pula pada *tie beam* pada dasar portal (digunakan perletakan sendi). Pada daerah sambungan kaku balok dan kolom (*rigid beam-column joint*) digunakan elemen *membrane* tak bermassa (*massless*, tidak menyumbangkan kekakuan).



Gambar 3. 16. Ilustrasi Sambungan Kaku Balok Dan Kolom Model 3B3S

### 3.2.6. Pembebanan Model 3B3S

Beban pada model 3B3S (portal bidang) terdiri atas beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan beban gempa (*quake load*) statik ekuivalen. Beban yang bekerja model 3B3S berdasarkan pada beban yang bekerja pada bangunan ruko tiga lantai yang ditinjau. Berikut adalah beban yang dikenakan pada bangunan ruko tiga lantai sesuai dengan SKBI-1.3.53.1987 tentang Pedoman Perancangan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung.

- Beban mati
 

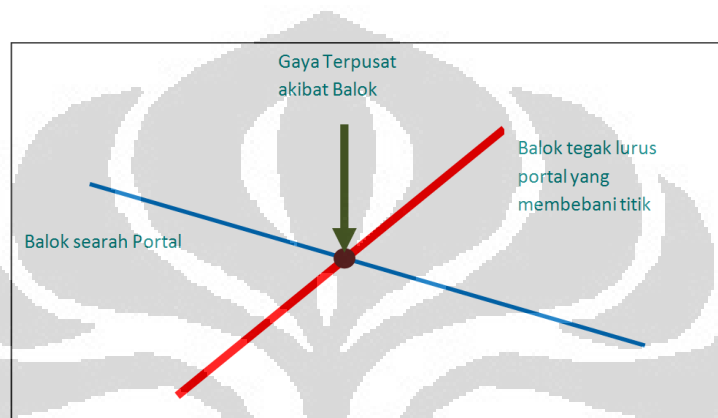
Dinding bata	: 250 kg./m <sup>2</sup>
Beton bertulang	: 24 kN/m <sup>2</sup>
Lantai	: 2,88 kN/m <sup>2</sup>
Screed + Finishing	: 1,1 kN/m <sup>2</sup>
Screed + Waterproofing	: 1,5 kN/m <sup>2</sup>
Plafond + Elektrikal	: 0,15 kN/m <sup>2</sup>
- Beban hidup
 

Lantai	: 250 kg/m <sup>2</sup>
Atap	: 100 kg/m <sup>2</sup>
- Beban gempa statik ekuivalen

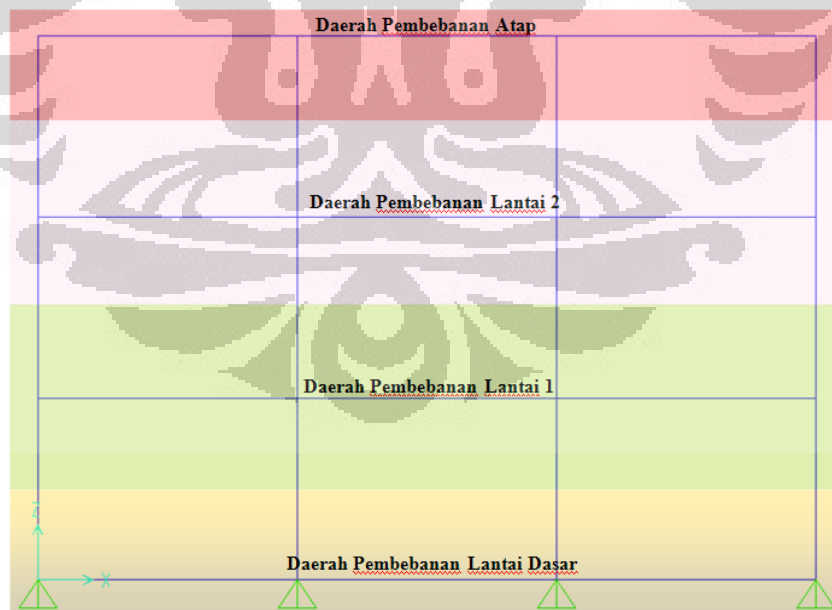
Beban gempa statik ekuivalen dikenakan pada bangunan sesuai dengan SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa

Untuk Bangunan Gedung. Wilayah gempa yang digunakan adalah wilayah gempa 3 (daerah Jakarta).

Beban yang dikenakan pada portal model 3B3S berasal dari portal tersebut dan pengaruh portal yang berada pada arah ortogonal portal model 3B3S (menjadi beban terpusat pada pertemuan antar portal). Beban per lantai pada portal model 3B3S berasal dari setengah atas dan setengah bawah lantai (balok) yang dibebani.



**Gambar 3. 17.** Ilustrasi Beban Akibat Pengaruh Portal Arah Ortogonal Model 3B3S



**Gambar 3. 18.** Ilustrasi Pembebanan Per Lantai Model 3B3S

Secara umum pembebanan pada model 3B3S terbagi atas pembebanan untuk portal tanpa dinding bata dan pembebanan dengan dinding bata. Pada Tabel 3.7 ditunjukkan pembebanan (beban hidup dan beban mati) yang dikenakan pada model 3B3S.

**Tabel 3. 7.** Pembebanan Model 3B3S

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

Catatan: Terdapat bukaan pada dasar portal (arah ortogonal)

Beban gempa yang diberikan pada model 3B3S adalah beban gempa statik ekuivalen sesuai dengan SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. Beban gempa diberikan dalam beban geser dasar ( $V$ ) yang dirumuskan:

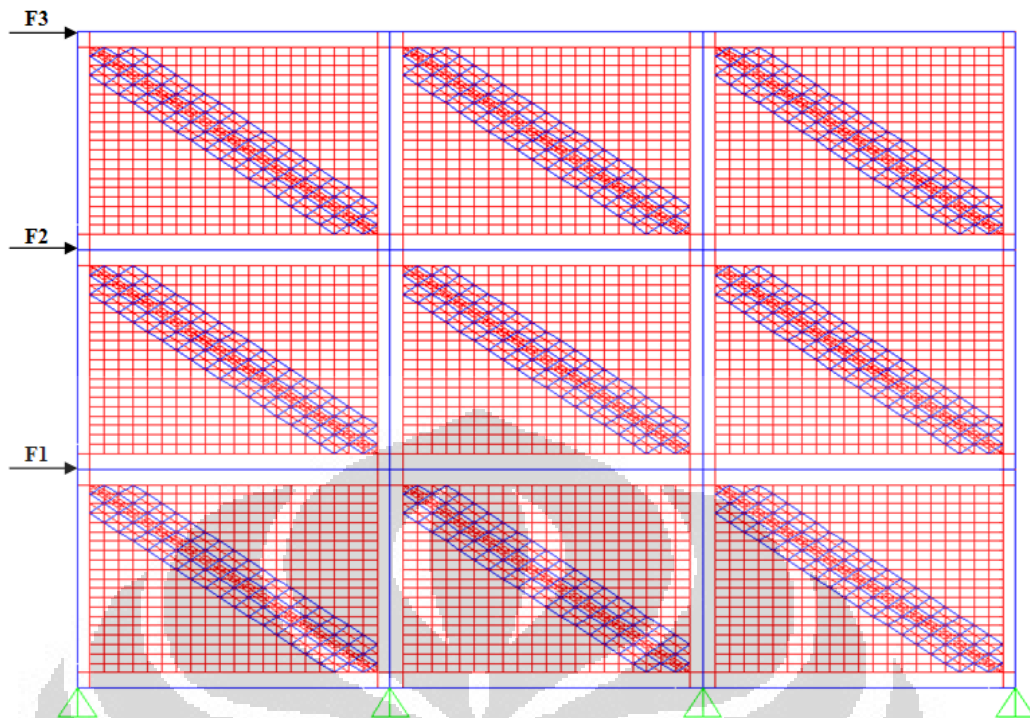
$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.1)$$

dimana:

$V$  = Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental (periode getar alami moda pertama,  $T_1$ ) struktur gedung beraturan tersebut.

- $C_1$  = Nilai Faktor Respons Gempa dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental (periode getar alami moda pertama,  $T_1$ ) struktur gedung.
- $I$  = Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan penyesuaian umur gedung itu.
- $R$  = Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung tersebut.
- $W_t$  = Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.

Ruko yang dianalisis dalam penelitian ini adalah ruko tiga lantai yang berada pada daerah Jakarta. Dengan demikian ditetapkan nilai  $I$  sebesar 1 (bangunan perniagaan) dan  $R$  sebesar 5,5 (sistem pemikul momen khusus). Nilai  $C_1$  didapatkan dengan spektrum wilayah gempa 3 (daerah Jakarta, percepatan tanah 0,15g) menggunakan jenis tanah lunak dan periode getar alami moda pertama.



**Gambar 3. 19.** Ilustrasi Beban Gempa Statik Ekuivalen Model 3B3S

Beban gempa dasar ( $V$ ) yang didapatkan kemudian didistribusikan sebagai beban lateral terpusat atau beban gempa nominal statik ekuivalen pada setiap lantai ( $F_i$ ). Sesuai SNI-03-1726-2002, beban  $F_i$  dirumuskan dengan:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (3.2)$$

dimana:

$F_i$  = Beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat ke- $i$  struktur atas gedung.

$W_i$  = Berat lantai tingkat ke- $i$ .

$Z_i$  = Ketinggian lantai tingkat ke- $i$  diukur dari taraf penjepitan lateral.

$n$  = Nomor lantai tingkat paling atas.

### 3.2.7. Variasi Model 3B3S

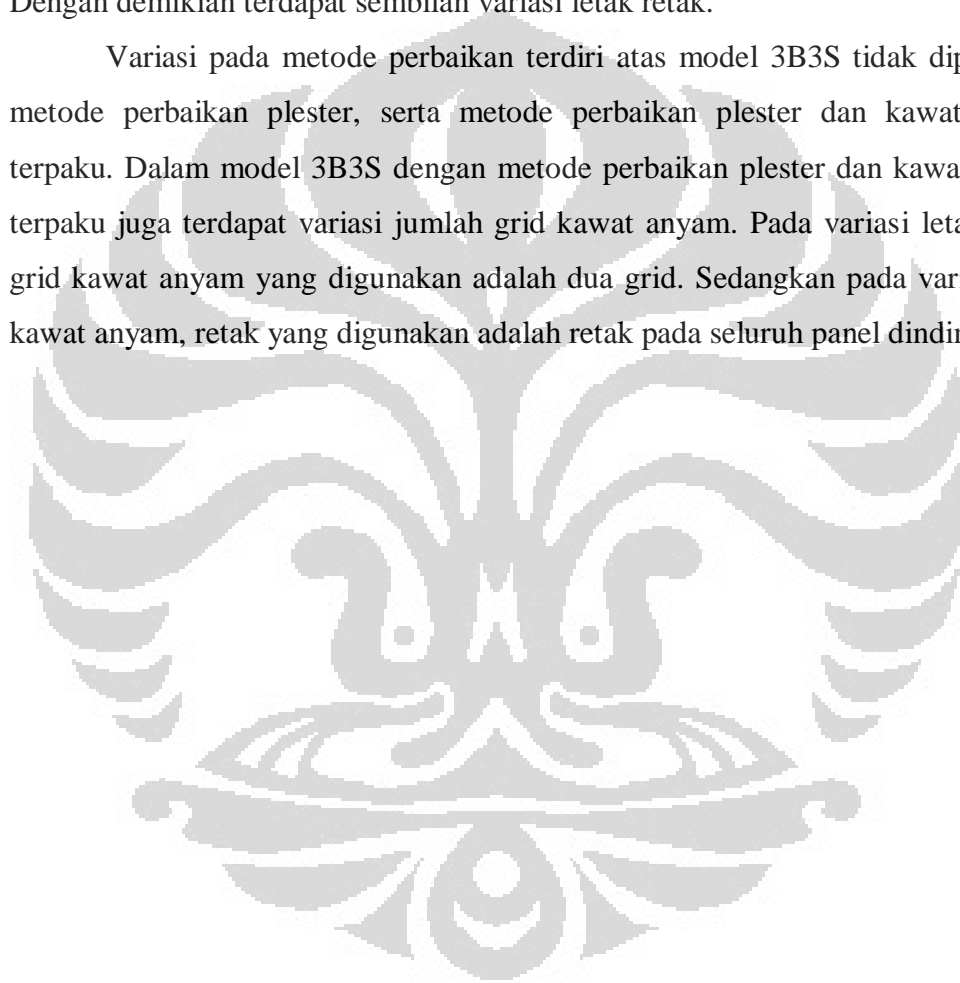
Model awal pada model 3B3S terdiri atas model 3B3S tanpa dinding bata (hanya sebagai beban, 3B3S-TANPADINDING), model 3B3S utuh (panel

**Universitas Indonesia**

dinding bata ikut dimodelkan, 3B3S-UTUH), dan model 3B3S retak pada seluruh panel dinding bata (3B3S-RETAK). Variasi pada model 3B3S adalah variasi pada letak retak dan variasi pada metode perbaikan yang digunakan. Terdapat sembilan variasi letak retak dan tiga variasi metode perbaikan.

Variasi pada letak retak dilakukan dengan kombinasi terhadap tiga bentang dan tiga lantai model 3B3S. Pada variasi letak bentang retak, terjadi pada seluruh lantai. Pada variasi pada letak lantai retak, terjadi pada seluruh bentang. Dengan demikian terdapat sembilan variasi letak retak.

Variasi pada metode perbaikan terdiri atas model 3B3S tidak diperbaiki, metode perbaikan plester, serta metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku. Dalam model 3B3S dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku juga terdapat variasi jumlah grid kawat anyam. Pada variasi letak retak, grid kawat anyam yang digunakan adalah dua grid. Sedangkan pada variasi grid kawat anyam, retak yang digunakan adalah retak pada seluruh panel dinding bata.





Tabel 3. 8. Variasi Model 3B3S

Model	Letak Retak						Grid Kawat Anyam		
	Bentang			Lantai			1 grid	2 grid	3 grid
	B1	B2	B3	S1	S2	S3			
3B3S-TANPADINDING	√			√	√	√		√	
3B3S-UTUH		√		√	√	√		√	
3B3S-RETAK			√	√	√	√		√	
3B3S-1-B1-S123-V2	√	√		√	√	√		√	
3B3S-2-B2-S123-V2	√	√	√	√				√	
3B3S-3-B3-S123-V2	√	√	√		√			√	
3B3S-4-B12-S123-V2	√	√	√			√		√	
3B3S-5-B123-S1-V2	√	√	√	√	√			√	
3B3S-6-B123-S2-V2	√	√	√	√	√	√		√	
3B3S-7-B123-S3-V2	√	√	√	√	√	√	√		
3B3S-8-B123-S12-V2	√	√	√	√	√	√			√

### 3.3. Prosedur Analisis

Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*. Analisis yang dilakukan dibatasi pada analisis elastis linier. Analisis pada model 1B1S terfokus pada kinerja kekuatan metode perbaikan, sementara analisis pada model 3B3S terfokus pada kekakuan struktur yang diperbaiki dan kinerja kekuatan pada daerah retak saat dikenai beban gempa statik ekuivalen.

Parameter analisis pada penelitian ini adalah kekuatan ijin material yang digunakan. Parameter analisis didapatkan sesuai dengan properti material yang telah ditetapkan.

Tabel 3. 9. Parameter Analisis

Elemen	Parameter Analisis	Ijin	Satuan
Dinding Bata	Tegangan Utama Tarik	0,219394	MPa
	Tegangan Utama Tekan	-11,05	MPa
Plester	Tegangan Utama Tarik	0,36	MPa
	Tegangan Utama Tekan	-17,64	MPa
Kawat Anyam Terpaku	Gaya Aksial	949,44	N

Dari analisis terhadap hasil keluaran, dibuat kesimpulan-kesimpulan lokal yang kemudian disintesis menjadi kesimpulan global dari penelitian ini.

### 3.3.1. Prosedur Analisis Model 1B1S

Model satu panel dinding bata digunakan untuk mempelajari efek metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku terhadap kekuatan dinding bata. Analisis model 1B1S dilakukan pada kekuatan dinding bata, kekuatan plester, dan kekuatan kawat akibat beban lateral *in-plane* yang diberikan. Selain itu efek separasi antara portal dan dinding bata (pelepasan elemen link) turut dianalisis.



Gambar 3. 20. Prosedur Analisis Model 1B1S

Setelah tahapan definisi material dan pemodelan beserta pembebanan model 1B1S, dilakukan analisis dengan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*. Hasil

keluaran yang digunakan adalah tegangan utama yang terjadi pada dinding bata dan plester (tegangan utama tarik dan tegangan utama tekan) serta gaya aksial yang terjadi pada kawat.

Analisis pertama dilakukan terhadap P-Fail pada elemen acuan model 1B1S. Dengan menggunakan hasil keluaran tegangan utama dan gaya aksial, dilakukan evaluasi parameter analisis dan didapatkan kapasitas kinerja kekuatan yang didefinisikan sebagai P-Fail. P-Fail digunakan untuk melihat perbandingan kinerja kekuatan setiap elemen pada setiap model 1B1S sesuai dengan keluaran yang digunakan (menggunakan elemen acuan). Dari analisis ini dapat dilihat pengaruh kondisi dinding bata dan metode perbaikan yang digunakan pada masing-masing model 1B1S terhadap kinerja kekuatan masing-masing elemen model 1B1S.

Analisis kedua dilakukan terhadap efek separasi antara portal dan dinding bata. Separasi dimodelkan dengan menghapus elemen link pada ujung-ujung *tension tie* model 1B1S (*un-link*). *Un-link* dilakukan sebanyak lima kali, dan analisis dilakukan setiap satu kali *un-link*. Model yang digunakan adalah model 1B1S-2, dan hasil keluaran yang digunakan adalah tegangan utama (tarik dan tekan) maksimum dinding bata.

Analisis efek separasi antara portal dan dinding bata dilakukan dengan melihat lokasi tegangan utama (tarik dan tekan) maksimum dinding bata setiap kali dilakukan *un-link*. Dari analisis ini dapat dilihat pengaruh efek separasi antara portal dan dinding bata terhadap kinerja kekuatan dinding bata.

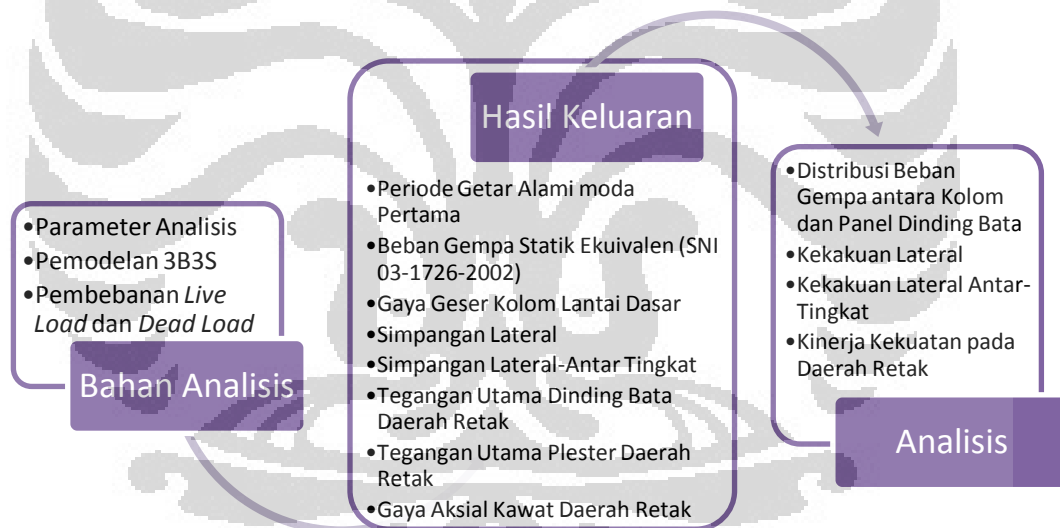
### 3.3.2. Prosedur Analisis Model 3B3S

Model bangunan ruko tiga lantai digunakan untuk mempelajari efek metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku terhadap kekakuan dan kekuatan bangunan. Secara umum analisis pada model 3B3S dilakukan terhadap:

1. Portal model 3B3S dengan dinding bata sebagai non struktural (hanya sebagai beban). Model ini hanya terdiri dari elemen portal (balok dan kolom)

2. Portal model 3B3S dengan dinding bata sebagai elemen struktural (ikut dimodelkan dan bekerja menahan beban) dengan variasi pada letak retak, meliputi:
  - a. Portal model 3B3S retak tanpa metode perbaikan
  - b. Portal model 3B3S retak dengan metode perbaikan plester
  - c. Portal model 3B3S retak dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku

Analisis model 3B3S dilakukan pada distribusi beban gempa antara kolom dan panel dinding bata, kekakuan lateral model 3B3S, kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S, dan kinerja kekuatan pada daerah retak (dinding bata, plester, dan kawat).



Gambar 3. 21. Prosedur Analisis Model 3B3S

Setelah tahapan definisi material dan pemodelan, diberikan pembebanan berupa beban hidup dan beban mati terhadap model 3B3S. Kemudian dilakukan analisis modal dengan perangkat lunak *SAP2000 v14.1* untuk mendapatkan karakteristik dinamik setiap model 3B3S.

Karakteristik dinamik model 3B3S digunakan untuk mendapatkan periode getar alami moda pertama setiap model 3B3S ( $T_1$ ).  $T_1$  kemudian digunakan untuk menentukan nilai  $C_1$  sehingga beban geser dasar ( $V$ ) didapatkan untuk setiap model 3B3S.

$T_1$  pada setiap model 3B3S dianalisis untuk melihat karakteristik dinamik model akibat kondisi yang diberikan, dan  $V$  pada setiap model 3B3S dianalisis untuk melihat efek kondisi panel dinding bata terhadap beban geser dasar yang diterima. Analisis dilakukan dengan melihat keluaran pada seluruh model 3B3S dan keluaran pada variasi retak seluruh panel dinding bata.

Dengan menggunakan beban geser dasar ( $V$ ) didapatkan beban gempa nominal statik ekuivalen untuk setiap lantai model 3B3S ( $F_i$ ). Beban  $F_i$  tersebut adalah beban gempa statik ekuivalen yang dikenakan kepada struktur model 3B3S sesuai SNI 03-1726-2002 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung.

Dengan menggunakan beban gempa statik ekuivalen  $F_i$ , dilakukan analisis dengan bantuan perangkat lunak *SAP2000 v14.1* (beban hidup dan beban mati tidak ditinjau lagi). Hasil analisis yang menunjukkan perilaku lateral model 3B3S akibat beban  $F_i$  digunakan untuk mempelajari kekakuan dan kekuatan model 3B3S.

Analisis pertama dilakukan terhadap distribusi beban gempa antara kolom dan panel dinding bata. Hasil keluaran yang ditinjau adalah gaya geser pada keempat kolom lantai dasar, persentase beban gempa yang dipikul oleh kolom, dan persentase beban gempa yang dipikul oleh panel dinding bata. Dengan demikian dapat dilihat pengaruh kondisi panel dinding bata pada setiap model 3B3S terhadap beban geser dasar yang harus dipikul oleh kolom.

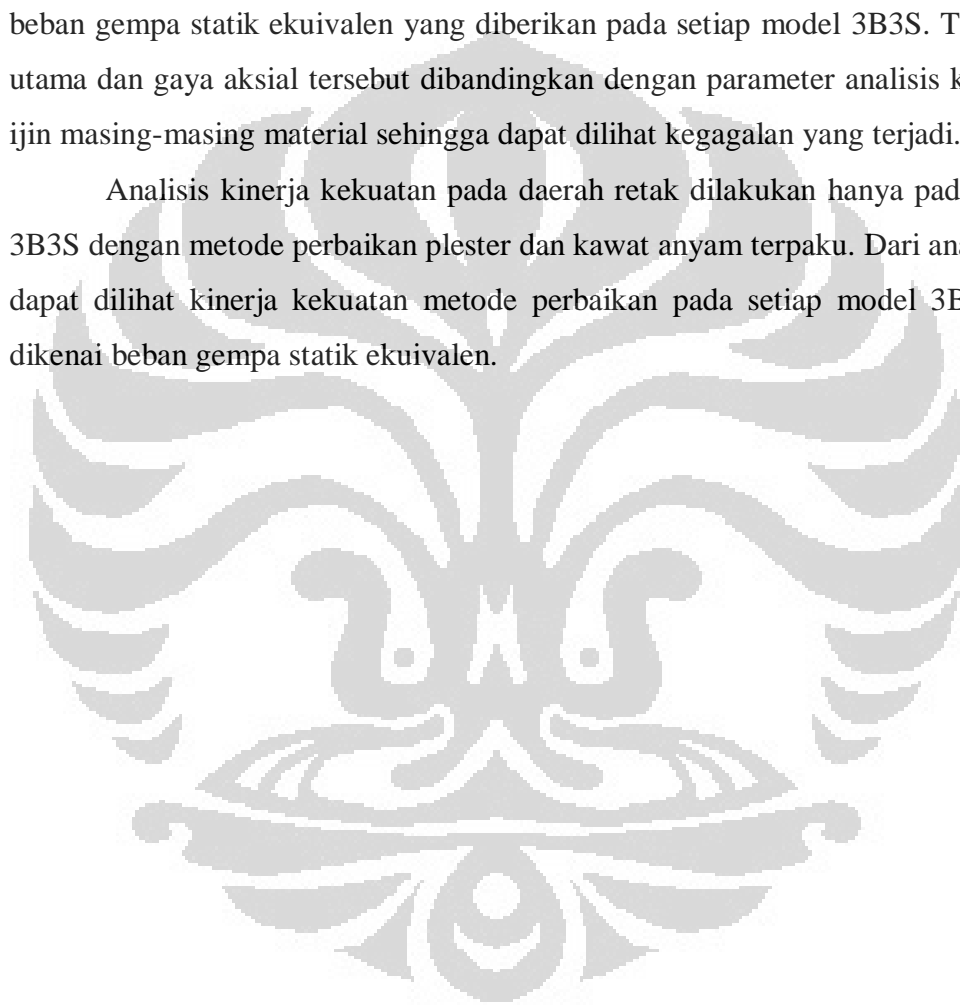
Analisis kedua dilakukan terhadap simpangan dan kekakuan lateral. Hasil keluaran simpangan lateral digunakan untuk mendapatkan kekakuan lateral model 3B3S dengan rumus kekakuan statik struktur. Setelah itu kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S dianalisis.

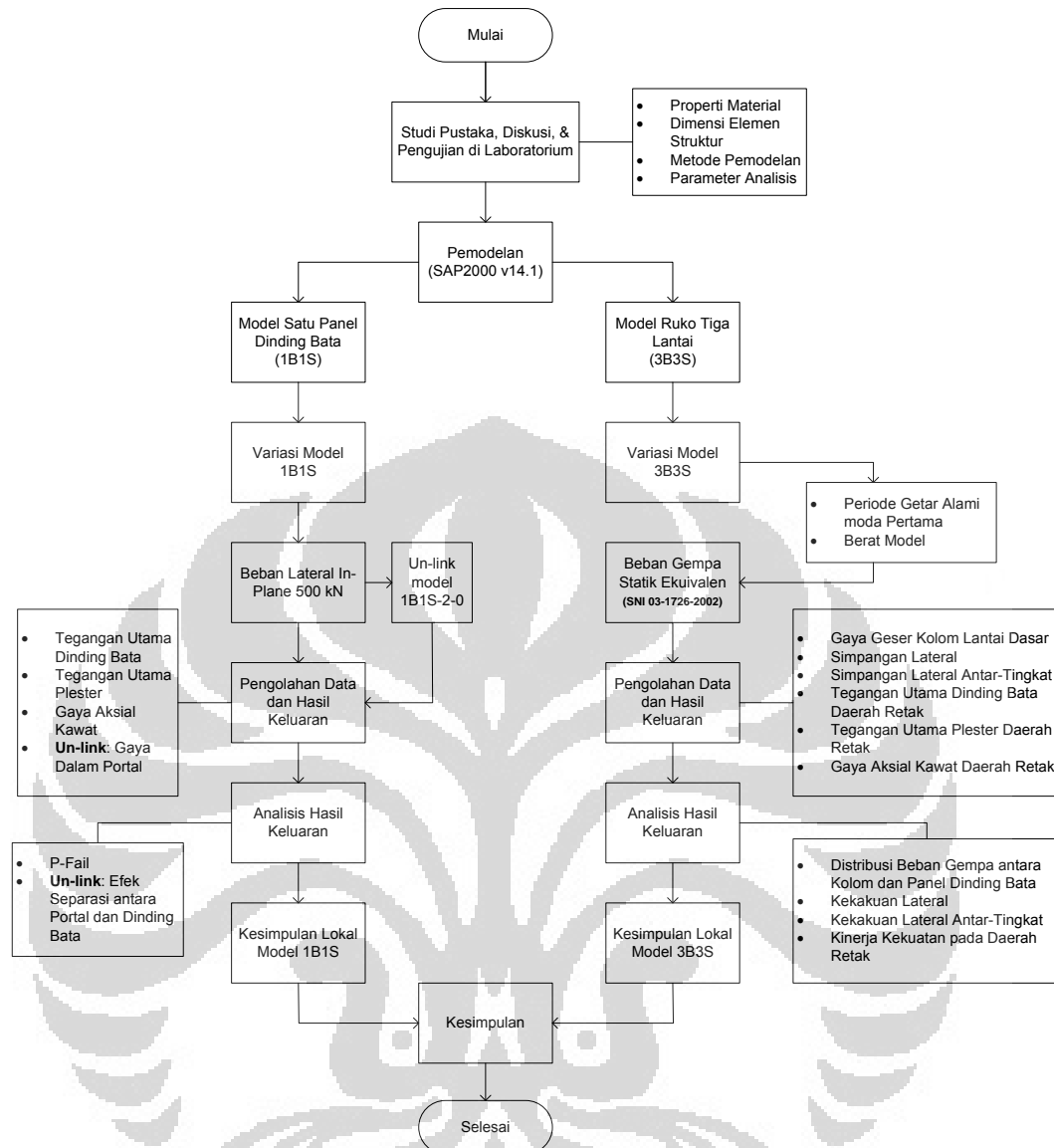
Analisis kekakuan lateral dan kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S dilakukan dengan meninjau hasil keluaran pada seluruh model dan keluaran pada variasi retak seluruh panel dinding bata. Pada analisis kekakuan lateral antar-

tingkat metode perbaikan plester tidak ditinjau. Dari analisis ini dapat dilihat pengaruh kondisi panel dinding bata pada setiap model 3B3S terhadap kekakuan lateral model.

Analisis ketiga dilakukan terhadap kinerja kekuatan pada daerah retak. Daerah retak yang diambil adalah celah retak dan daerah dinding bata yang dilingkupi oleh satu grid kawat anyam. Analisis dilakukan dengan meninjau tegangan utama pada dinding bata dan plester serta gaya aksial pada kawat akibat beban gempa statik ekuivalen yang diberikan pada setiap model 3B3S. Tegangan utama dan gaya aksial tersebut dibandingkan dengan parameter analisis kekuatan ijin masing-masing material sehingga dapat dilihat kegagalan yang terjadi.

Analisis kinerja kekuatan pada daerah retak dilakukan hanya pada model 3B3S dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku. Dari analisis ini dapat dilihat kinerja kekuatan metode perbaikan pada setiap model 3B3S saat dikenai beban gempa statik ekuivalen.





**Gambar 3. 22. Bagan Alur Metodologi Penelitian**

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISIS

#### 4.1. Analisis Model Satu Bentang Satu Lantai

Model satu bentang satu lantai (1B1S) adalah portal dengan dinding bata  $3000 \times 3000 \text{ mm}^2$  yang diberikan beban titik *in-plane* sebesar 500 kN pada ujung atas *diagonal compression strut* (diagonal tekan) dinding bata. Analisis terhadap model 1B1S dilakukan dengan evaluasi parameter analisis menggunakan elemen acuan masing-masing untuk dinding bata, plester, dan kawat anyam. Elemen acuan ini ditentukan dengan meninjau:

- Lokasi tegangan utama tarik dan tegangan utama tekan maksimum elemen dinding bata pada model 1B1S-UTUH,
- Lokasi tegangan utama tarik dan tegangan utama tekan maksimum elemen plester pada model 1B1S-PLESTER2, dan
- Lokasi gaya aksial maksimum kawat anyam pada model 1B1S-KAWAT2.

Tegangan utama dinding bata atau plester serta gaya aksial kawat anyam yang terjadi pada model 1B1S didapatkan melalui analisis statik elastik linier menggunakan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*.

**Tabel 4. 1.** Tegangan Utama atau Gaya Aksial Elemen Acuan Model 1B1S

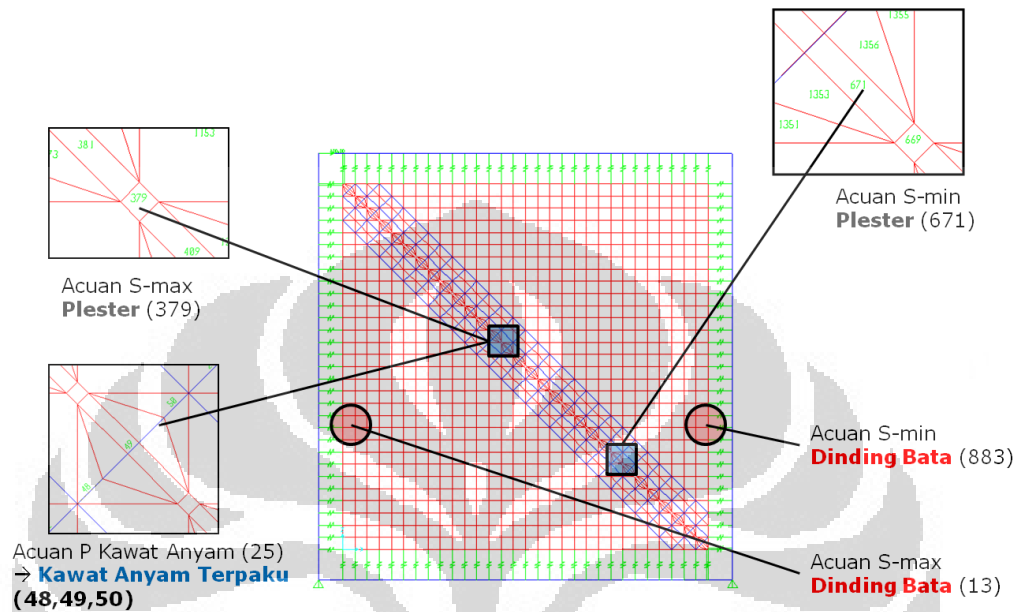
Elemen	Parameter Analisis	Nomor Elemen Acuan	$\sigma$	Satuan
Dinding Bata	Tegangan Utama Tarik	13	1.241	MPa
	Tegangan Utama Tekan	883	-1.321	MPa
Plester	Tegangan Utama Tarik	379	2.730	MPa
	Tegangan Utama Tekan	671	-1.382	MPa
Kawat Anyam	Gaya Aksial	25	1174.54	N

Penambahan paku menyebabkan satu elemen acuan kawat anyam dari model 1B1S-KAWAT2 (elemen 25) menjadi tiga elemen acuan pada model 1B1S-1/2/3 (elemen 48, 49, dan 50).

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan lokasi elemen acuan tarik dinding bata berada pada daerah *tension tie* (diagonal tarik) sementara elemen acuan tekan dinding bata berada pada daerah *diagonal compression strut* (diagonal tekan).



Elemen acuan tarik plester dan elemen acuan aksial kawat anyam sangat berdekatan, sementara elemen acuan tekan plester ditunjukkan berada pada daerah *diagonal compression strut* dekat dengan elemen acuan tekan dinding bata.



Gambar 4. 1. Lokasi Elemen Acuan Model 1B1S

#### 4.1.1. P-Fail pada Elemen Acuan

Analisis pada elemen acuan dilakukan untuk melihat efek perbaikan terhadap kinerja kekuatan masing-masing elemen model 1B1S. Kapasitas kinerja ini didefinisikan sebagai P-Fail, menggambarkan besar beban *in-plane* yang dapat diberikan hingga terjadi kegagalan pada elemen acuan. P-Fail didapatkan dengan mengalikan beban *in-plane* yang diberikan dengan rasio tegangan utama atau gaya aksial ijin (Tabel 3.9) terhadap tegangan utama atau gaya aksial yang terjadi pada elemen acuan. P-Fail dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{Fail} = Px \frac{\bar{\sigma}}{\sigma} \quad (4.1)$$

dimana:

- P = Beban titik *in-plane* yang diberikan, sebesar 500 kN
- $\bar{\sigma}$  = Tegangan utama elemen atau gaya aksial ijin elemen acuan
- $\sigma$  = Tegangan utama atau gaya aksial yang terjadi pada elemen acuan

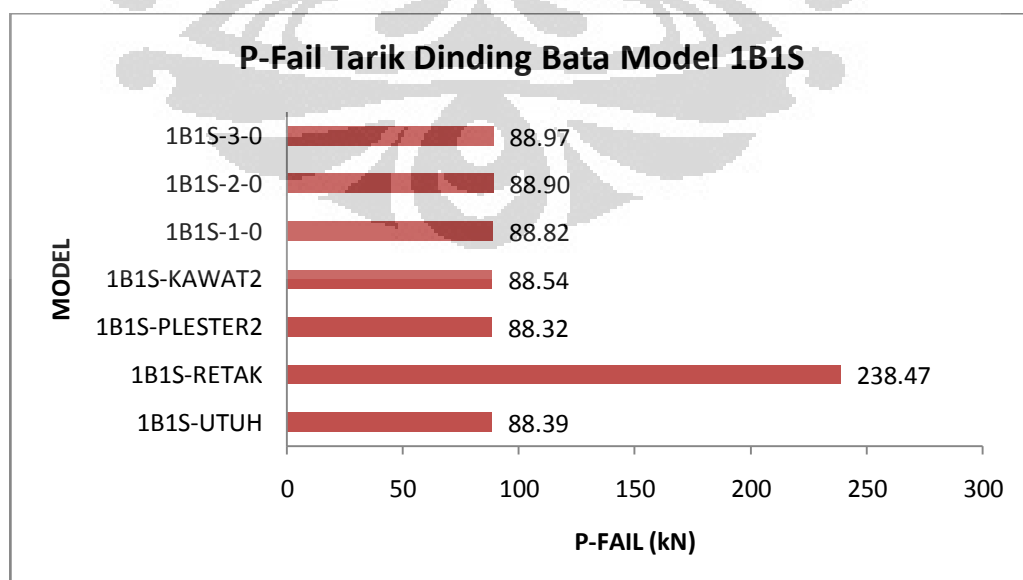
Dengan demikian P-Fail berbanding terbalik dengan tegangan utama atau gaya aksial yang terjadi pada elemen acuan. Penurunan tegangan utama atau gaya aksial yang terjadi pada elemen acuan menyebabkan terjadinya kenaikan P-Fail.

#### 4.1.1.1. P-Fail Tarik Elemen Dinding Bata

Tabel 4.2 dan Gambar 4.2 merangkum tegangan yang terjadi pada elemen acuan tarik dinding bata (elemen 13), P-Fail tarik dinding bata, hingga perbandingan P-Fail tarik dinding bata antar model 1B1S akibat pembebanan yang diberikan.

**Tabel 4. 2.** P-Fail Tarik Dinding Bata Model 1B1S

DINDING BATA					
13	MODEL	TARIK			
		$\sigma$ (MPa)	P-FAIL (kN)	$\Delta$ (kN)	%
1	1B1S-UTUH	1.241	88.3941		
2	1B1S-RETAK	0.46	238.4719	150.0778	269.78%
3	1B1S-PELESTER2	1.242	88.3200	-0.0741	99.92%
4	1B1S-KAWAT2	1.239	88.5367	0.1426	100.16%
5	1B1S-1-0	1.235	88.82348	0.4294	100.49%
6	1B1S-2-0	1.234	88.89546	0.5014	100.57%
7	1B1S-3-0	1.233	88.96756	0.5735	100.65%



**Gambar 4. 2.** Grafik P-Fail Tarik Dinding Bata Model 1B1S

Dari hasil yang didapatkan, ditunjukkan bahwa P-Fail tarik elemen 13 naik pada kondisi dinding bata retak (model 1B1S-RETAK) menjadi 269,78% dibandingkan dengan kondisi utuh (model 1B1S-UTUH). Retak akibat kegagalan tarik pada model 1B1S-RETAK menghilangkan peran *tension tie* dinding bata dalam menahan beban titik *in-plane* yang diberikan. Dengan demikian tegangan utama tarik elemen 13 menurun (P-Fail tarik meningkat), karena perannya sebagai bagian dari *tension tie* menahan tegangan utama tarik hilang akibat retak.

Perbaikan yang diberikan pada model 1B1S ditunjukkan mengembalikan peran *tension tie* dan meningkatkan tegangan utama tarik elemen 13, sehingga P-Fail tarik dinding bata yang diperbaiki kembali mendekati kondisi utuh (model 1B1S-UTUH). Metode perbaikan plester (1B1S-PLESTER2) menghasilkan P-Fail tarik dinding bata 99,92% dibandingkan 1B1S-UTUH, sementara metode perbaikan plester dan kawat anyam (1B1S-KAWAT2) menghasilkan P-Fail tarik dinding bata 100,16% dibandingkan 1B1S-UTUH. Penambahan kawat anyam menambah efektivitas perbaikan dalam mengembalikan kinerja tarik dinding bata.

Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku mengembalikan P-Fail tarik dinding bata menjadi 100,49% - 100,65% dibandingkan 1B1S-UTUH seiring dengan penambahan grid kawat anyam terpaku yang digunakan. Model 1B1S-1-0 menghasilkan 100,49% P-Fail tarik dinding bata, model 1B1S-2-0 menghasilkan 100,57% P-Fail tarik dinding bata, dan model 1B1S-3-0 menghasilkan 100,65% P-Fail tarik dinding bata. Dengan dengan jumlah grid kawat anyam yang lebih sedikit, model 1B1S-1-0 menghasilkan P-Fail tarik dinding bata lebih tinggi daripada 1B1S-KAWAT2.

Dengan demikian metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku efektif dalam mengembalikan kinerja tarik dinding bata, lebih baik daripada metode perbaikan plester atau metode perbaikan plester dan kawat anyam.

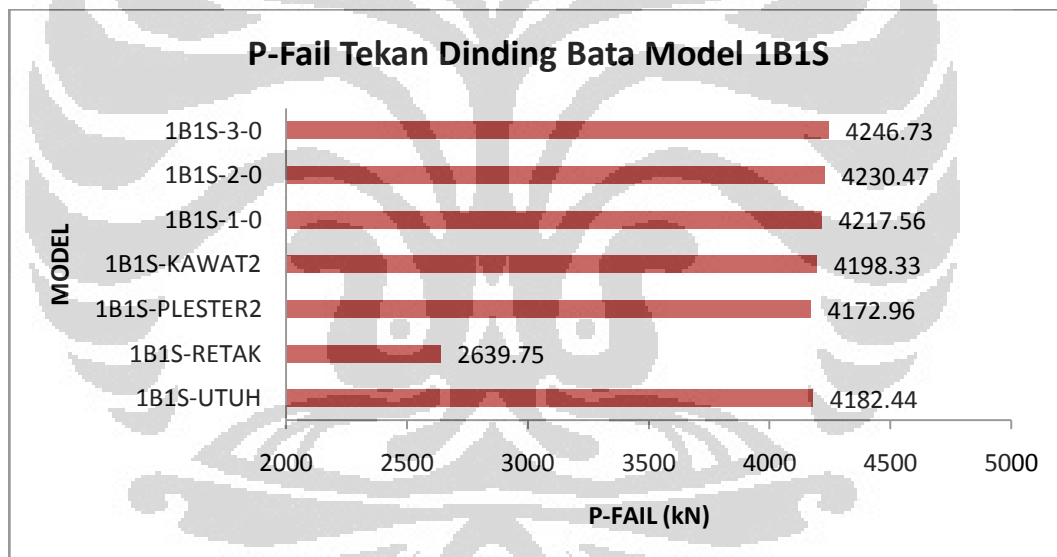
#### **4.1.1.2. P-Fail Tekan Elemen Dinding Bata**

Tabel 4.3 dan Gambar 4.3 merangkum tegangan yang terjadi pada elemen acuan tekan dinding bata (elemen 883), P-Fail tekan dinding bata, hingga

perbandingan P-Fail tekan dinding bata antar model 1B1S akibat pembebanan yang diberikan.

**Tabel 4. 3.** P-Fail Tekan Dinding Bata Model 1B1S

DINDING BATA					
883	MODEL	TEKAN			
		$\sigma$ (MPa)	P-Fail (kN)	$\Delta$	%
1	1B1S-UTUH	-1.321	4182.4400		
2	1B1S-RETAK	-2.093	2639.7500	-1542.6900	63.12%
3	1B1S-PLESTER2	-1.324	4172.9600	-9.4800	99.77%
4	1B1S-KAWAT2	-1.316	4198.3280	15.8880	100.38%
5	1B1S-1-0	-1.31	4217.557	35.1173	100.84%
6	1B1S-2-0	-1.306	4230.475	48.0347	101.15%
7	1B1S-3-0	-1.301	4246.733	64.2933	101.54%



**Gambar 4. 3.** Grafik P-Fail Tekan Dinding Bata Model 1B1S

Dari hasil yang didapatkan, ditunjukkan bahwa P-Fail tekan elemen 883 turun pada kondisi dinding bata retak (model 1B1S-RETAK) menjadi 63,12% dibanding kondisi dinding bata utuh (model 1B1S-UTUH). Retak sebagai kegagalan tarik yang menghilangkan peran *tension tie* menyebabkan beban yang harus dipikul *diagonal compression strut* dinding bata meningkat. Dengan demikian tegangan utama tekan pada elemen 883 (yang berada pada daerah *diagonal compression strut*) pada model 1B1S-RETAK meningkat atau P-Fail

tekan dinding bata menurun. Hal ini sejalan dengan analisis pada P-Fail tarik, karena retak yang diberikan menyebabkan beban yang dipikul *tension tie* dinding bata menurun dan beban yang harus dipikul *diagonal compression strut* dinding bata meningkat.

Perbaikan yang diberikan pada model 1B1S ditunjukkan mengembalikan peran *tension tie* dan menurunkan tegangan utama tekan pada elemen 883 sehingga P-Fail tekan dinding bata yang diperbaiki kembali mendekati kondisi utuh (model 1B1S-UTUH). Metode perbaikan plester (1B1S-PLESTER2) menghasilkan P-Fail tekan dinding bata 99,77% dibanding 1B1S-UTUH, sementara metode perbaikan plester dan kawat anyam (1B1S-KAWAT2) menghasilkan P-Fail tekan dinding bata 100,38% dibandingkan 1B1S-UTUH. Sejalan dengan analisis P-Fail tarik, penambahan kawat anyam menambah efektivitas perbaikan dalam mengembalikan kinerja tekan dinding bata.

Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku mengembalikan P-Fail tekan dinding bata menjadi 100,84%-101,54% dibandingkan 1B1S-UTUH seiring dengan penambahan grid kawat anyam terpaku yang digunakan. Model 1B1S-1-0 menghasilkan 100,84% P-Fail tekan dinding bata, model 1B1S-2-0 menghasilkan 101,15% P-Fail tekan dinding bata, dan model 1B1S-3-0 menghasilkan 101,54% P-Fail tekan dinding bata. Dengan jumlah grid kawat anyam yang lebih sedikit, model 1B1S-1-0 menghasilkan P-Fail tekan dinding bata lebih tinggi daripada 1B1S-KAWAT2.

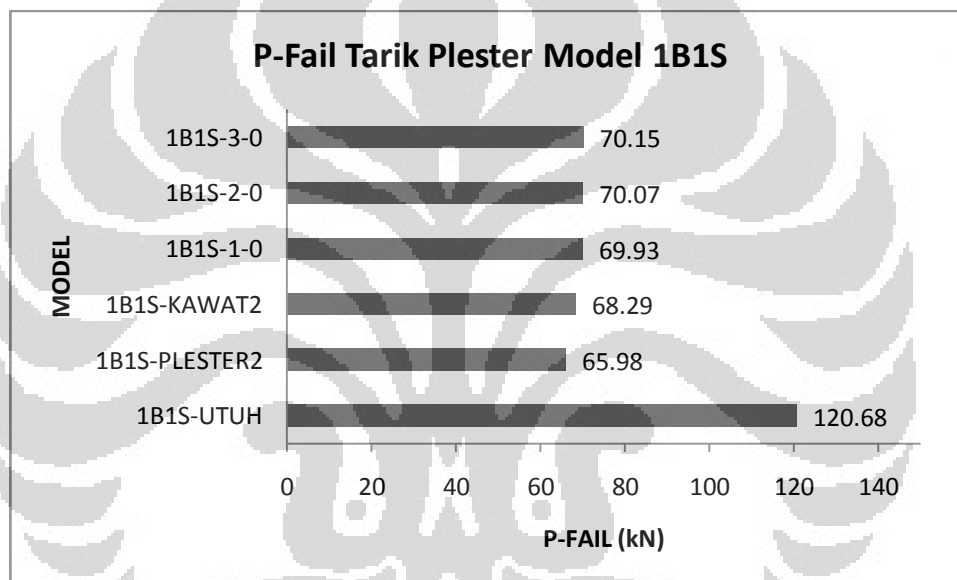
Dengan demikian metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku efektif dalam mengembalikan kinerja tekan dinding bata, lebih baik daripada metode perbaikan plester atau metode perbaikan plester dan kawat anyam. Hal ini sejalan dengan analisis pada kinerja tarik dinding bata.

#### **4.1.1.3. P-Fail Tarik Elemen Plester**

Tabel 4.4 dan Gambar 4.4 merangkum tegangan yang terjadi pada elemen acuan tarik plester (elemen 379), P-Fail tarik plester, hingga perbandingan P-Fail tarik plester antar model 1B1S akibat pembebanan yang diberikan.

**Tabel 4. 4.** P-Fail Tarik Plester Model 1B1S

PLESTER					
379	MODEL	TARIK			
		$\sigma$ (MPa)	P-Fail (kN)	$\Delta$	%
1	1B1S-UTUH	0.909	120.6800		
2	1B1S-RETAK	0	-		
3	1B1S-PLESTER2	2.730	65.9800		
4	1B1S-KAWAT2	2.636	68.2853	2.3053	103.5%
5	1B1S-1-0	2.574	69.93006993	3.9501	105.99%
6	1B1S-2-0	2.57	70.06617361	4.0862	106.19%
7	1B1S-3-0	2.566	70.14809041	4.1681	106.32%

**Gambar 4. 4.** P-Fail Tarik Plester Model 1B1S

Dari hasil yang didapatkan, ditunjukkan bahwa tegangan utama tarik pada elemen 379 menurun seiring penambahan kawat anyam atau kawat anyam terpaku pada metode perbaikan. Penambahan kawat anyam (1B1S-KAWAT2) menghasilkan P-Fail tarik plester 103,5%, sementara penambahan kawat anyam terpaku menghasilkan P-Fail tarik plester 105,99%-106,32% dibandingkan model 1B1S-PLESTER2.

Model 1B1S-1-0 menghasilkan 105,99% P-Fail tarik plester, model 1B1S-2-0 menghasilkan 106,19% P-Fail tarik plester, dan model 1B1S-3-0 menghasilkan 106,32% P-Fail tarik plester dibandingkan model 1B1S-

PLESTER2. Dengan jumlah grid kawat anyam yang lebih sedikit, model 1B1S-1-0 menghasilkan P-Fail tarik plester lebih tinggi daripada model 1B1S-KAWAT2.

Perbaikan dengan plester, plester dan kawat anyam, serta metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku ditunjukkan tidak mengembalikan P-Fail tarik pada daerah celah retak model 1B1S secara penuh. Dengan menggunakan elemen acuan 379, ditunjukkan bahwa P-Fail tarik elemen 379 model 1B1S diperbaiki (65,98 – 70,15 kN) tidak mendekati P-Fail tarik elemen 379 model 1B1S-UTUH (120,68 kN).

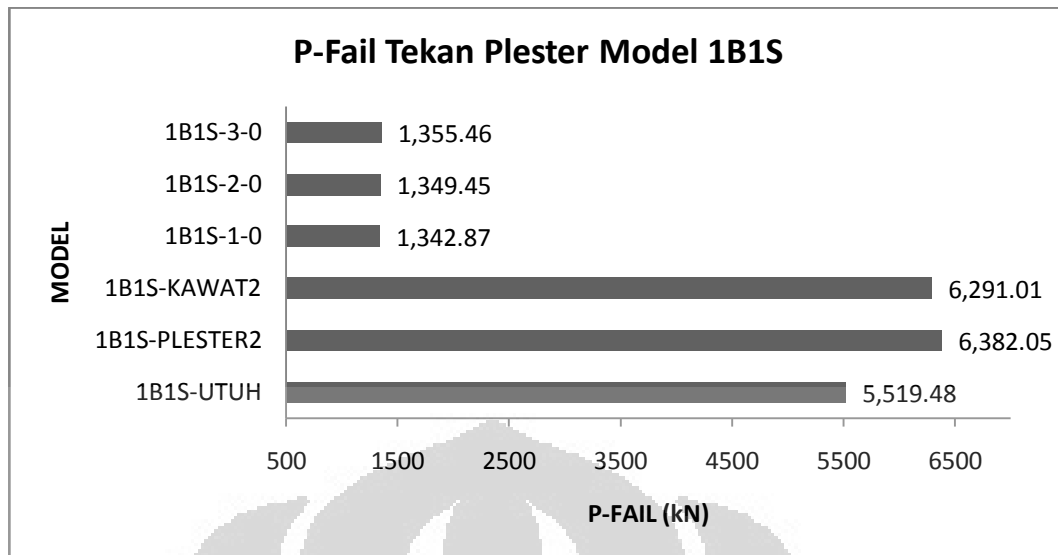
Dengan demikian penambahan kawat anyam terpaku pada metode perbaikan lebih baik daripada kawat anyam dalam menambah kapasitas kinerja tarik plester. Namun perbaikan dengan plester, kawat anyam, maupun kawat anyam terpaku ditunjukkan tidak mengembalikan kapasitas kinerja tarik daerah celah retak model 1B1S secara penuh.

#### 4.1.1.4. P-Fail Tekan Elemen Plester

Tabel 4.5 dan Gambar 4.5 merangkum tegangan yang terjadi pada elemen acuan tekan plester (elemen 671), P-Fail tekan plester, hingga perbandingan P-Fail tekan plester antar model 1B1S akibat pembebanan yang diberikan.

**Tabel 4. 5.** P-Fail Tekan Plester Model 1B1S

<b>PLESTER</b>					
<b>671</b>	<b>MODEL</b>	<b>TEKAN</b>			
		$\sigma$ (MPa)	P-Fail (kN)	$\Delta$	%
1	1B1S-UTUH	-1.001	5519.4800		
2	1B1S-RETAK	0	-		
3	1B1S-PLESTER2	-1.382	6382.0500		
4	1B1S-KAWAT2	-1.402	6291.0130	-91.0370	98.57%
5	1B1S-1-0	-6.568	1342.874543	-5039.1755	21.04%
6	1B1S-2-0	-6.536	1349.449204	-5032.6008	21.14%
7	1B1S-3-0	-6.507	1355.463347	-5026.5867	21.24%



**Gambar 4. 5.** P-Fail Tekan Plester Model 1B1S

Dari hasil yang didapatkan, ditunjukkan bahwa penambahan kawat anyam (model 1B1S-KAWAT2) menurunkan P-Fail tekan plester model 1B1S. Pada model 1B1S-KAWAT2 tegangan utama tarik plester menurun sehingga tegangan utama tekan meningkat dan P-Fail tekan plester menurun menjadi 98,57% dibanding model 1B1S-PLESTER2.

Penggunaan kawat anyam terpaku sebagai metode perbaikan ditunjukkan menurunkan P-Fail tekan plester menjadi 21,04%-21,24% dibanding model 1B1S-PLESTER2. Model 1B1S-1-0 menghasilkan 21,04% P-Fail tarik plester, model 1B1S-2-0 menghasilkan 21,14% P-Fail tarik plester, dan model 1B1S-3-0 menghasilkan 21,24% P-Fail tarik plester dibandingkan model 1B1S-PLESTER2. Sumbangan kinerja tarik oleh kawat anyam terpaku menurunkan tegangan utama tarik pada plester, sehingga menaikkan tegangan utama tekan plester. Penambahan grid kawat anyam terpaku sedikit menaikkan P-Fail tekan plester karena sumbangan kinerja tekan yang diberikan kawat anyam terpaku bertambah.

Pada daerah celah retak model 1B1S, ditunjukkan metode perbaikan plester menaikkan P-Fail tekan elemen 671 (6382,05 kN), kemudian metode perbaikan plester dan kawat anyam menurunkan P-Fail tekan elemen 671 (6291,01 kN) meskipun masih lebih tinggi daripada P-Fail tekan elemen 671 model 1B1S-UTUH (5519,48 kN). Penggunaan kawat anyam terpaku ditunjukkan



menghasilkan P-Fail tekan elemen 671 (1342,87 – 1355,46 kN) jauh dibawah P-Fail elemen 671 model 1B1S-UTUH.

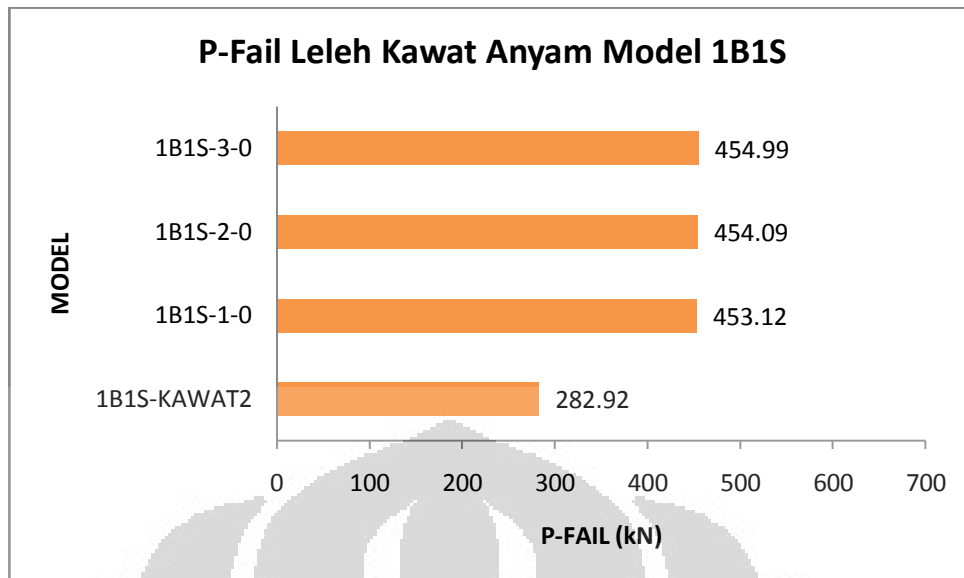
Dengan demikian penambahan kawat anyam maupun kawat anyam terpaku pada metode perbaikan menurunkan kapasitas kinerja tekan plester model 1B1S. Meskipun pada metode plester maupun metode perbaikan plester dan kawat anyam ditunjukkan meningkat, metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku ditunjukkan menurunkan kapasitas kinerja tekan daerah celah retak model 1B1S.

#### 4.1.1.5. P-Fail Leleh Elemen Kawat Anyam

Tabel 4.6 dan Gambar 4.6 merangkum gaya aksial yang terjadi pada elemen acuan leleh kawat anyam (elemen 25 atau 48-49-50), P-Fail leleh kawat anyam, hingga perbandingan P-Fail leleh kawat anyam antar model 1B1S akibat pembebanan yang diberikan.

**Tabel 4. 6.** P-Fail Leleh Kawat Anyam Model 1B1S

<b>KAWAT ANYAM</b>					
	<b>MODEL</b>	<b>LELEH</b>			
		<b>P (N)</b>	<b>P-FAIL (N)</b>	<b>Δ</b>	<b>%</b>
1	1B1S-UTUH		-		
2	1B1S-RETAK		-		
3	1B1S-PLESTER2		-		
4	1B1S-KAWAT2 (25)	1174.54	282.9227		
5	1B1S-1-0 (48)	733.37	453.1191622	170.1965	160.16%
6	1B1S-2-0 (48)	731.8	454.0912818	171.1686	160.50%
7	1B1S-3-0 (48)	730.36	454.986582	172.0639	160.82%



**Gambar 4. 6.** P-Fail Leleh Kawat Anyam Model 1B1S

Elemen acuan pada model 1B1S-KAWAT2 adalah elemen 25, sedangkan pada model 1B1S-1/2/3-0 adalah elemen 48 (selalu maksimum diantara elemen 48, 49, dan 50). Dari hasil yang didapatkan ditunjukkan bahwa penambahan paku pada metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku meningkatkan P-Fail leleh kawat anyam model 1B1S. Dengan jumlah grid kawat anyam yang lebih sedikit, P-Fail leleh kawat anyam model 1B1S-0 (453,12 kN) lebih tinggi daripada model 1B1S-KAWAT2 (282,92 kN).

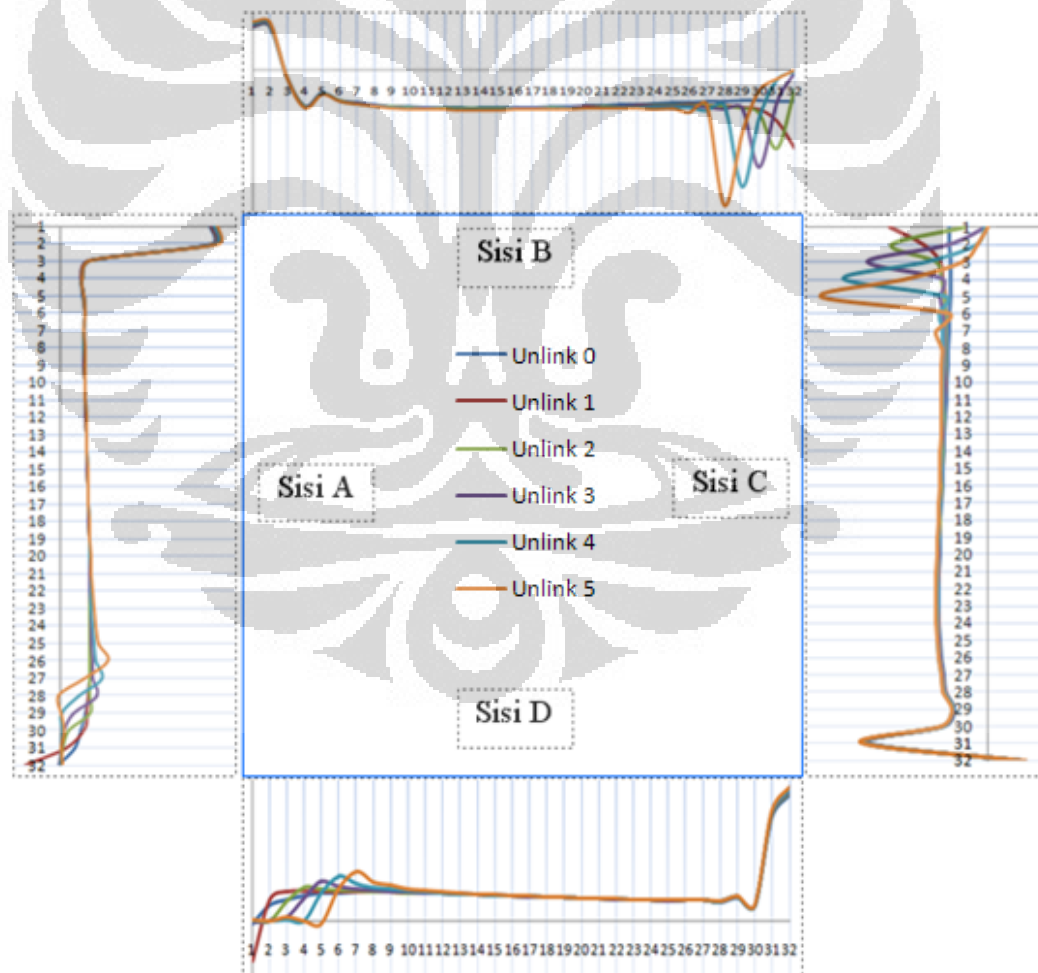
Penambahan jumlah grid kawat anyam meningkatkan P-Fail leleh kawat anyam pada metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku. Model 1B1S-1-0 menghasilkan 160,16% P-Fail leleh kawat anyam, model 1B1S-2-0 menghasilkan 160,50% P-Fail leleh kawat anyam, dan model 1B1S-3-0 menghasilkan 160,82% P-Fail leleh kawat anyam dibanding model 1B1S-KAWAT2.

Dengan demikian ditunjukkan bahwa penggunaan paku pada metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku menurunkan gaya aksial pada kawat anyam karena satu elemen kawat anyam pada model 1B1S-KAWAT2 terbagi menjadi tiga kawat anyam pada model 1B1S-1/2/3-0. Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku menghasilkan P-Fail leleh kawat anyam 160,16%-160,82% dibanding metode perbaikan plester dan kawat anyam.

#### 4.1.2. Efek Separasi antara Portal dan Dinding Bata

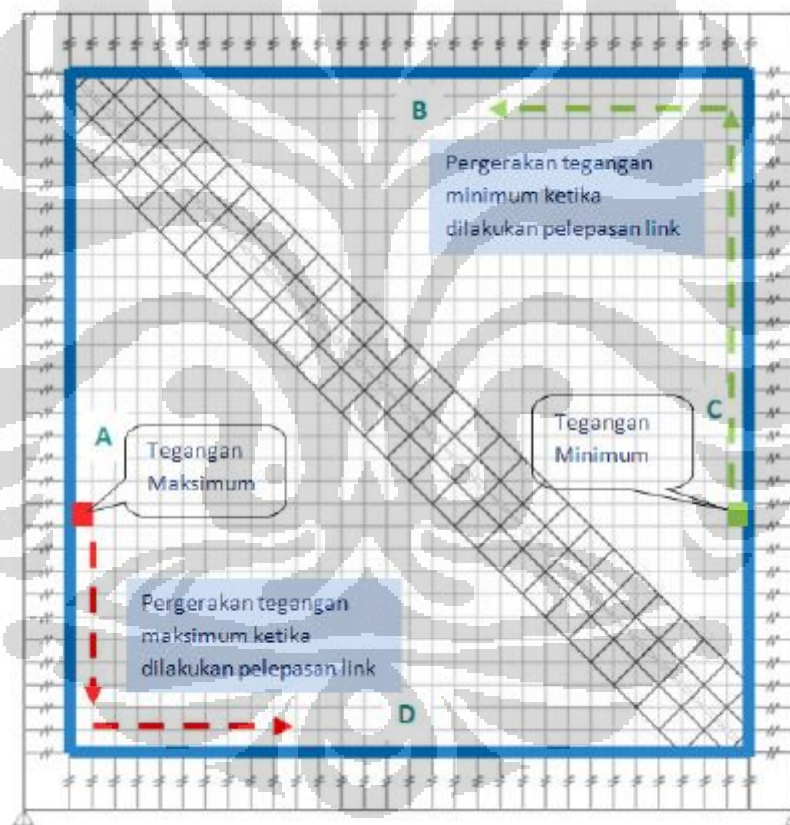
Separasi antara portal dan dinding bata dimodelkan sebagai *un-link*, yaitu menghapus elemen link pada ujung-ujung *tension tie* sebagai representasi terlepasnya hubungan antara portal dan dinding bata. *Un-link* dilakukan sebanyak lima kali terhadap model 1B1S variasi 2 (metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku), dan analisis terhadap efek separasi dilakukan dengan meninjau tegangan utama pada tepi dinding bata.

Pada tepi kiri dan bawah model, tegangan utama yang ditinjau adalah tegangan utama tarik. Sementara pada tepi kanan dan atas model tegangan utama yang ditinjau adalah tegangan utama tekan. Gambar 4.7 menunjukkan hasil yang didapatkan dari pemodelan separasi antara portal dan dinding bata.



**Gambar 4. 7.** Distribusi Tegangan Utama pada tepi Dinding Bata Model 1B1S Variasi 2 akibat *Un-link*

Dari hasil yang didapatkan, ditunjukkan bahwa *un-link* sebagai representasi separasi antara portal dan dinding bata menyebabkan perpindahan lokasi elemen dengan tegangan utama maksimum (tarik) dan minimum (tekan) pada tepi dinding bata. Separasi antara portal dan dinding bata menyebabkan hilangnya peran *tension tie* sehingga lokasi elemen dengan tegangan utama maksimum (tarik) atau tegangan utama minimum (tekan) berpindah ke ujung-ujung *diagonal compression strut*, ditunjukkan pada Gambar 4.8. Dengan demikian separasi antara portal dan dinding bata menyebabkan beban yang harus dipikul oleh *diagonal compression strut* dinding bata bertambah.

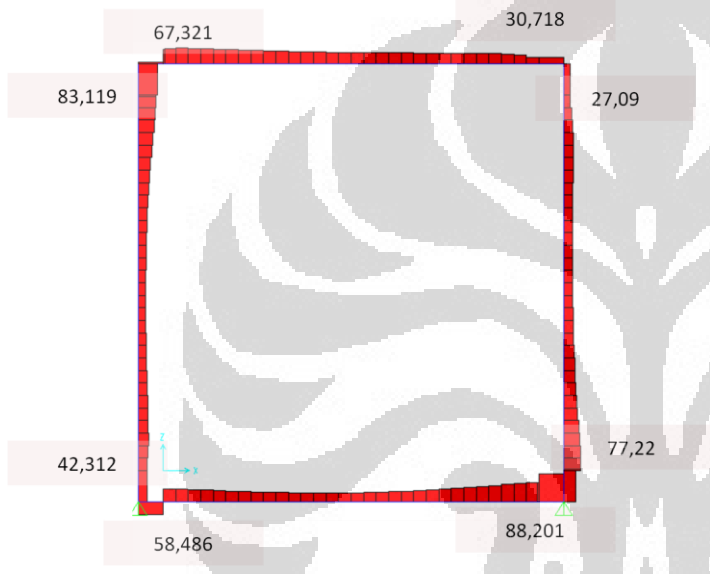
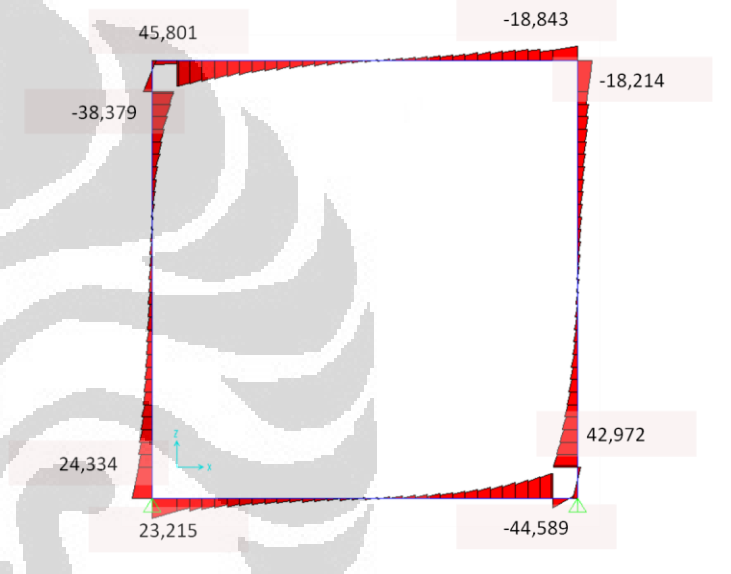


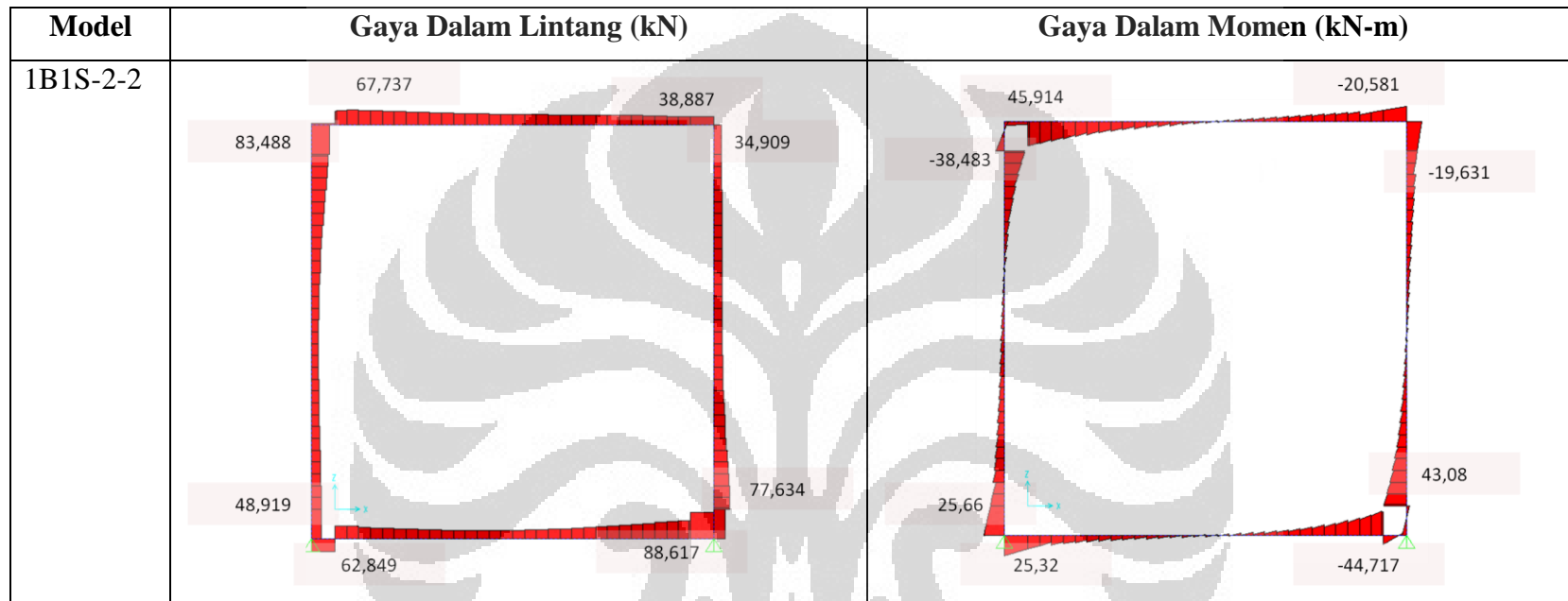
**Gambar 4. 8.** Pergerakan Lokasi Elemen Tegangan Utama Maksimum dan Minimum pada tepi Model 1B1S Variasi 2 akibat *Un-link*

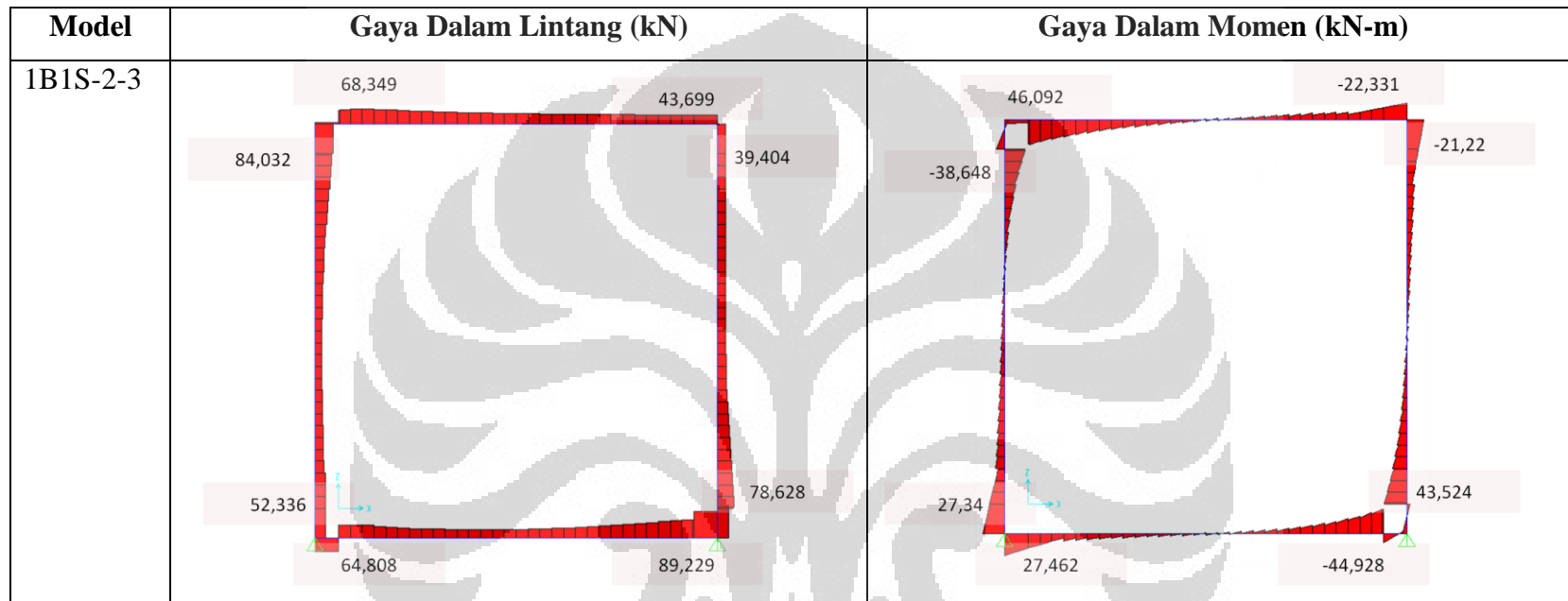
Tabel 4.7 menunjukkan gaya dalam lintang dan momen yang terjadi pada portal dengan *un-link* sebagai separasi pada model 1B1S variasi 2 (metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku).

**Tabel 4.7.** Gaya Dalam Portal Model 1B1S Variasi 2 dengan *Un-link* (Lanjutan)

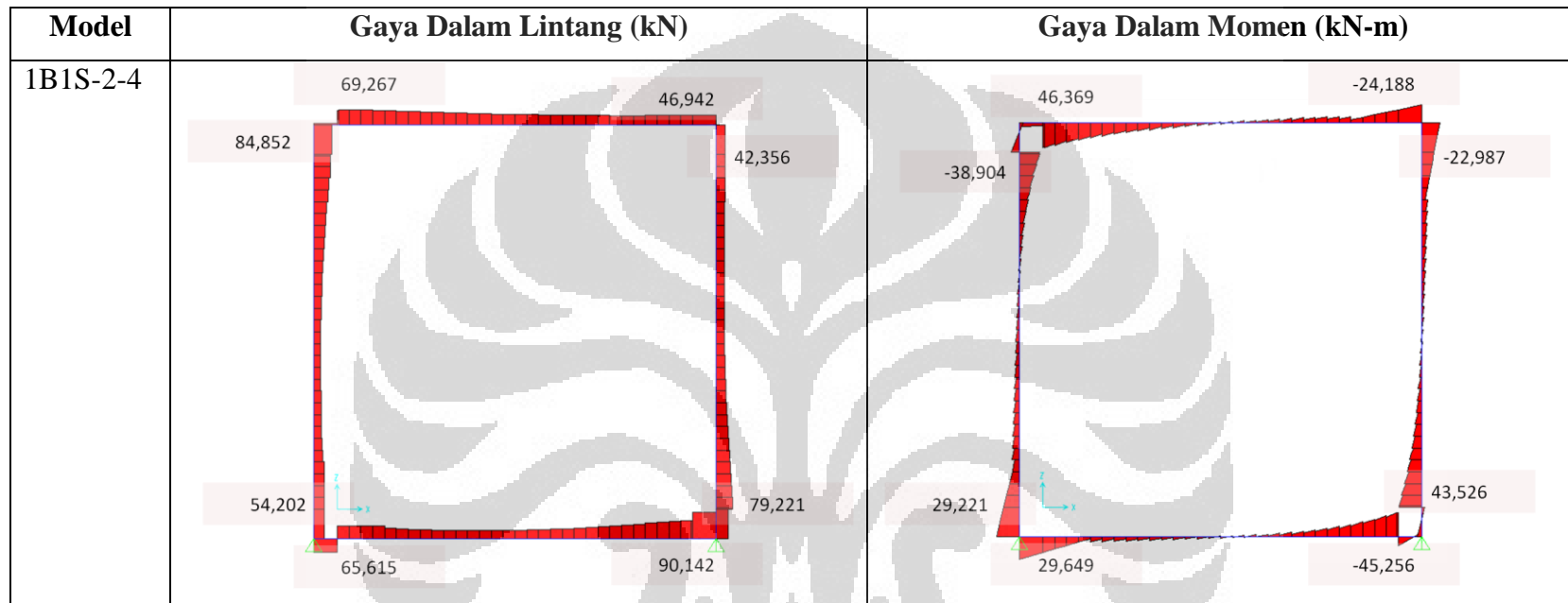
Model	Gaya Dalam Lintang (kN)	Gaya Dalam Momen (kN-m)
1B1S-2-0		

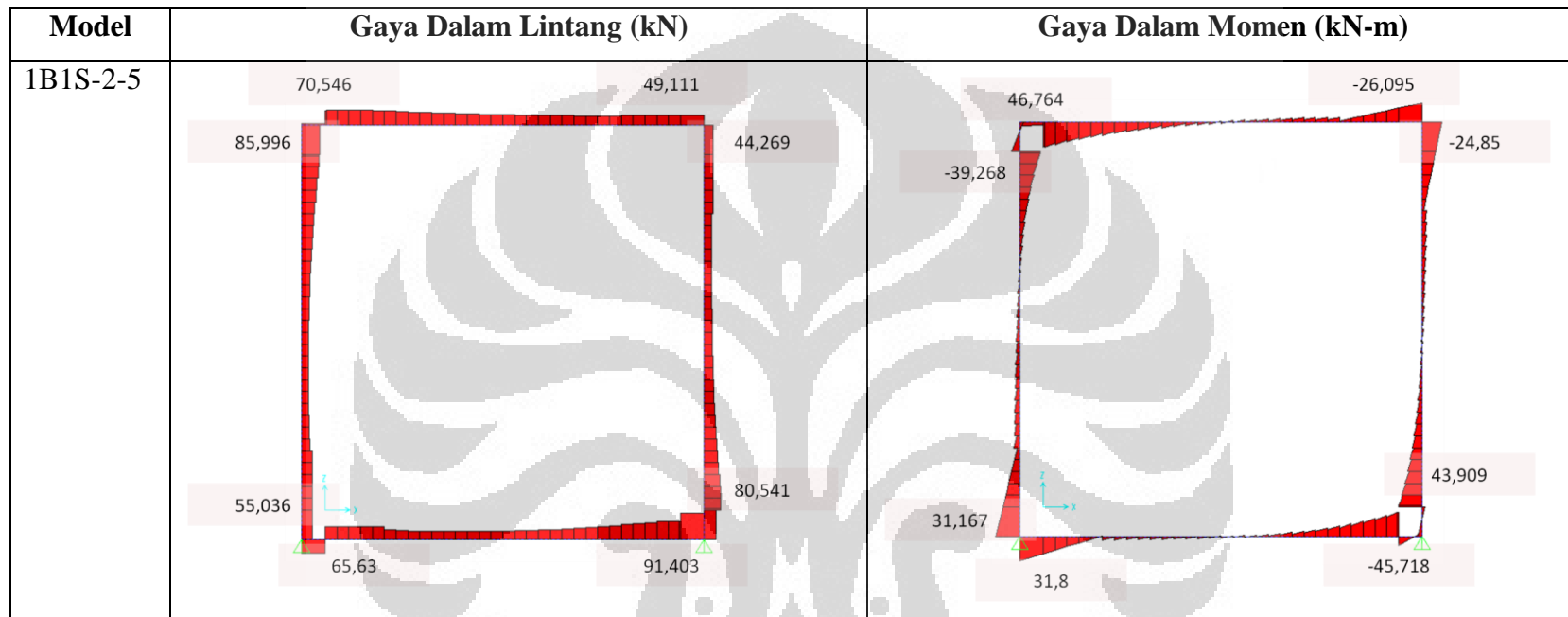
Model	Gaya Dalam Lintang (kN)	Gaya Dalam Momen (kN-m)
1B1S-2-1		











## 4.2. Analisis Model Tiga Bentang Tiga Lantai

Model tiga bentang tiga lantai (3B3S) adalah portal bidang dari ruko tiga lantai yang ditinjau. Analisis dilakukan dengan evaluasi simpangan dan periode getar alami model 3B3S menggunakan beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI-03-1726-2002 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung.

### 4.2.1. Periode Getar Alami

Periode getar alami model 3B3S didapatkan dari analisis modal menggunakan perangkat lunak *SAP2000 v14.1*. Karena beban gempa yang digunakan adalah beban gempa statik ekuivalen, maka periode getar alami model 3B3S yang ditinjau adalah periode getar alami moda pertama ( $T_1$ ).  $T_1$  yang didapatkan untuk seluruh model 3B3S yang digunakan adalah arah lateral (sumbu X) model. Tabel 4.8 merangkum  $T_1$  yang didapatkan untuk seluruh model 3B3S yang dianalisis.

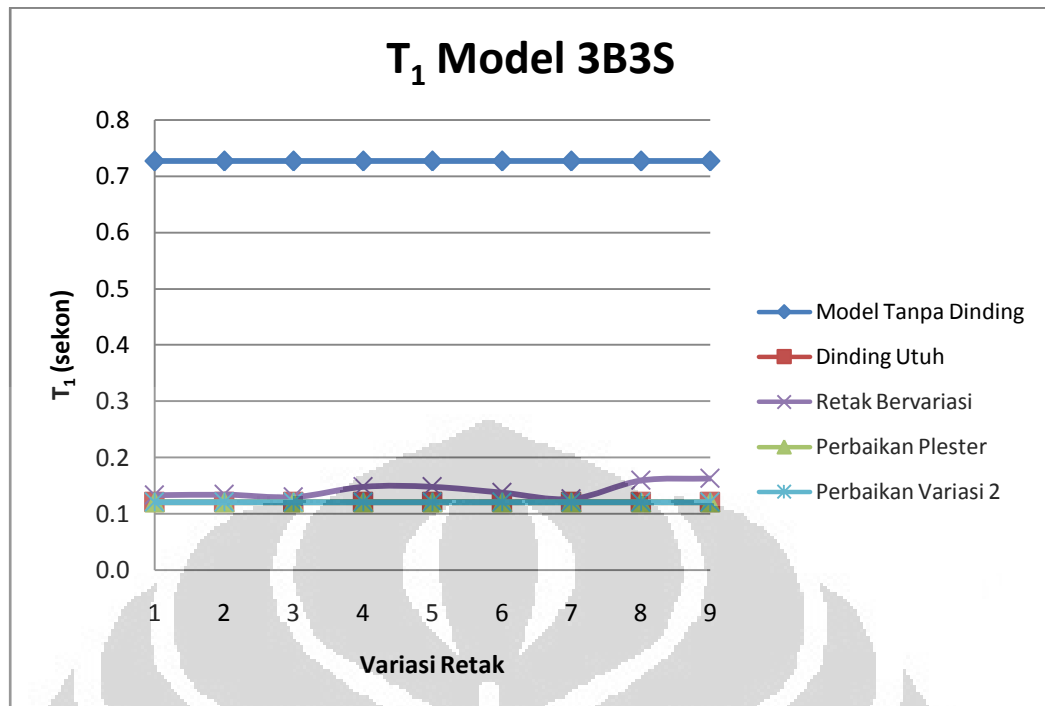
Tabel 4. 8.  $T_1$  Model 3B3S

MODEL	$T_1$ (sec)			
1	3B3S-TANPADINDING	0.726572		
2	3B3S-UTUH	0.120511		
3	3B3S-RETAK	0.163181		
		A	B	
4	3B3S-1-B1-S123-V2	0.133163	0.120545	0.120758
5	3B3S-2-B2-S123-V2	0.134347	0.120556	0.120715
6	3B3S-3-B3-S123-V2	0.130208	0.120545	0.120741
7	3B3S-4-B12-S123-V2	0.148235	0.120590	0.120600
8	3B3S-5-B123-S1-V2	0.148228	0.120588	0.120661
9	3B3S-6-B123-S2-V2	0.137515	0.120553	0.120738
10	3B3S-7-B123-S3-V2	0.126563	0.120505	0.120828
11	3B3S-8-B123-S12-V2	0.159535	0.120631	0.120525
12	3B3S-9-B123-S123-V1			0.120392
13	3B3S-10-B123-S123-V2		0.120626	0.120474
14	3B3S-11-B123-S123-V3			0.120539

A: Tidak Diperbaiki

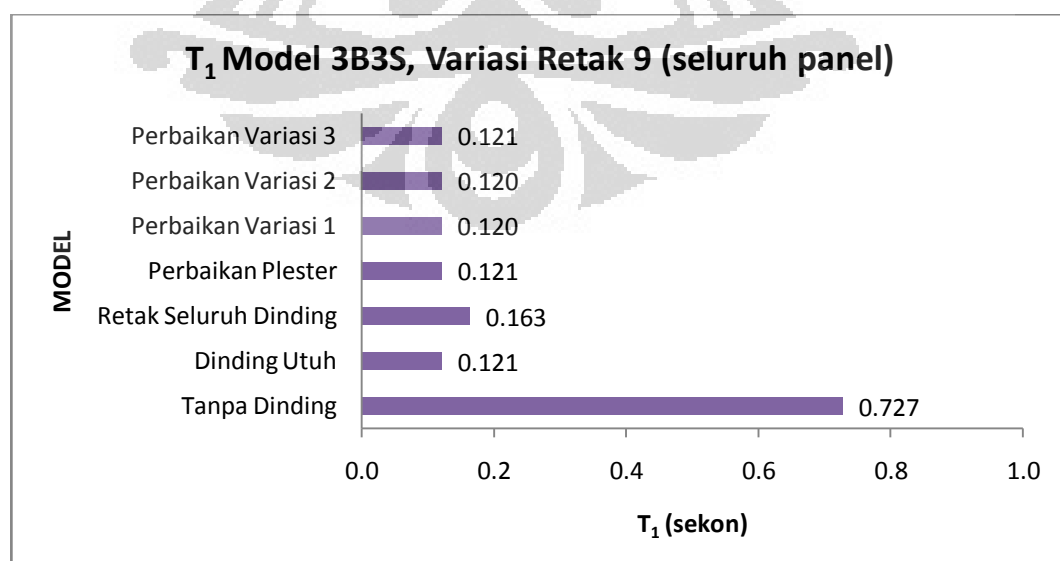
B: Metode Perbaikan Plester

C: Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku



Gambar 4. 9. T<sub>1</sub> Model 3B3S

Dari Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 ditunjukkan bahwa variasi retak pada model 3B3S tidak menghasilkan T<sub>1</sub> yang berjauhan, mengindikasikan bahwa lokasi retak tidak begitu mempengaruhi perilaku struktur. Dengan menggunakan variasi retak 9 (retak seluruh panel dinding bata), Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan T<sub>1</sub> model 3B3S dengan berbagai kondisi.



Gambar 4. 10. Perbandingan T<sub>1</sub> Model 3B3S, Variasi Retak 9

Dari Gambar 4.10 ditunjukkan bahwa model 3B3S-TANPADINDING menghasilkan  $T_1$  yang jauh lebih besar dibanding model lainnya. Ketika panel dinding bata ikut dimodelkan, dihasilkan  $T_1$  yang kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa menyertakan panel dinding bata sebagai elemen akan memberikan sumbangan yang cukup signifikan terhadap kekakuan struktur model 3B3S. Ketika panel dinding bata retak (variasi retak 9), terjadi peningkatan  $T_1$  yang mengindikasikan berkurangnya kekakuan struktur yang disumbangkan oleh panel dinding bata.

Perbaikan pada panel dinding bata model 3B3S ditunjukkan menghasilkan  $T_1$  yang dekat dengan  $T_1$  model 3B3S-UTUH, yang mengindikasikan kekakuan struktur yang kembali seperti kondisi utuh. Variasi metode perbaikan yang digunakan ditunjukkan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap  $T_1$  yang dihasilkan.

#### **4.2.2. Beban Gempa Statik Ekuivalen**

Beban gempa pada model 3B3S adalah beban gempa statik ekuivalen. Beban geser dasar ( $V$ ) ini didapatkan dengan rumus beban gempa nominal berdasarkan SNI-03-1726-2002 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung. Nilai Faktor Respons Gempa ( $C$ ) yang digunakan sesuai  $T_1$  masing-masing model, dengan spektrum respons gempa wilayah 3 tanah lunak. Tabel 4.9 dan Gambar 4.11 merangkum  $V$  masing-masing model 3B3S yang dianalisis.

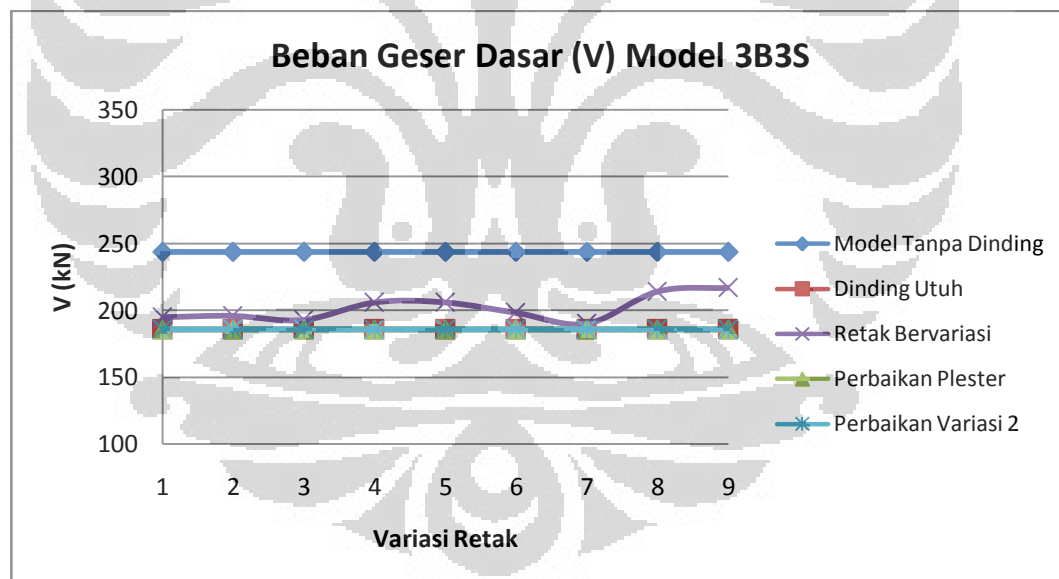
**Tabel 4. 9.** Beban Geser Dasar (V) Model 3B3S

MODEL		V (kN)		
1	3B3S-TANPADINDING	243.821		
2	3B3S-UTUH	185.678		
3	3B3S-RETAK	216.889		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
4	3B3S-1-B1-S123-V2	194.932	185.703	185.858
5	3B3S-2-B2-S123-V2	195.798	185.711	185.827
6	3B3S-3-B3-S123-V2	192.771	185.703	185.846
7	3B3S-4-B12-S123-V2	205.957	185.735	185.743
8	3B3S-5-B123-S1-V2	205.952	185.734	185.787
9	3B3S-6-B123-S2-V2	198.115	185.708	185.844
10	3B3S-7-B123-S3-V2	190.104	185.673	185.910
11	3B3S-8-B123-S12-V2	214.222	185.765	185.688
12	3B3S-9-B123-S123-V1			185.591
13	3B3S-10-B123-S123-V2		185.762	185.651
14	3B3S-11-B123-S123-V3			185.698

A: Tidak Diperbaiki

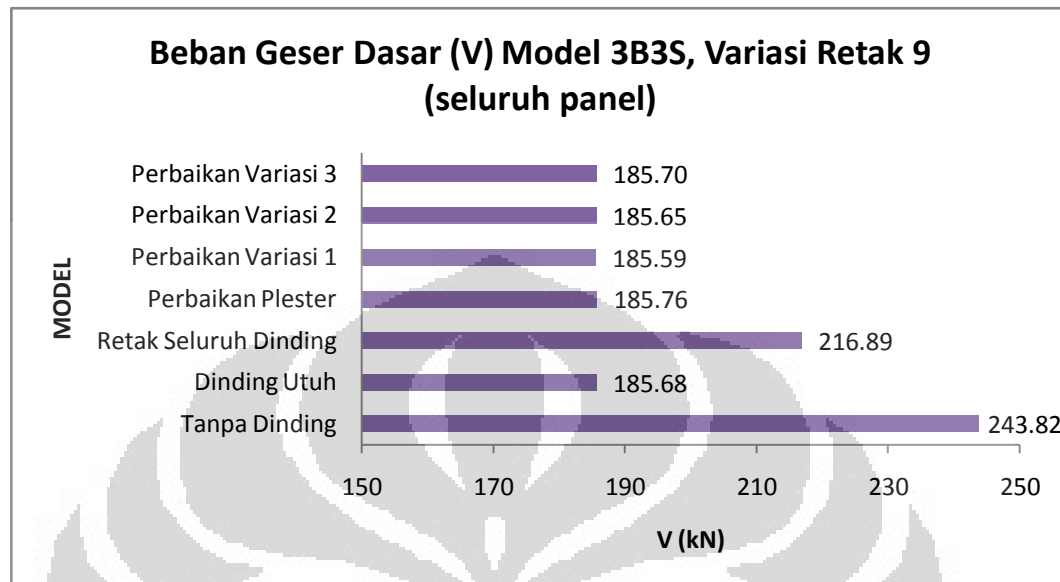
B: Metode Perbaikan Plester

C: Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

**Gambar 4. 11.** Beban Geser Dasar (V) Model 3B3S

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.11 ditunjukkan bahwa model 3B3S-TANPADINDING memiliki beban geser dasar (V) yang jauh lebih tinggi daripada model 3B3S-UTUH. Variasi retak pada model 3B3S tidak menghasilkan beban geser dasar (V) yang berjauhan, seragam dengan hasil yang ditunjukkan pada analisis periode getar alami moda pertama ( $T_1$ ). Dengan menggunakan

variasi retak 9 (retak seluruh panel dinding bata), Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan beban geser dasar ( $V$ ) model 3B3S dengan berbagai kondisi.



**Gambar 4. 12.** Perbandingan Beban Geser Dasar ( $V$ ) Model 3B3S, Variasi Retak 9

Seperti yang ditunjukkan pada analisis periode getar alami moda pertama ( $T_1$ ), model 3B3S-TANPADINDING memiliki nilai beban geser dasar ( $V$ ) tertinggi. Penambahan elemen panel dinding bata secara signifikan menurunkan nilai beban geser dasar ( $V$ ) model 3B3S. Retak pada model 3B3S (variasi retak 9) meningkatkan beban geser dasar, namun model 3B3S yang diperbaiki menunjukkan nilai beban geser dasar yang berdekatan dengan model 3B3S dinding bata utuh. Hal ini mengindikasikan bahwa perbaikan dapat mengembalikan nilai kekakuan struktur, seragam dengan analisis periode getar alami moda pertama ( $T_1$ ). Variasi metode perbaikan yang digunakan ditunjukkan tidak berpengaruh signifikan terhadap beban geser dasar ( $V$ ) yang dihasilkan.

Beban geser dasar ( $V$ ) diberikan pada model 3B3S sebagai beban gempa nominal statik ekuivalen ( $F_i$ ) yang diberikan pada setiap lantai ke- $i$ . Proporsi  $F_i$  yang digunakan didasarkan pada berat model 3B3S ( $W_i$ ) dan tinggi lantai tingkat ke- $i$  ( $z_i$ ). Nilai  $W_i$ ,  $z_i$ , dan  $W_i z_i$  model 3B3S ditunjukkan pada Tabel 4.10.

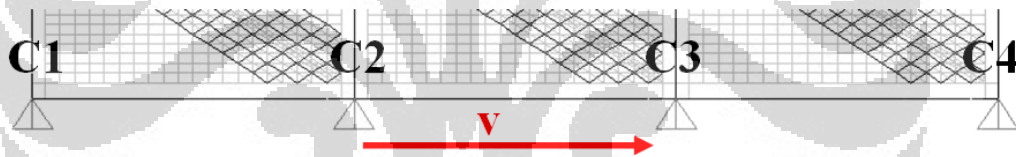
**Tabel 4. 10.**  $W_i$ ,  $z_i$ , dan  $W_i z_i$  Model 3B3S

	$W_i$		$z_i$		$W_i z_i$		$(W_i z_i) / (\sum W_i z_i)$
Dasar	66.951	Ton	3.5	m	234.329	Ton-m	19.46%
Lantai 1	68.826	Ton	7	m	481.782	Ton-m	40.01%
Lantai 2	46.488	Ton	10.5	m	488.124	Ton-m	40.53%
$\Sigma$	182.265	Ton			1204.23	Ton-m	1

Dari Tabel 4.10 ditunjukkan bahwa 40,53% beban geser dasar ( $V$ ) diberikan pada lantai 2; 40,01%  $V$  pada lantai 1; dan 19,46%  $V$  pada lantai dasar.

#### 4.2.3. Distribusi Beban Gempa antara Kolom dan Panel Dinding Bata

Analisis distribusi beban geser dasar ( $V$ ) antara kolom dan panel dinding bata dilakukan untuk melihat pengaruh variasi model terhadap beban gempa statik ekuivalen yang dipikul kolom dan dinding bata. Kolom yang ditinjau adalah empat kolom pada lantai dasar model 3B3S.

**Gambar 4. 13.** Kolom Lantai Dasar Model 3B3S yang Ditinjau

Tabel 4.11 menunjukkan distribusi beban gempa antara kolom dan panel dinding bata model 3B3S.



Tabel 4. 11. Distribusi Beban Gempa antara Kolom dan Panel Dinding Bata

MODEL AWAL	C1 (kN)	C2 (kN)	C3 (kN)	C4 (kN)	$\Sigma C$ (kN)	%C	%MW
3B3S-UTUH	-8.239	12.05	11.342	8.288	23.441	12.62%	87.38%
3B3S-RETAK	-0.433	26.513	30.078	39.081	95.239	43.91%	56.09%
<b>TIDAK DIPERBAIKI</b>							
1-B1-S123	-0.247	26.471	14.436	10.486	51.146	26.24%	73.76%
2-B2-S123	-9.564	6.753	26.227	10.435	33.851	17.29%	82.71%
3-B3-S123	-9.645	13.892	7.614	21.99	33.851	17.56%	82.44%
4-B12-S123	-0.39	21.013	33.738	13.351	67.712	32.88%	67.12%
5-B123-S1	-0.451	25.538	27.767	35.729	88.583	43.01%	56.99%
6-B123-S2	-7.401	12.58	12.831	9.717	27.727	14.00%	86.00%
7-B123-S3	-8.345	12.307	11.7	8.539	24.201	12.73%	<b>87.27%</b>
8-B123-S12	-0.43	26.249	29.715	38.577	94.111	43.93%	<b>56.07%</b>
9-B123-S123	-0.433	26.513	30.078	39.081	95.239	43.91%	56.09%
<b>PERBAIKAN PLESTER</b>							
1-B1-S123	-8.221	12.131	11.353	8.296	23.559	12.69%	87.31%
2-B2-S123	-8.245	12.045	11.442	8.297	23.539	12.68%	87.32%
3-B3-S123	-8.245	12.058	11.342	8.4	23.555	12.68%	87.32%
4-B12-S123	-8.226	12.126	11.452	8.304	23.656	12.74%	87.26%
5-B123-S1	-8.233	12.132	11.449	8.418	23.766	12.80%	87.20%
6-B123-S2	-8.239	12.053	11.345	8.29	23.449	12.63%	87.37%
7-B123-S3	-8.239	12.05	11.342	8.288	23.441	12.62%	87.38%
8-B123-S12	-8.233	12.134	11.452	8.42	23.773	12.80%	87.20%
9-B123-S123	-8.239	12.134	11.452	8.419	23.766	12.79%	87.21%
<b>PERBAIKAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM TERPAKU</b>							
3B3S-1-B1-S123-V2	-8.264	12.145	11.332	8.262	23.475	12.63%	87.37%
3B3S-2-B2-S123-V2	-8.233	12.054	11.451	8.283	23.555	12.68%	87.32%
3B3S-3-B3-S123-V2	-8.232	12.043	11.344	8.452	23.607	12.70%	87.30%
3B3S-4-B12-S123-V2	-8.245	12.128	11.423	8.262	23.568	12.69%	87.31%
3B3S-5-B123-S1-V2	-8.231	12.113	11.415	8.419	23.716	12.77%	87.23%
3B3S-6-B123-S2-V2	-8.248	12.062	11.355	8.297	23.466	12.63%	87.37%
3B3S-7-B123-S3-V2	-8.25	12.067	11.357	8.301	23.475	12.63%	87.37%
3B3S-8-B123-S12-V2	-8.227	12.104	11.411	8.413	23.701	12.76%	87.24%
3B3S-9-B123-S123-V1	-8.218	12.101	11.416	8.407	23.706	12.77%	87.23%
3B3S-10-B123-S123-V2	-8.228	12.104	11.41	8.413	23.699	12.77%	87.23%
3B3S-11-B123-S123-V3	-8.236	12.111	11.413	8.425	23.713	12.77%	87.23%

Dari Tabel 4.11 ditunjukkan bahwa retak pada panel dinding meningkatkan beban geser dasar (V) yang harus dipikul kolom secara drastis. Letak retak dengan beban kolom maksimum adalah variasi retak 8 (56,07%) dan letak retak dengan beban kolom minimum adalah variasi retak 7 (87,27%). Perbaikan pada model 3B3S menunjukkan beban geser dasar (V) yang dipikul kolom kembali seperti kondisi model 3B3S-UTUH atau sumbangan dari panel

dinding bata kembali. Variasi metode perbaikan ditunjukkan tidak berpengaruh signifikan terhadap distribusi beban gempa.

#### 4.2.4. Simpangan dan Kekakuan Lateral

Simpangan dan kekakuan yang ditinjau adalah simpangan dan kekakuan arah lateral (sumbu x) karena bahasan yang dibatasi pada perilaku lateral searah beban gempa statik ekuivalen yang diberikan pada model 3B3S.

Kekakuan lateral dianalisis dengan membagi simpangan lateral dengan beban geser dasar statik ekuivalen masing-masing model 3B3S. Tabel 4.12 menunjukkan nilai simpangan puncak (lantai 2) model 3B3S akibat beban gempa statik ekuivalen masing-masing model.

**Tabel 4. 12.** Simpangan Puncak Model 3B3S

MODEL		U (mm)		
1	3B3S-TANPADINDING	21.47170		
2	3B3S-UTUH	0.41353		
3	3B3S-RETAK	0.87560		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
4	3B3S-1-B1-S123-V2	0.52570	0.41390	0.41304
5	3B3S-2-B2-S123-V2	0.54660	0.41400	0.41269
6	3B3S-3-B3-S123-V2	0.50410	0.41390	0.41302
7	3B3S-4-B12-S123-V2	0.69220	0.41440	0.41162
8	3B3S-5-B123-S1-V2	0.65410	0.41410	0.41246
9	3B3S-6-B123-S2-V2	0.57530	0.41400	0.41280
10	3B3S-7-B123-S3-V2	0.49110	0.41370	0.41352
11	3B3S-8-B123-S12-V2	0.80160	0.41460	0.41115
12	3B3S-9-B123-S123-V1			0.41257
13	3B3S-10-B123-S123-V2		0.41480	0.41054
14	3B3S-11-B123-S123-V3			0.40870

A: Tidak Diperbaiki

B: Metode Perbaikan Plester

C: Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

Nilai simpangan puncak yang didapatkan tidak cukup untuk digunakan sebagai bahan analisis karena beban gempa statik ekuivalen masing-masing model berbeda. Kekakuan lateral didapatkan dengan rumus kekakuan statik struktur:

$$K = \frac{F}{U} \quad (4.2)$$

dimana:

- K = Kekakuan lateral (kN/mm)  
 F = Beban geser dasar (beban gempa statik ekuivalen, kN)  
 U = Simpangan puncak lateral (simpangan puncak lateral, mm)

Tabel 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan kekakuan lateral yang didapatkan untuk masing-masing model 3B3S.

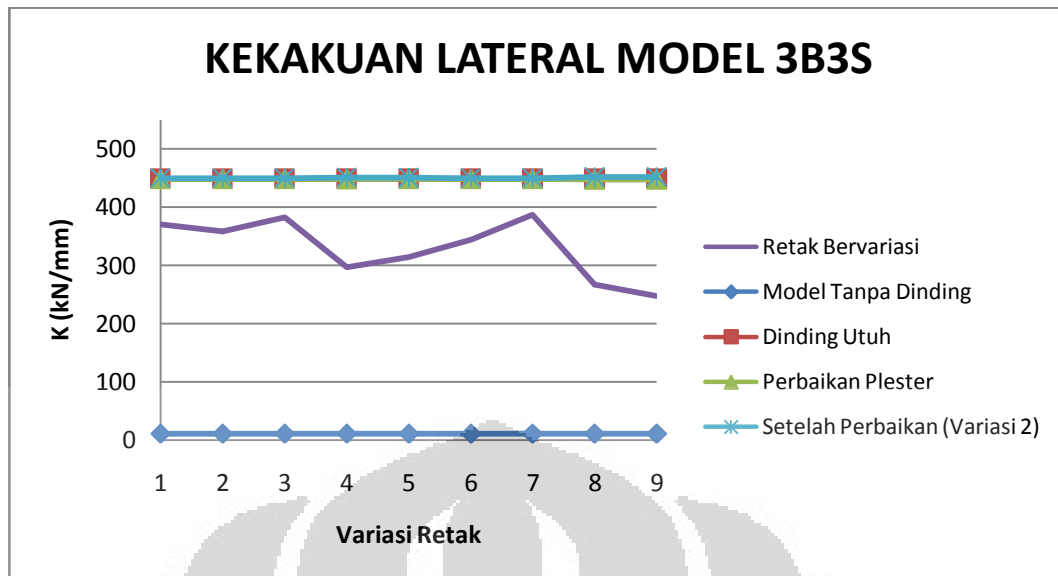
**Tabel 4. 13.** Kekakuan Lateral Model 3B3S

MODEL		K (kN/mm)		
1	3B3S-TANPADINDING	11.35545		
2	3B3S-UTUH	449.00427		
3	3B3S-RETAK	247.70373		
			<b>A</b>	<b>B</b>
4	3B3S-1-B1-S123-V2	370.80483	448.66514	449.97652
5	3B3S-2-B2-S123-V2	<b>358.21103</b>	448.57620	450.28193
6	3B3S-3-B3-S123-V2	382.40552	448.66514	449.96821
7	3B3S-4-B12-S123-V2	<b>297.53930</b>	448.20323	451.24807
8	3B3S-5-B123-S1-V2	<b>314.86253</b>	448.52440	450.43726
9	3B3S-6-B123-S2-V2	344.36889	448.57090	450.20270
10	3B3S-7-B123-S3-V2	387.09925	448.81132	449.57803
11	3B3S-8-B123-S12-V2	<b>267.24330</b>	448.05935	451.63048
12	3B3S-9-B123-S123-V1			449.84024
13	3B3S-10-B123-S123-V2		447.83450	452.21067
14	3B3S-11-B123-S123-V3			454.36289

A: Tidak Diperbaiki

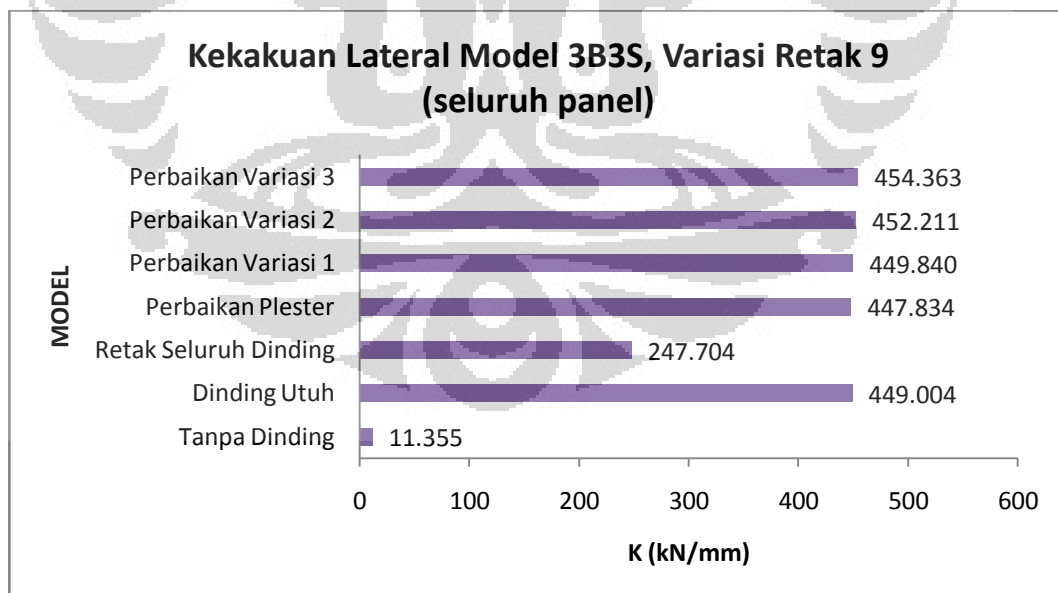
B: Metode Perbaikan Plester

C: Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku



**Gambar 4.14.** Kekakuan Lateral Model 3B3S

Dari hasil yang didapatkan, variasi letak retak memberikan nilai kekakuan model 3B3S tidak diperbaiki pada rentang 247,70 kN/mm (retak seluruh panel) hingga 387,1 kN/mm (retak pada lantai 2/lantai puncak). Pengaruh perbaikan pada model 3B3S dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15.** Kekakuan Lateral Model 3B3S, Variasi Retak 9

Dari Gambar 4.15, indikasi-indikasi yang muncul pada analisis periode getar alami dan beban gempa terbukti. Hasil yang didapatkan dari kekakuan lateral model 3B3S menunjukkan bahwa:

Kekakuan lateral model 3B3S-TANPADINDING (panel dinding bata hanya sebagai beban) hanya 2,53% kekakuan lateral model 3B3S-UTUH (panel dinding bata ikut dimodelkan).

Retak pada model 3B3S-RETAK (retak pada seluruh panel) menurunkan kekakuan lateral model 3B3S hingga 55,17% kekakuan lateral model 3B3S-UTUH.

Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku mampu mengembalikan kekakuan lateral model 3B3S (100,19% - 101,19% kondisi utuh). Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku lebih baik dalam mengembalikan kekakuan lateral model 3B3S dibanding metode perbaikan plester saja (99,74% kondisi utuh). Hasil ini dirangkum dalam Tabel 4.14.

**Tabel 4. 14.** Perbandingan Kekakuan Lateral Model 3B3S

MODEL	%
Tanpa Dinding	2.53%
Dinding Utuh	
Retak Seluruh Dinding	55.17%
Perbaikan Plester	99.74%
Perbaikan Variasi 1	100.19%
Perbaikan Variasi 2	100.71%
Perbaikan Variasi 3	101.19%

Retak seluruh panel

Setelah dilakukan analisis terhadap kekakuan lateral, dilakukan analisis terhadap kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S. Tabel 4.15 merangkum kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S.

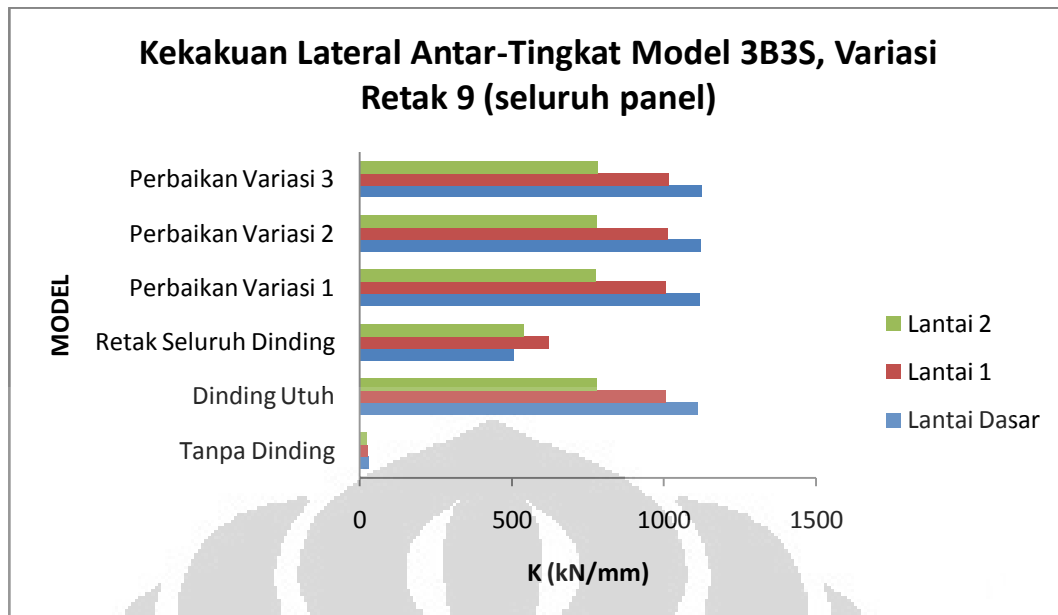
**Tabel 4. 15.** Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S

MODEL	K (kN/mm)		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
3B3S-TANPADINDING	27.63156	24.24503	21.88649
3B3S-UTUH	1111.815	1004.095	776.4491
3B3S-RETAK	506.0516	619.2438	536.8905

MODEL	K (kN/mm)		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
3B3S-1-B1-S123-V2	1114.258413	1004.446587	774.9793337
3B3S-2-B2-S123-V2	1114.537578	1005.288436	775.8857841
3B3S-3-B3-S123-V2	1114.250665	1004.71647	774.6087474
3B3S-4-B12-S123-V2	1114.250665	1007.472506	777.5368737
3B3S-5-B123-S1-V2	1119.740546	1003.120797	773.4105106
3B3S-6-B123-S2-V2	1111.505227	1009.17538	774.3607238
3B3S-7-B123-S3-V2	1111.765971	1002.167954	777.7530744
3B3S-8-B123-S12-V2	1119.410854	1009.963585	774.4280139
3B3S-9-B123-S123-V1	1116.913603	1004.482585	775.2187283
3B3S-10-B123-S123-V2	1119.320921	1009.897083	778.8401743
3B3S-11-B123-S123-V3	1124.965851	1014.747646	782.1156436

Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

Dari Tabel 4.15 ditunjukkan bahwa kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S-TANPADINDING jauh lebih kecil daripada model 3B3S-UTUH. Ditunjukkan pula retak menurunkan kekakuan lateral antar-tingkat, sementara perbaikan mampu mengembalikan kekakuan lateral antar tingkat mendekati kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S-UTUH. Hal ini sejalan dengan hasil analisis kekakuan lateral.



**Gambar 4. 16.** Kekakuan Lateral Antar Tingkat Model 3B3S, Variasi Retak 9

Dari Gambar 4.16 ditunjukkan bahwa variasi metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kekakuan lateral antar-tingkat model 3B3S. Hal ini ditunjukkan lebih detail pada Tabel 4.16.

**Tabel 4. 16.** Perbandingan Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S, Variasi Retak 9

<b>Lantai Dasar</b>		<b>%</b>
Tanpa Dinding	27.63156	2.49%
Dinding Utuh	1111.815	
Retak Seluruh Dinding	506.0516	45.52%
Perbaikan Variasi 1	1116.913603	100.46%
Perbaikan Variasi 2	1119.320921	100.68%
Perbaikan Variasi 3	1124.965851	101.18%

<b>Lantai 1</b>		<b>%</b>
Tanpa Dinding	24.24503	2.41%
Dinding Utuh	1004.095	
Retak Seluruh Dinding	619.2438	61.67%
Perbaikan Variasi 1	1004.482585	100.04%
Perbaikan Variasi 2	1009.897083	100.58%
Perbaikan Variasi 3	1014.747646	101.06%

<b>Lantai 2</b>		<b>%</b>
Tanpa Dinding	21.88649	2.82%
Dinding Utuh	776.4491	
Retak Seluruh Dinding	536.8905	69.15%
Perbaikan Variasi 1	775.2187283	99.84%
Perbaikan Variasi 2	778.8401743	100.31%
Perbaikan Variasi 3	782.1156436	100.73%

Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

#### 4.2.5. Kinerja Kekuatan pada Daerah Retak

Analisis terhadap kinerja kekuatan pada daerah retak dilakukan pada model 3B3S setelah diberikan gempa statik ekuivalen. Analisis ini dilakukan untuk melihat kinerja dinding bata serta kinerja metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku. Hasil yang didapatkan dirangkum pada Tabel 4.17 untuk dinding bata, Tabel 4.18 untuk plester, dan Tabel 4.19 untuk kawat anyam terpaku.



**Tabel 4. 17.** Tegangan Utama Dinding Bata Daerah Retak Model 3B3S Diperbaiki

DINDING BATA		TARIK (Mpa)	CEK	TEKAN (Mpa)	CEK
MODEL	3B3S-1-B1-S123-V2	0.122	Oke	-0.09	Oke
	3B3S-2-B2-S123-V2	0.132	Oke	-0.091	Oke
	3B3S-3-B3-S123-V2	0.112	Oke	-0.122	Oke
	3B3S-4-B12-S123-V2	0.132	Oke	-0.091	Oke
	3B3S-5-B123-S1-V2	0.131	Oke	-0.121	Oke
	3B3S-6-B123-S2-V2	0.104	Oke	-0.09	Oke
	3B3S-7-B123-S3-V2	0.059	Oke	-0.072	Oke
	3B3S-8-B123-S12-V2	0.131	Oke	-0.121	Oke
	3B3S-9-B123-S123-V1	0.132	Oke	-0.123	Oke
	3B3S-10-B123-S123-V2	0.131	Oke	-0.121	Oke
	3B3S-11-B123-S123-V3	0.131	Oke	-0.121	Oke

**Tabel 4. 18.** Tegangan Utama Plester Model 3B3S Diperbaiki

PLESTER		TARIK (Mpa)	CEK	TEKAN (Mpa)	CEK
MODEL	3B3S-1-B1-S123-V2	0.802	Gagal	-1.226	Oke
	3B3S-2-B2-S123-V2	0.243	Oke	-1.208	Oke
	3B3S-3-B3-S123-V2	0.192	Oke	-1.664	Oke
	3B3S-4-B12-S123-V2	0.801	Gagal	-1.226	Oke
	3B3S-5-B123-S1-V2	0.799	Gagal	-1.657	Oke
	3B3S-6-B123-S2-V2	0.662	Gagal	-1.217	Oke
	3B3S-7-B123-S3-V2	0.231	Oke	-1.227	Oke
	3B3S-8-B123-S12-V2	0.8	Gagal	-1.656	Oke
	3B3S-9-B123-S123-V1	0.802	Gagal	-1.662	Oke
	3B3S-10-B123-S123-V2	0.8	Gagal	-1.656	Oke
	3B3S-11-B123-S123-V3	0.799	Gagal	-1.654	Oke

**Tabel 4. 19.** Gaya Aksial Kawat Anyam Terpaku Model 3B3S Diperbaiki

KAWAT ANYAM TERPAKU		AKSIAL (N)	CEK
MODEL	3B3S-1-B1-S123-V2	219.88	Oke
	3B3S-2-B2-S123-V2	191.21	Oke
	3B3S-3-B3-S123-V2	155.93	Oke
	3B3S-4-B12-S123-V2	219.31	Oke
	3B3S-5-B123-S1-V2	219	Oke
	3B3S-6-B123-S2-V2	152.98	Oke
	3B3S-7-B123-S3-V2	76.75	Oke
	3B3S-8-B123-S12-V2	218.82	Oke
	3B3S-9-B123-S123-V1	218.74	Oke
	3B3S-10-B123-S123-V2	218.83	Oke
	3B3S-11-B123-S123-V3	218.88	Oke

Dari Tabel 4.18, Tabel 4.19, dan Tabel 4.20 ditunjukkan bahwa dinding bata yang diperbaiki dengan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku tidak mengalami kegagalan saat diberikan beban gempa statik ekuivalen. Elemen

plester mengalami kegagalan pada sebagian besar model, sementara kawat anyam terpaku ditunjukkan tidak mengalami kegagalan pada seluruh model 3B3S yang diperbaiki dengan plester dan kawat anyam terpaku.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil dan analisis penelitian diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan plester dan kawat anyam terpaku sebagai metode perbaikan dinding bata mampu mengembalikan kinerja dinding bata yang diperbaiki seperti kondisi utuh, baik kinerja kekuatan maupun kinerja kekuatan.
- Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku mampu mengembalikan kapasitas tekan dinding bata hingga 101,54% dan kapasitas tarik hingga 100,65% dibandingkan kondisi dinding bata utuh.
- Penggunaan kawat anyam terpaku pada metode perbaikan menurunkan kapasitas tekan plester hingga 21,24% dibandingkan kondisi jika metode perbaikan hanya plester saja, sementara kapasitas tarik plester meningkat hingga 106,32%.
- Penggunaan plester pada perbaikan dinding bata tidak mampu mengembalikan kapasitas tarik pada celah retak, namun mampu meningkatkan kapasitas tekannya.
- Penambahan paku pada kawat anyam mampu meningkatkan kapasitas tarik kawat anyam hingga 160,82% dibandingkan kondisi jika kawat anyam tidak terpaku.
- Penambahan elemen dinding bata struktural dalam model portal mampu meningkatkan kekakuan struktur.
- Retak pada elemen dinding bata menurunkan kekakuan portal yang menggunakan elemen dinding bata pada model.
- Metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku mampu mengembalikan kekakuan portal hingga mendekati kondisi utuh, namun tidak mengurangi atau menambah kekakuan secara signifikan.

## 5.2. Saran

- Model bangunan yang digunakan sebaiknya divariasikan, tidak hanya simetris atau panel dinding yang sama rasio bentang-tingginya.
- Batasan analisis sebaiknya dikembangkan hingga analisis plastis non linier
- Elemen paku sebaiknya tidak dimodelkan sebagai nodal saja untuk melihat sumbangannya yang lebih nyata terhadap kekuatan maupun kekakuan model yang dianalisis.
- Interaksi portal dengan dinding bata pada model yang dianalisis sebaiknya ditinjau, antara lain untuk memastikan bahwa portal tidak mengalami kegagalan terlebih dahulu daripada dinding bata.
- Melakukan penelitian eksperimental untuk melihat kecenderungan lokasi dan bentuk retak pada struktur akibat beban lateral sebagai bahan pemodelan.
- Efek sendi plastis pada portal terhadap dinding bata ditinjau untuk analisis yang lebih mendekati kondisi nyata.
- Agar dapat diaplikasikan secara nyata, sebaiknya dilakukan penelitian tentang metode konstruksi dinding bata sebagai elemen struktural serta pelaksanaan metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku.

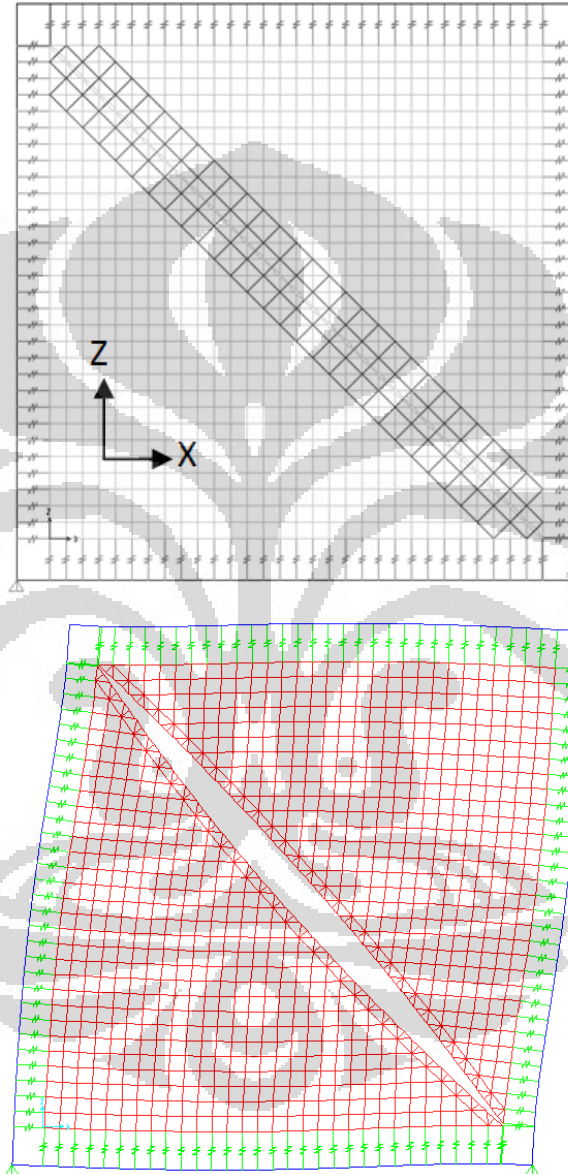
## DAFTAR REFERENSI

- Arief, Y. (2010). *Efek Dinding Pengisi Bata pada Respon Gempa Struktur Beton Bertulang*. Depok: Universitas Indonesia, Tesis Magister.
- Asteris, P.G. (2003). *Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames*. American Society of Civil Engineers (ASCE) Journal Of Structural Engineering, Vol. 129, No. 8, pp. 1071-1079.
- Asteris, P.G. (2008). *Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames*. Electronic Journal of Structural Engineering, Vol. 8, pp. 1-11.
- Badan Standarisasi Nasional (1991). *Bata Merah Pejal*. SNI-15-2094-1991.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-1726-2002.
- Basoenondo, E. A. (2008). *Lateral Load Response of Cikarang Brick wall Structures – An Experimental Study*. Brisbane: Queensland University of Technology, PhD thesis.
- Boen, Teddy and associates (2010). *Retrofitting Simple Buildings Damage by Earthquakes*. Jakarta: UNCRD.
- Chopra, Anil K. (1995). *Dynamics of Structures*. New Jersey: Prentice Hall.
- Collins, Michael P., Mitchell, Denis. (1991). *Prestressed Concrete Structures*. Prentice Hall, New Jersey.
- Dogji, Jigme, Thambiratnam, D. P., (2009). *Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads*. The Open Construction and Building Technology Journal 2009, Vol 3, pp. 119-126.
- Dogji, Jigme. (2009). *Seismic Performance of Brick Infilled RC Frame Structures in Low and Medium Rise Buildings in Bhutan*. Brisbane: Queensland University of Technology, Master of Engineering thesis.
- El Gawadi, M., Lestuzzi, P., Badoux, M. (2004, July). *A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM*. Paper presented at the 13<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam.
- Ghali, A., Neville, A.M.. (1978). *Analisa Struktur: Gabungan Metode Klasik dan Matriks, Edisi Kedua* (Wira, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.

- Hartmann, Friedel., Katz, Casimir. (2007). *Structural Analysis with Finite Elements*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidel.
- Hibbeler, R.C. (2008). *Mechanics of Material (8<sup>th</sup> ed)*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Katili, I. (2008). *Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal*. Bandung: Rajawali Press.
- Klingner, Richard E. (2010). *Masonry Structural Design*. New York: McGraw-Hill.
- Lin, G.R., Quek, S.S. (2003). *The Finite Element Method: A Practical Course*. Oxford: Elsevier Butterworth Heinemann.
- MacGregor, James G., Wight, James K. (2006). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. Singapore: Pearson Prentice Hall.
- Naeim, Farzad., et al. (2001). *The Seismic Design Handbook (2<sup>nd</sup> ed.)*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidel.
- Paulay, T., Priestley, M.J.N. (1990). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. San Diego: Wiley Interscience.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z. (2000). *The Finite Element Method: Its Basic and Fundamentals*. Oxford: Elsevier Butterworth Heinemann.

## Lampiran: Model 1B1S

### *Performance Analysis of Masonry Wall Retrofitted using Plaster and Nailed Low Grade Wire Mesh*



## Lampiran 1 : Keterangan Model 1B1S

Berikut adalah penjelasan tentang kode yang digunakan untuk model 1B1S.

contoh 1: 1B1S-UTUH

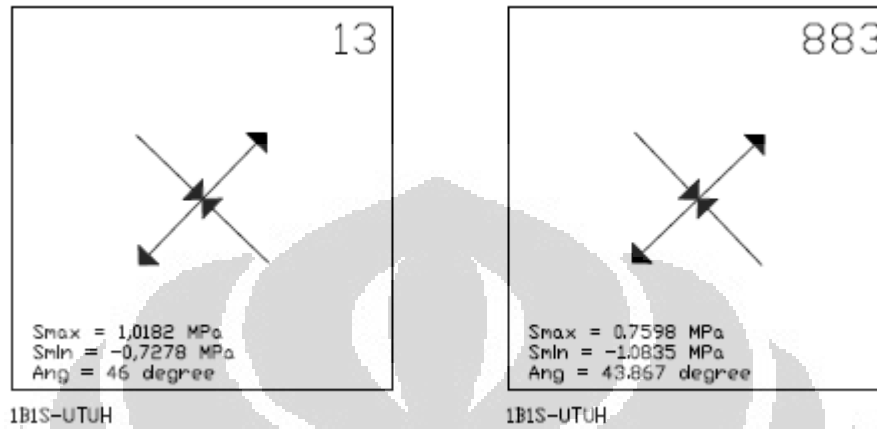
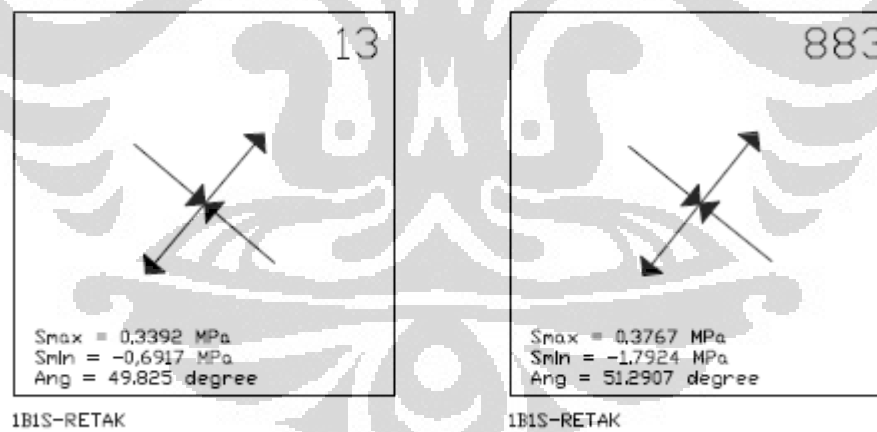
<b><i>1B1S-UTUH</i></b>	
“1B1S”	Menjelaskan bahwa model tersebut adalah model 1B1S
“UTUH”	Menjelaskan <b>kondisi dinding bata</b> pada model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• UTUH (kondisi utuh),</li> <li>• RETAK (kondisi retak),</li> <li>• PLESTER2 (diperbaiki dengan plester saja), dan</li> <li>• KAWAT2 (diperbaiki dengan plester dan kawat anyam, dengan grid kawat anyam sesuai variasi 2)</li> </ul>

contoh 2: 1B1S-2-5

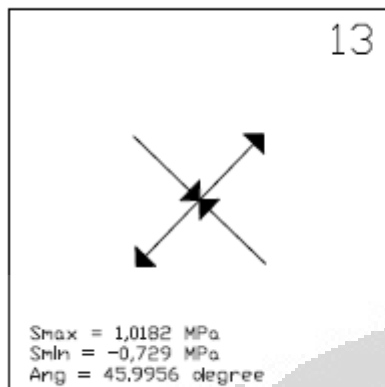
<b><i>1B1S-2-5</i></b>	
“1B1S”	Menjelaskan bahwa model tersebut adalah model 1B1S
“2”	Menjelaskan <b>variasi metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku</b> yang digunakan pada model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “1” (variasi 1),</li> <li>• “2” (variasi 2), dan</li> <li>• “3” (variasi 3)</li> </ul>
“5”	Menjelaskan <b>jumlah pelepasan elemen link (<i>un-link</i>) pada ujung <i>tension tie</i></b> yang diberikan pada model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “0” (tidak ada <i>un-link</i>),</li> <li>• “1” (satu kali <i>un-link</i>),</li> <li>• “2” (dua kali <i>un-link</i>),</li> <li>• “3” (tiga kali <i>un-link</i>),</li> <li>• “4” (tiga kali <i>un-link</i>), dan</li> <li>• “5” (lima kali <i>un-link</i>)</li> </ul>



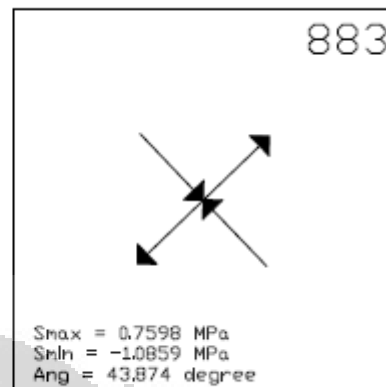
## Lampiran 2 : Ilustrasi Tegangan Utama Dinding Bata Model 1B1S

**Model 1B1S-UTUH****Model 1B1S-RETAK**

### Model 1B1S-PELESTER2

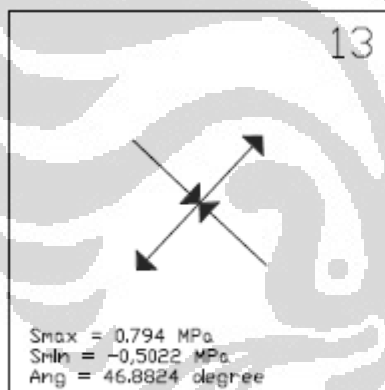


1B1S-PELESTER2

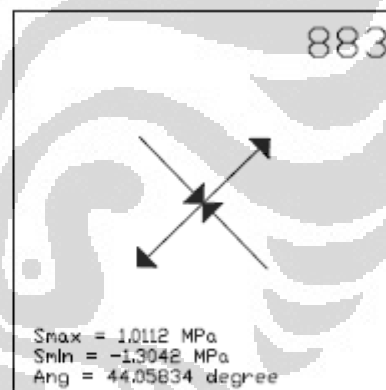


1B1S-PELESTER2

### Model 1B1S-KAWAT2

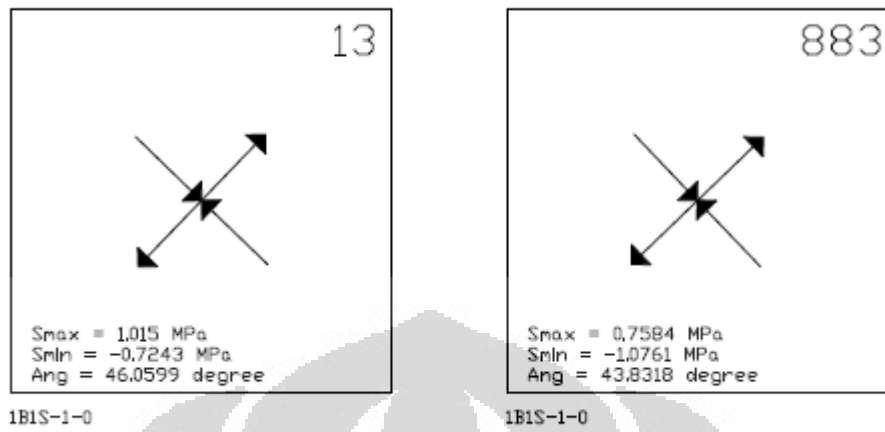


1B1S-KAWAT2

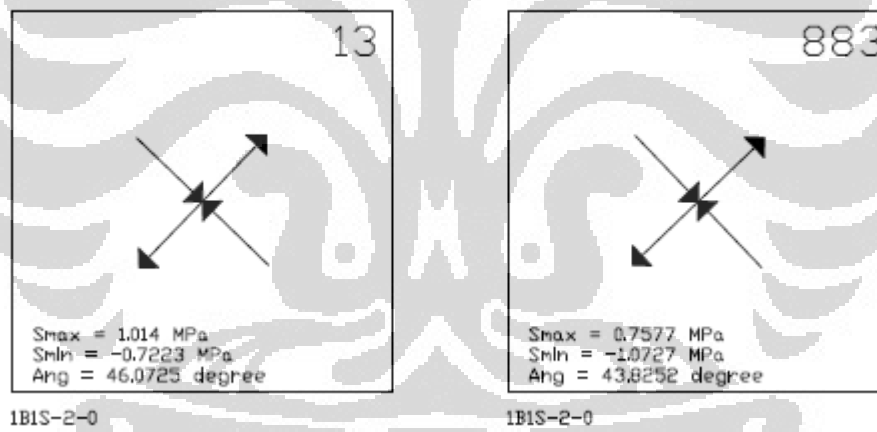


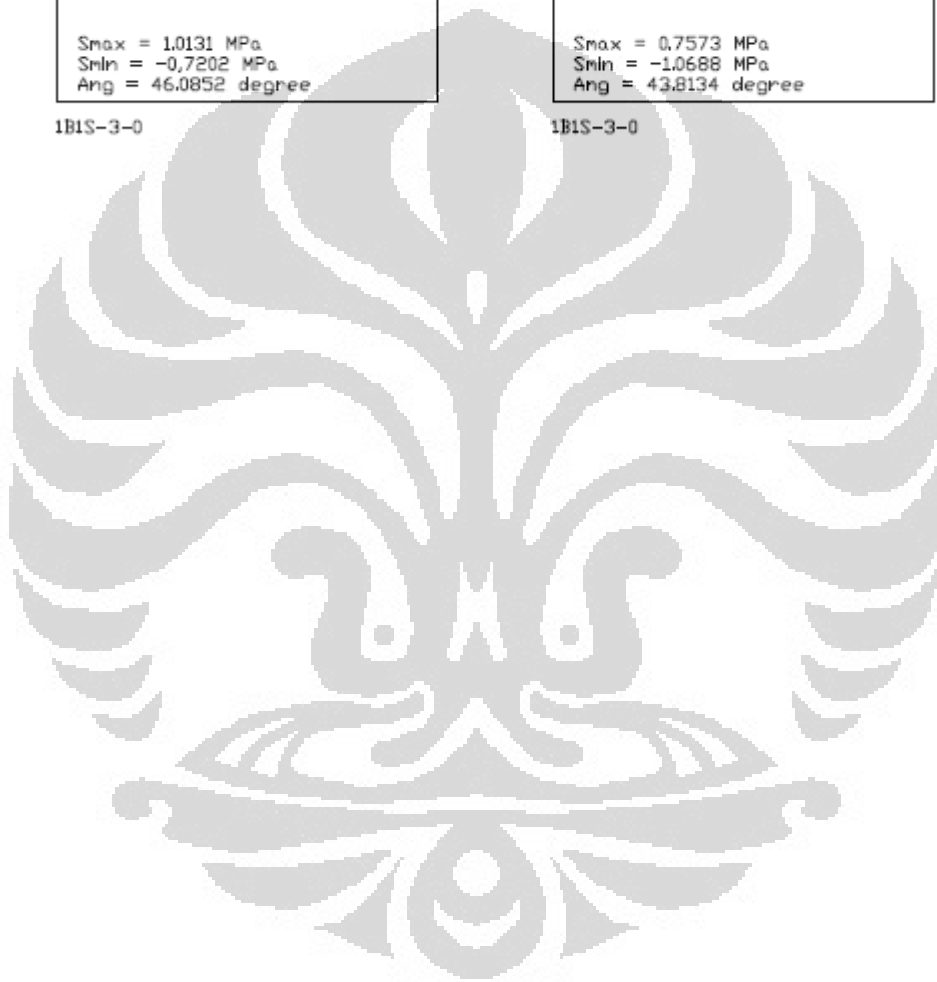
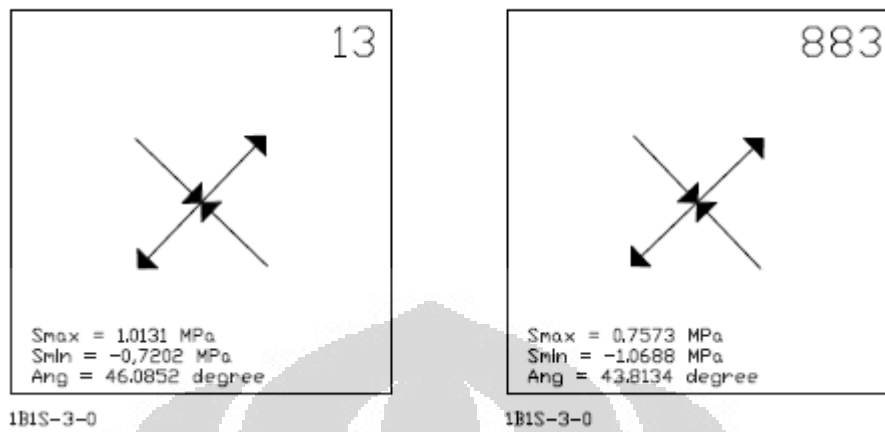
1B1S-KAWAT2

### Model 1B1S-1-0

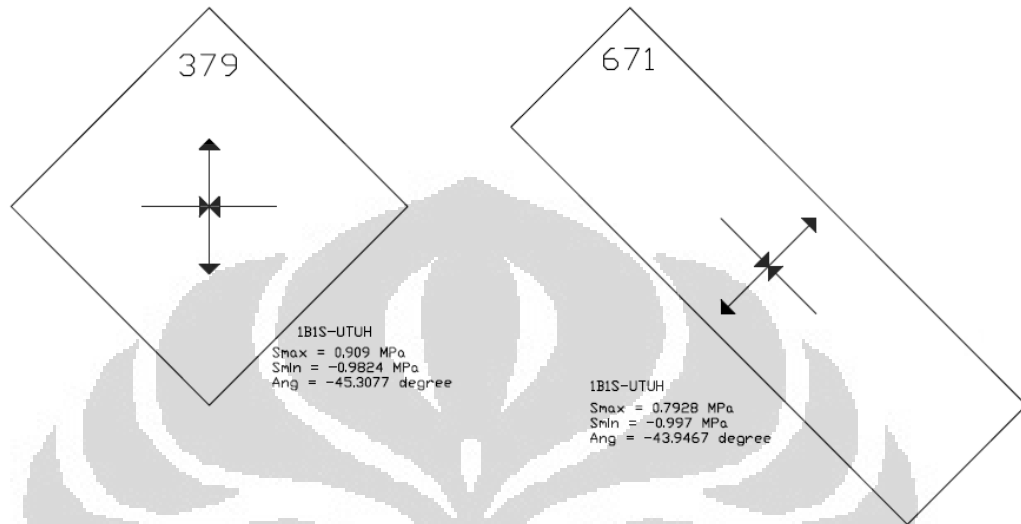
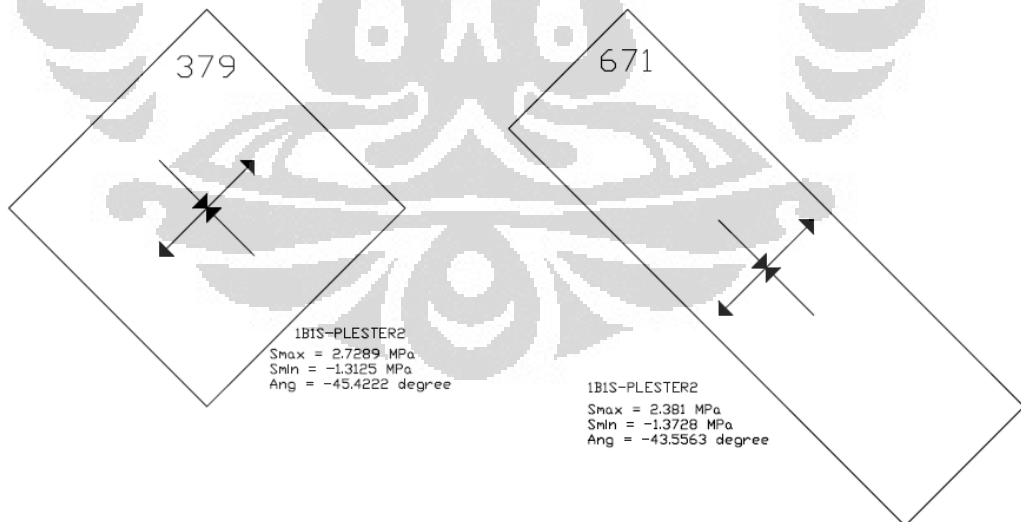


### Model 1B1S-2-0

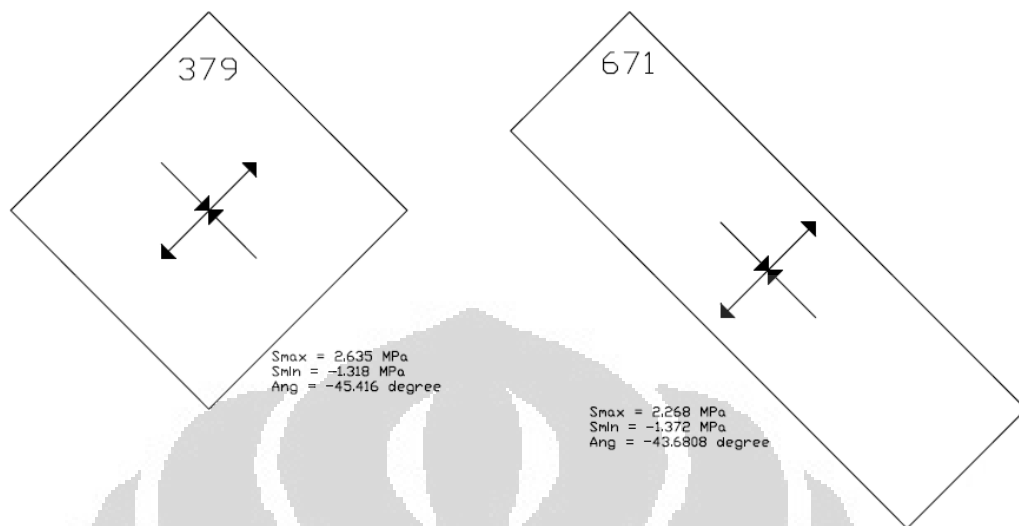


**Model 1B1S-3-0**

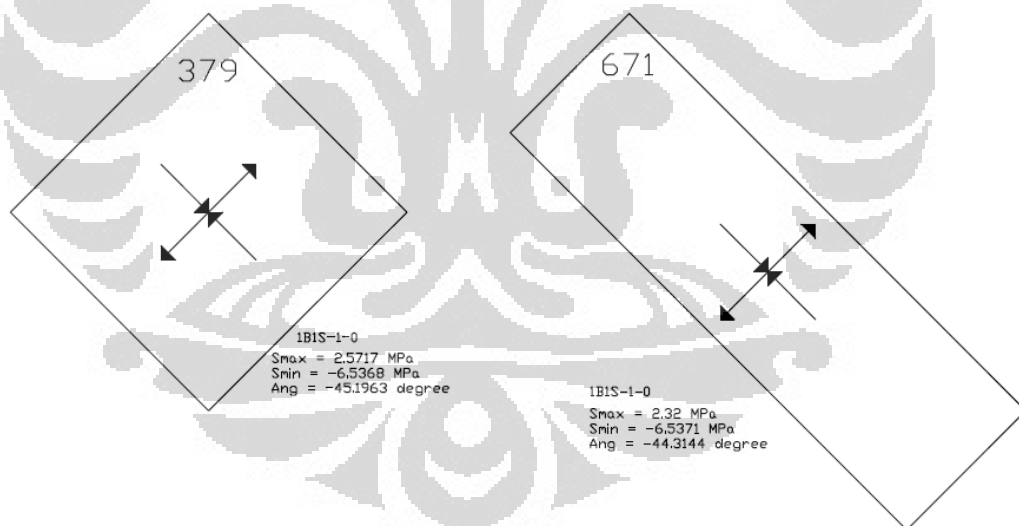
## Lampiran 3 : Ilustrasi Tegangan Utama Plester Model 1B1S

**Model 1B1S-UTUH (Dinding Bata)****Model 1B1S-PLESTER2**

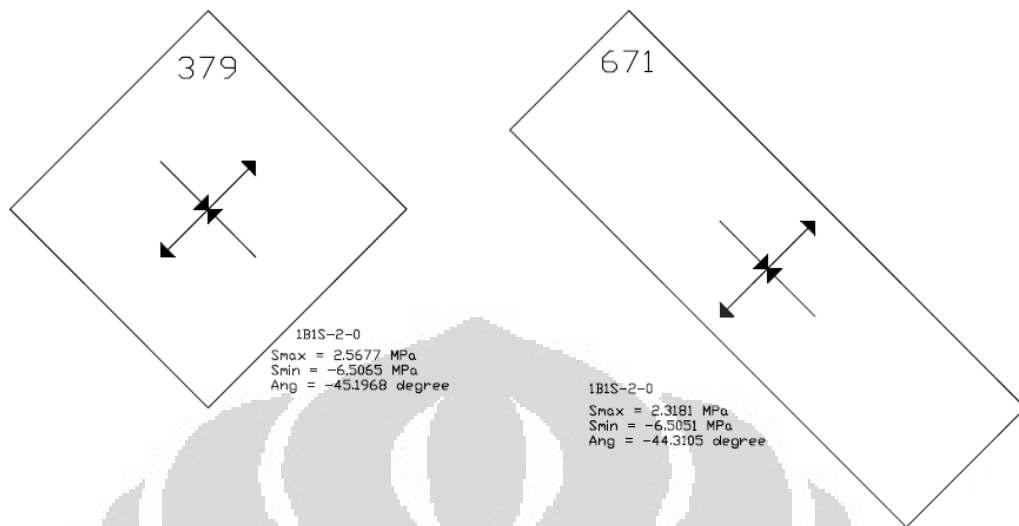
### Model 1B1S-KAWAT2



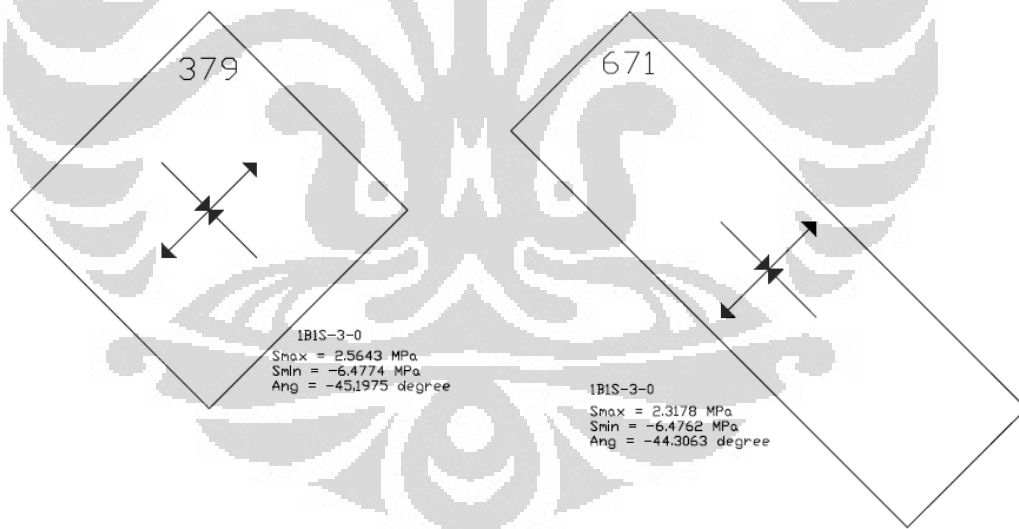
### Model 1B1S-1-0



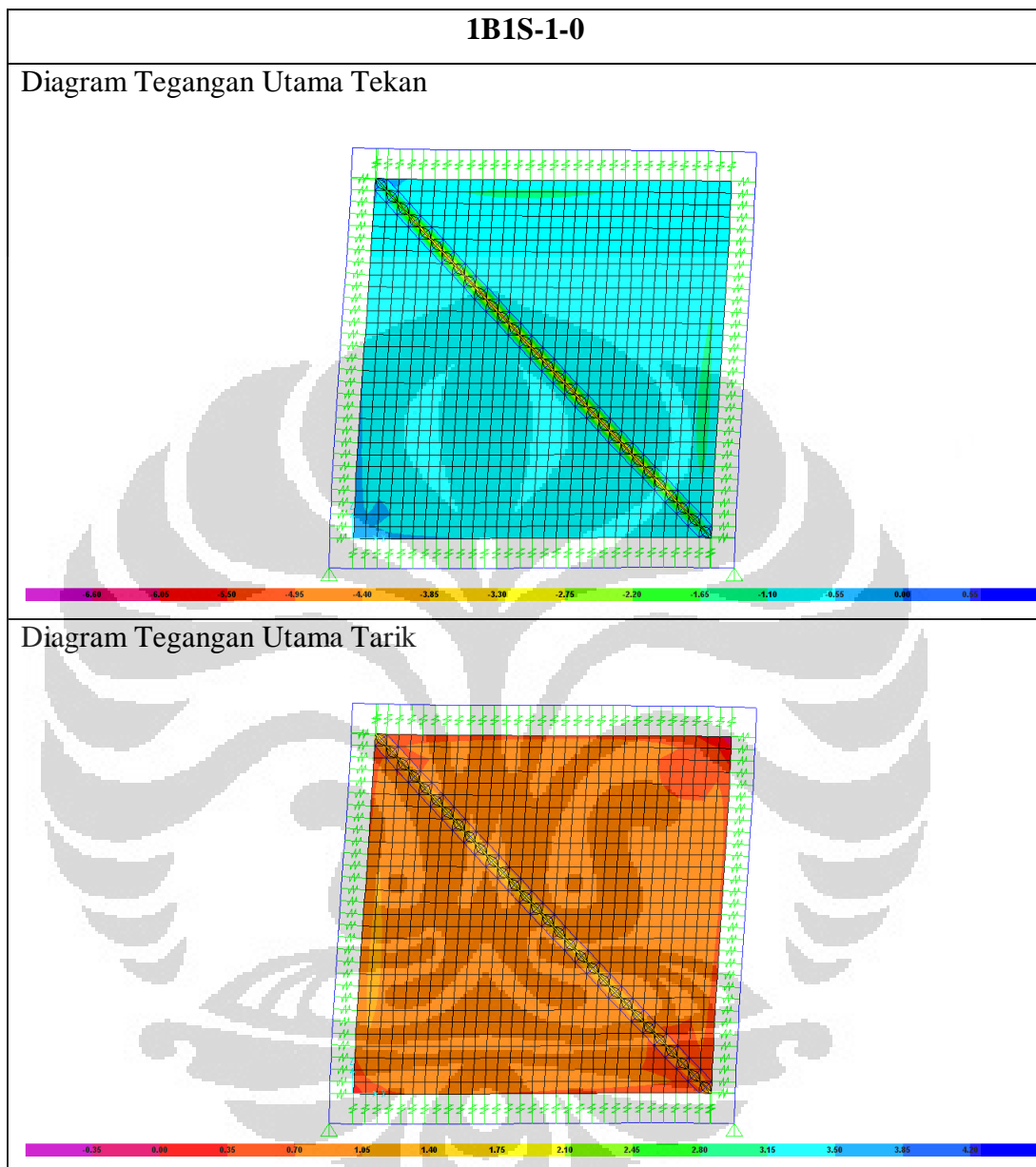
### Model 1B1S-2-0



### Model 1B1S-3-0



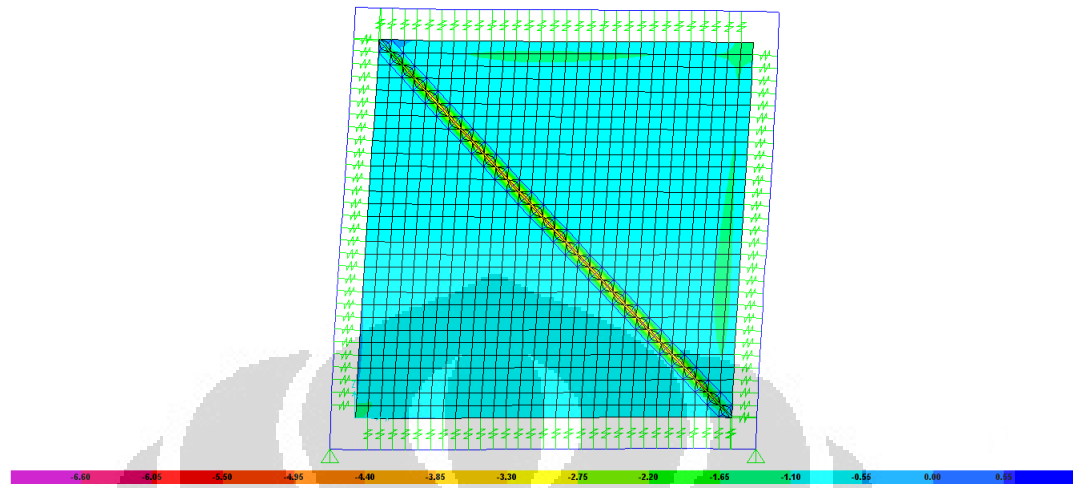
## Lampiran 4 : Diagram Tegangan Utama Model 1B1S (Tekan dan Tarik)



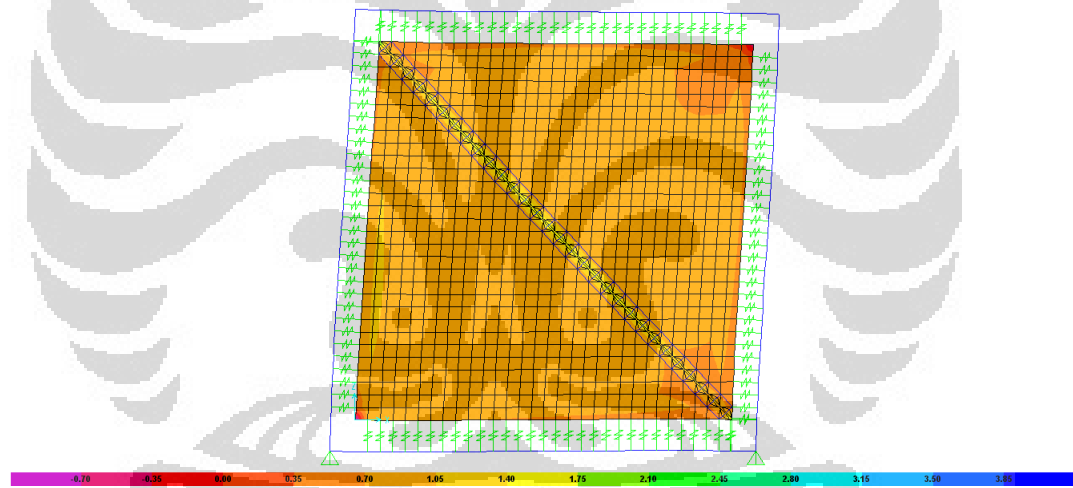


## 1B1S-1-1

## Diagram Tegangan Utama Tekan

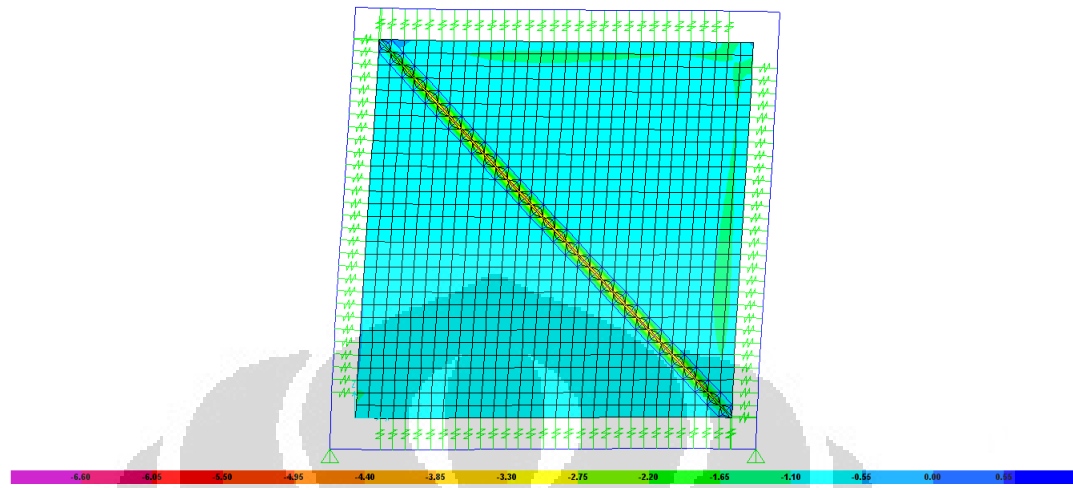


## Diagram Tegangan Utama Tarik

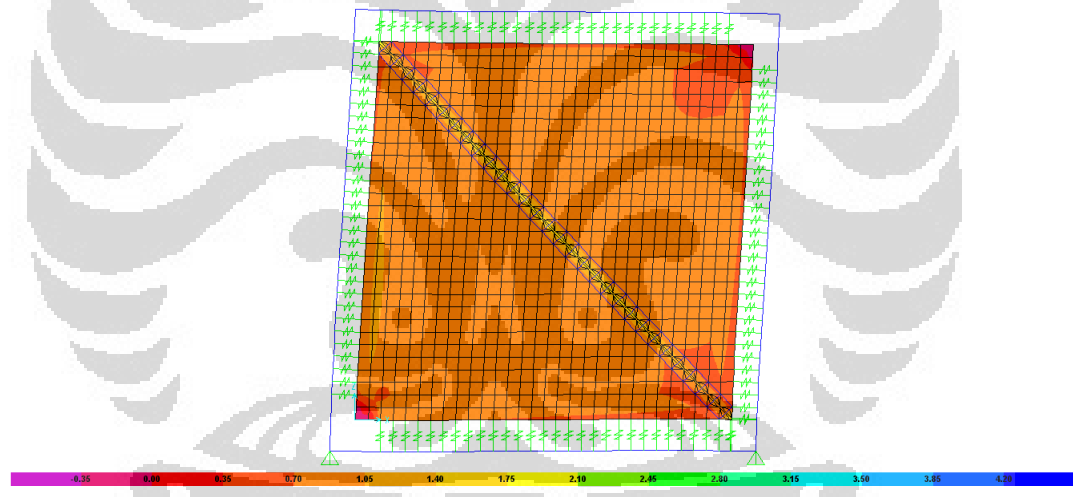


## 1B1S-1-2

## Diagram Tegangan Utama Tekan

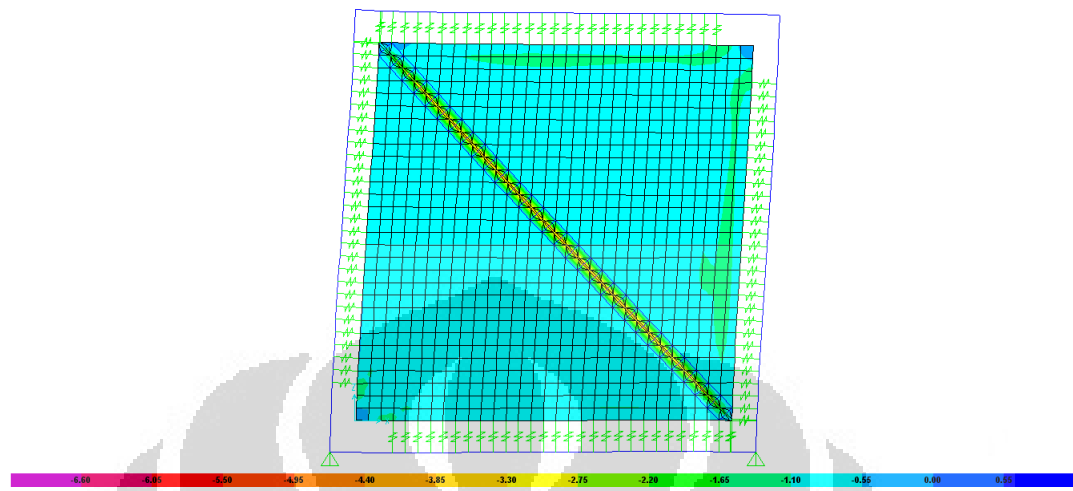


## Diagram Tegangan Utama Tarik

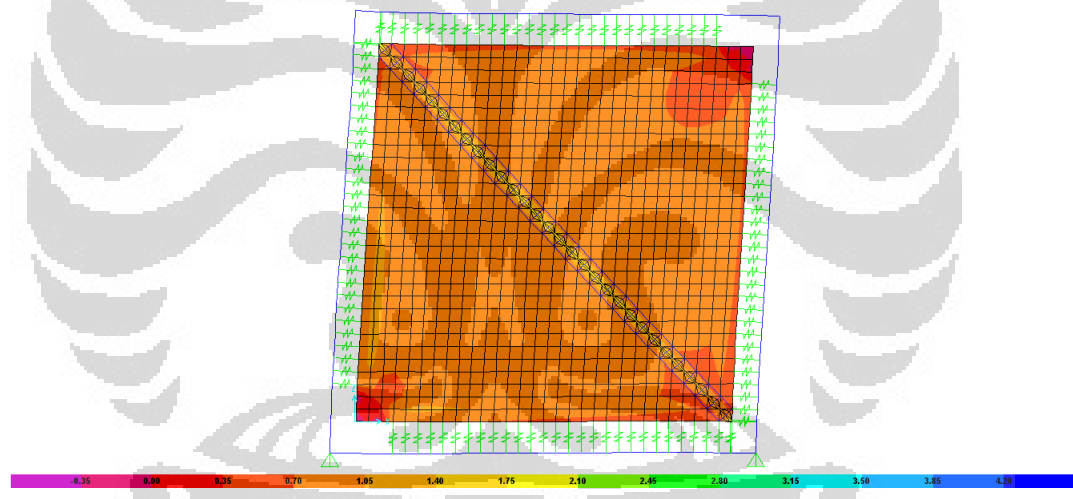


## 1B1S-1-3

## Diagram Tegangan Utama Tekan

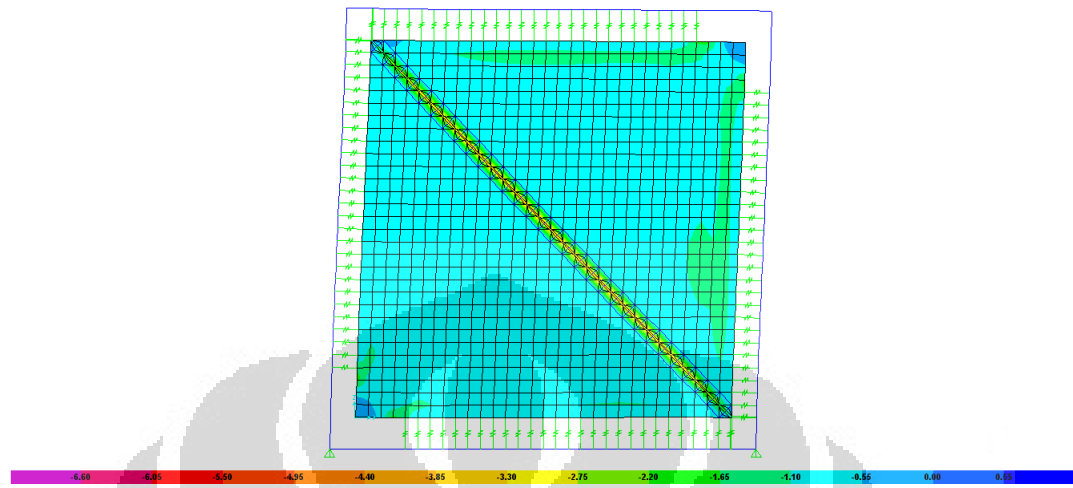


## Diagram Tegangan Utama Tarik

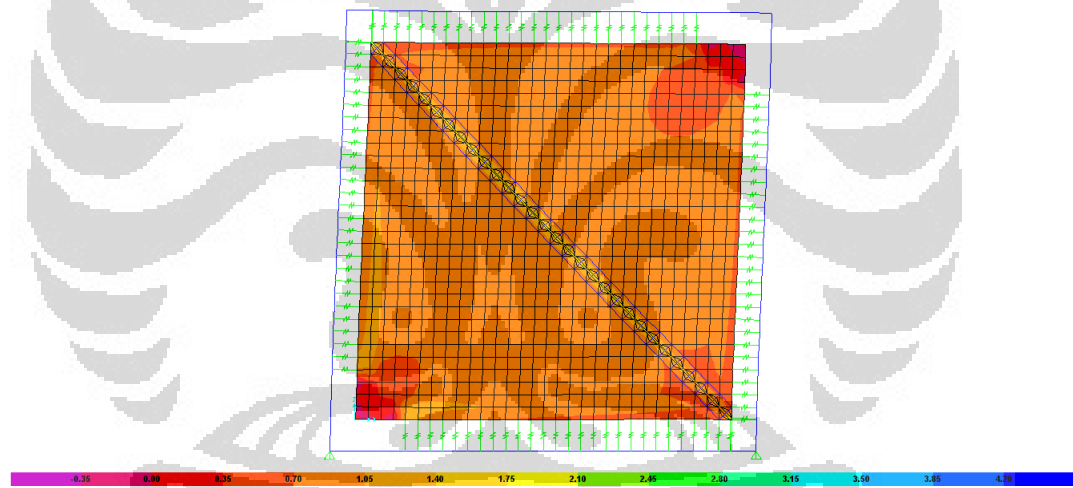


**1B1S-1-4**

## Diagram Tegangan Utama Tekan

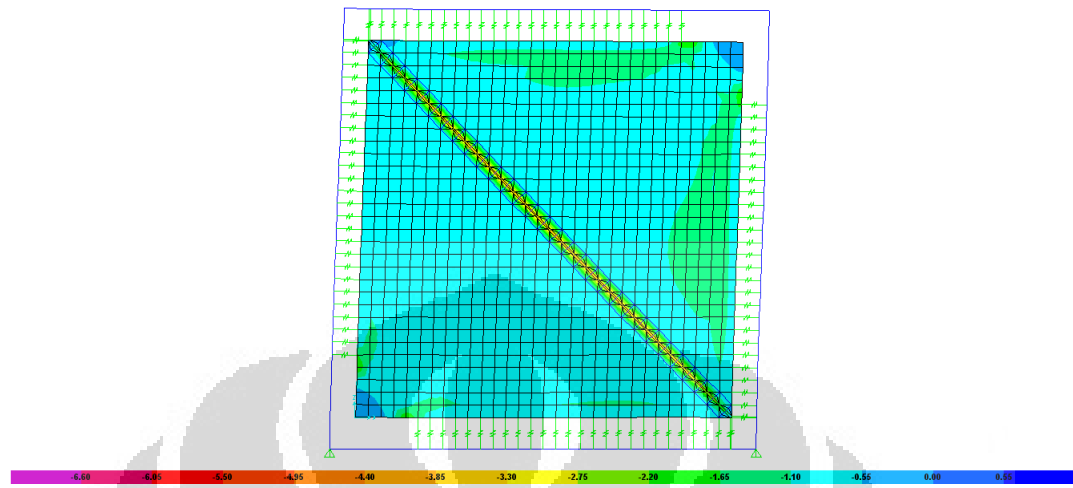


## Diagram Tegangan Utama Tarik

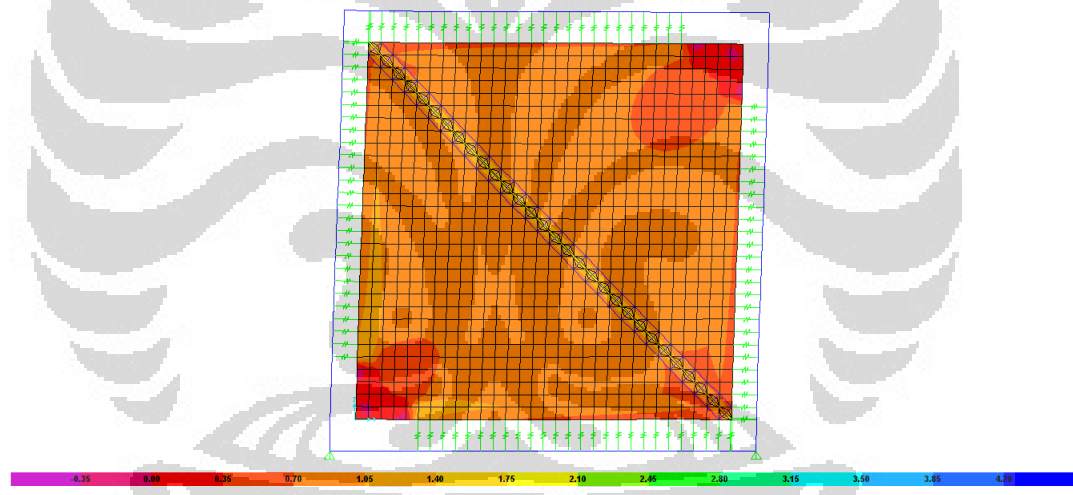


**1B1S-1-5**

## Diagram Tegangan Utama Tekan

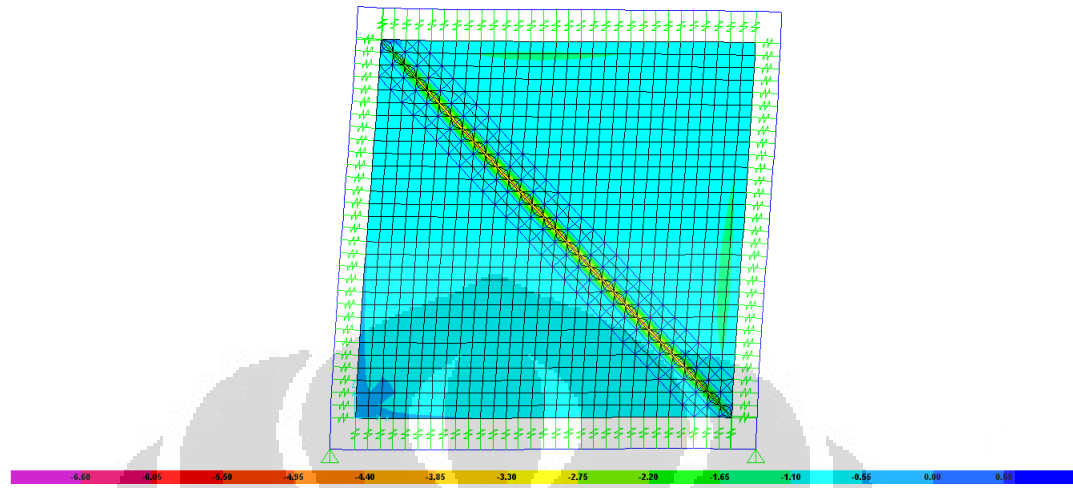


## Diagram Tegangan Utama Tarik

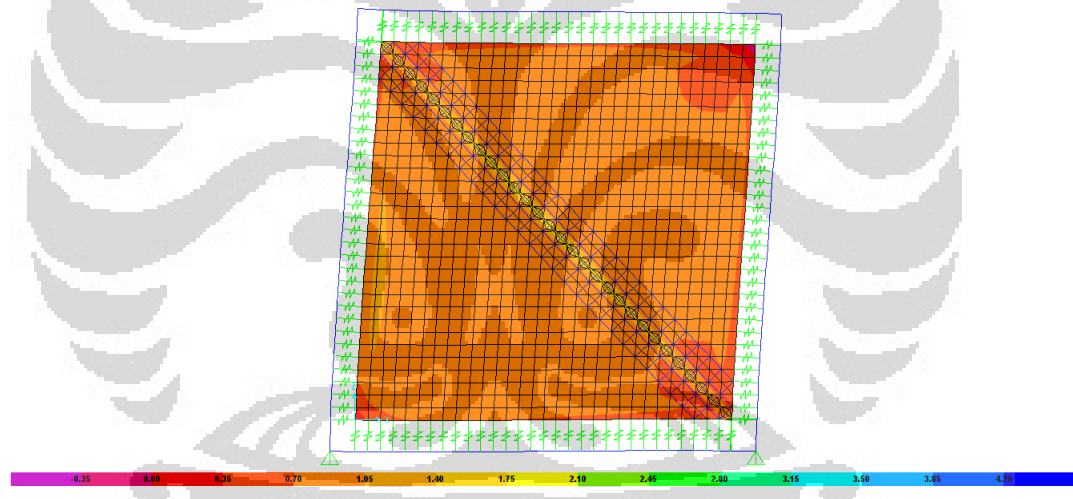


## 1B1S-2-0

## Diagram Tegangan Utama Tekan

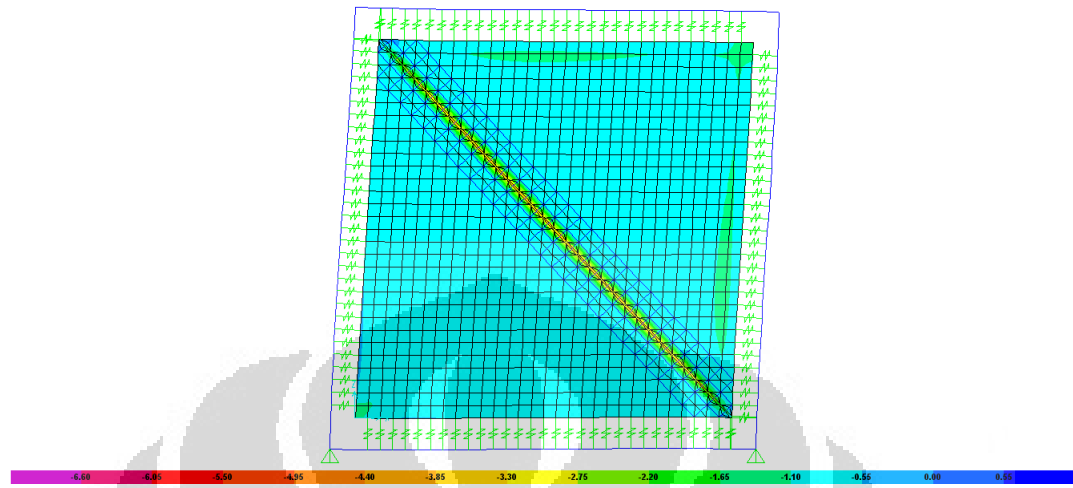


## Diagram Tegangan Utama Tarik

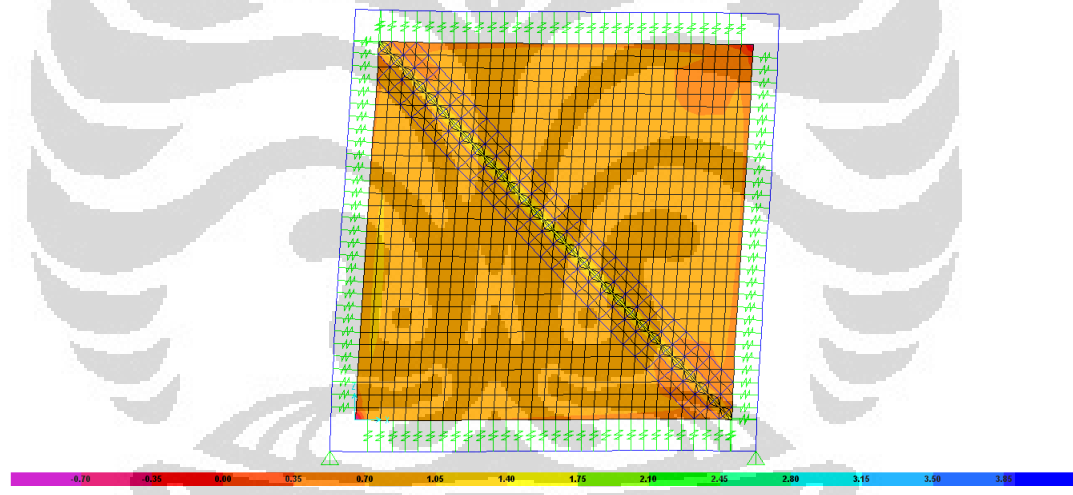


## 1B1S-2-1

## Diagram Tegangan Utama Tekan

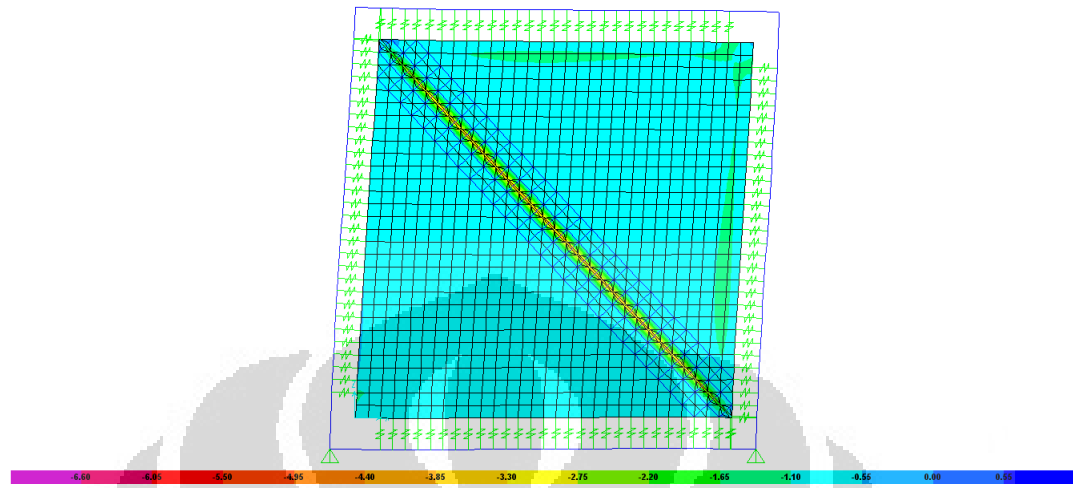


## Diagram Tegangan Utama Tarik

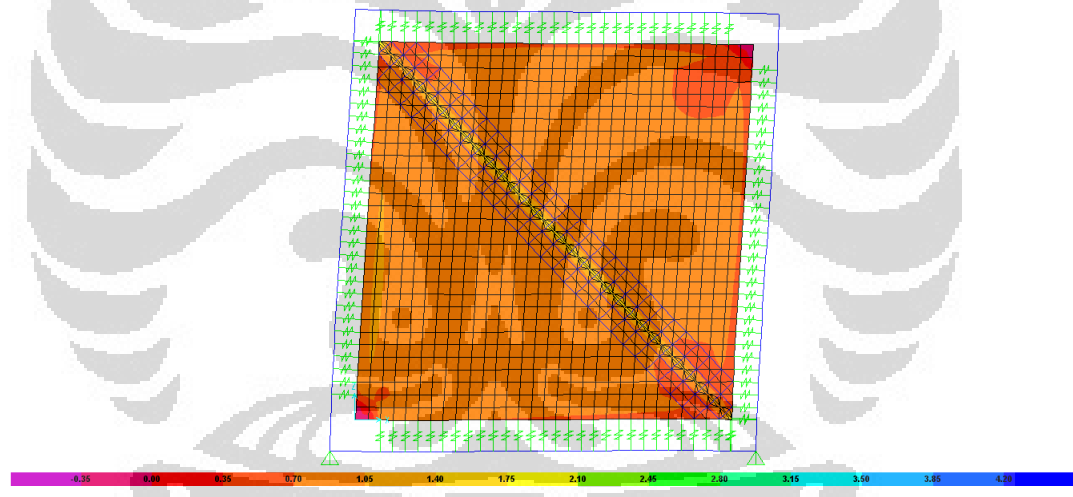


## 1B1S-2-2

## Diagram Tegangan Utama Tekan



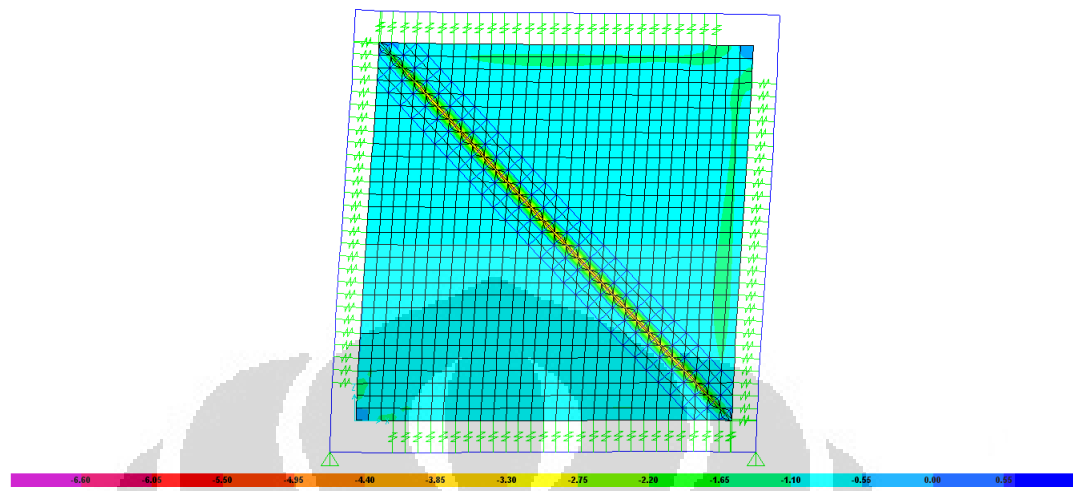
## Diagram Tegangan Utama Tarik



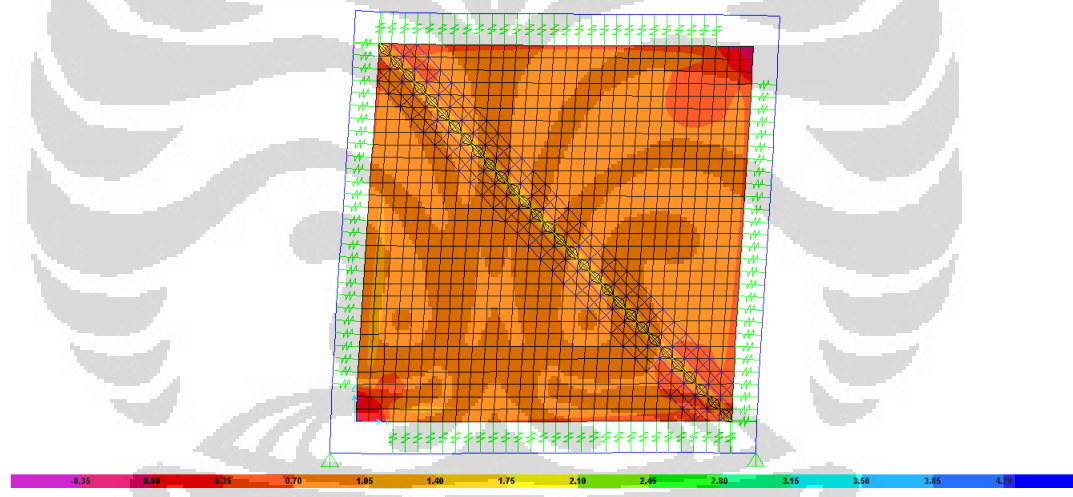


## 1B1S-2-3

## Diagram Tegangan Utama Tekan

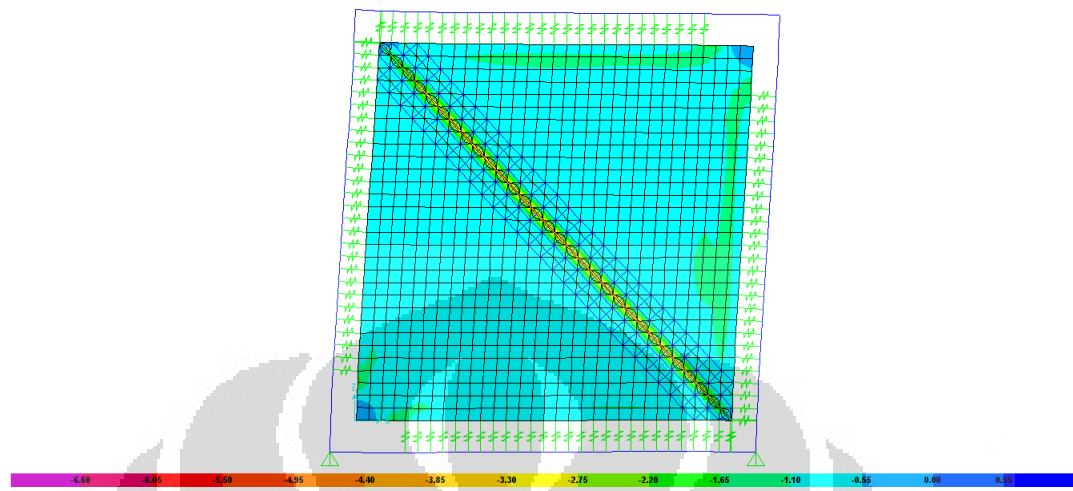


## Diagram Tegangan Utama Tarik

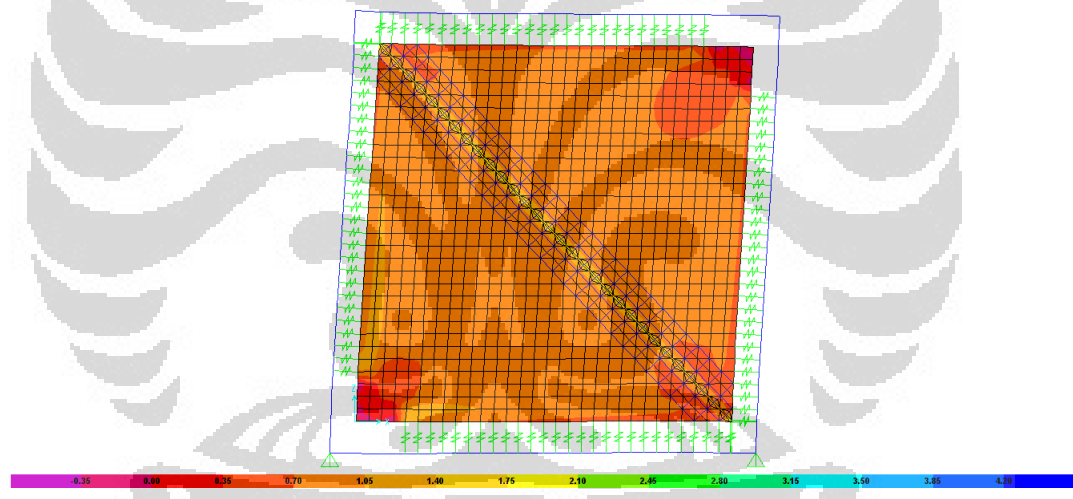


## 1B1S-2-4

## Diagram Tegangan Utama Tekan

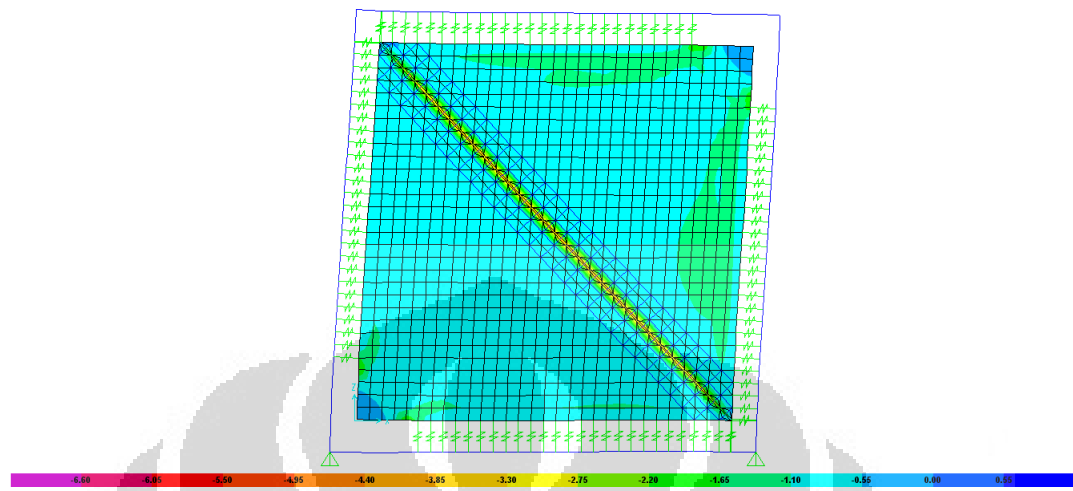


## Diagram Tegangan Utama Tarik

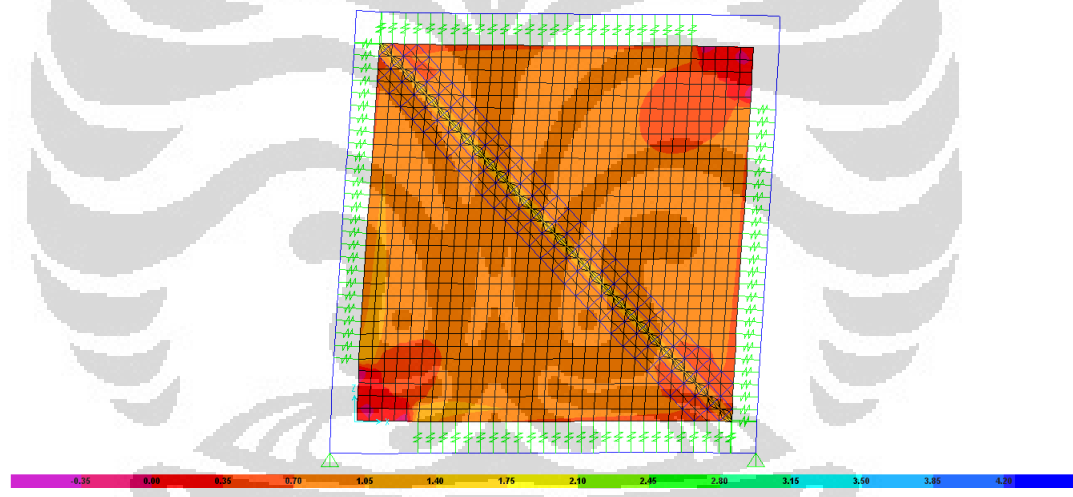


## 1B1S-2-5

## Diagram Tegangan Utama Tekan

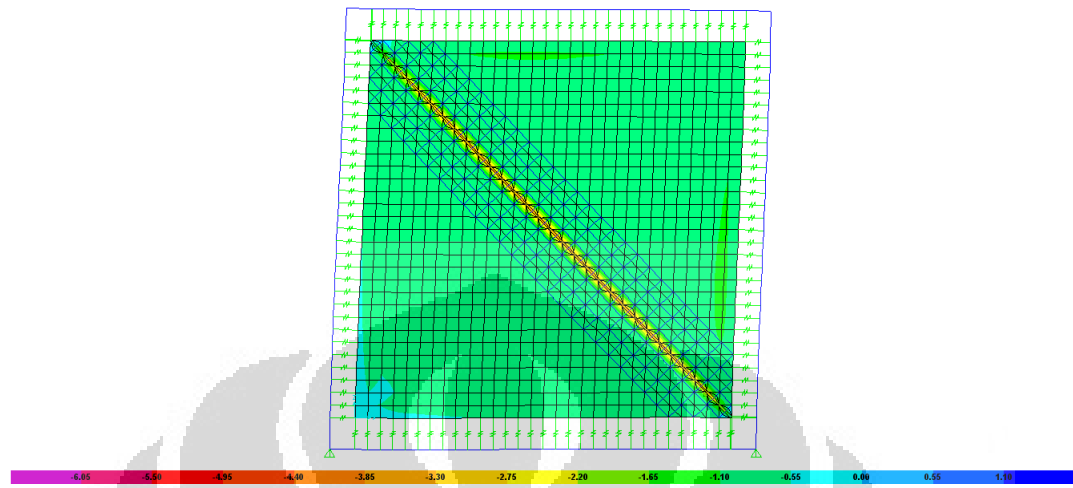


## Diagram Tegangan Utama Tarik

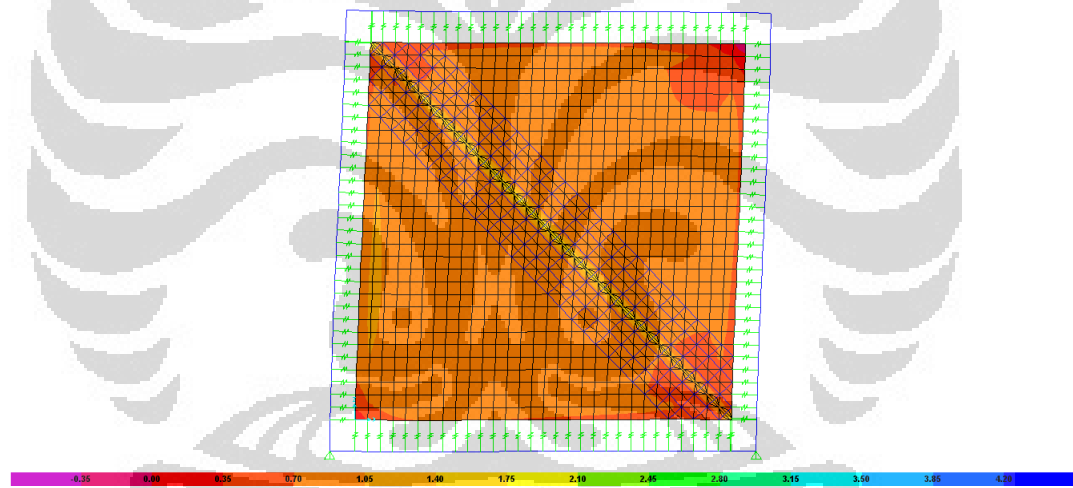


**1B1S-3-0**

## Diagram Tegangan Utama Tekan

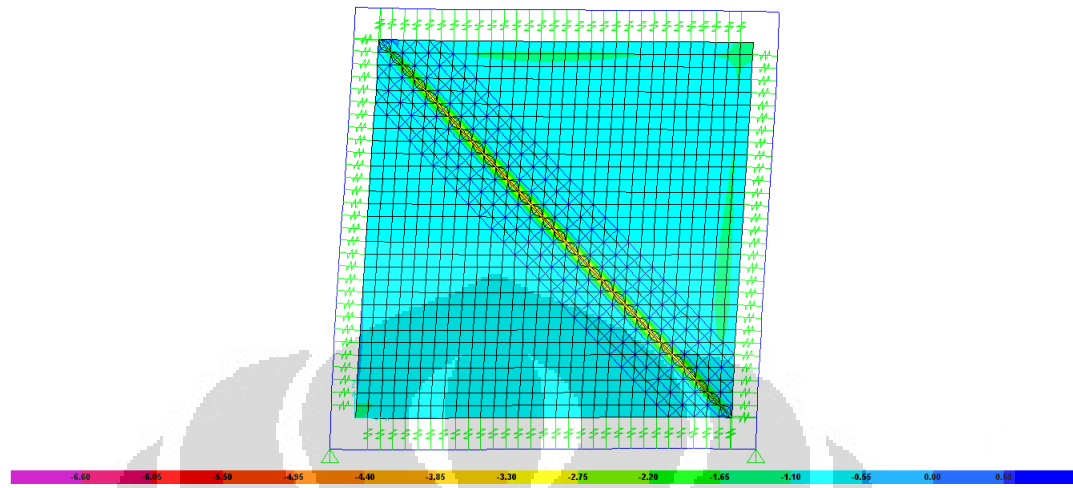


## Diagram Tegangan Utama Tarik

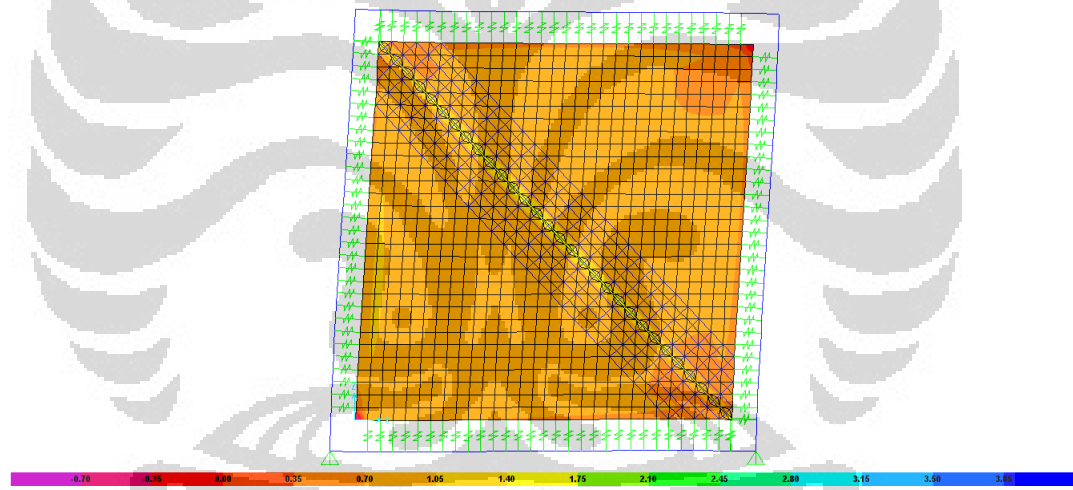


## 1B1S-3-1

## Diagram Tegangan Utama Tekan

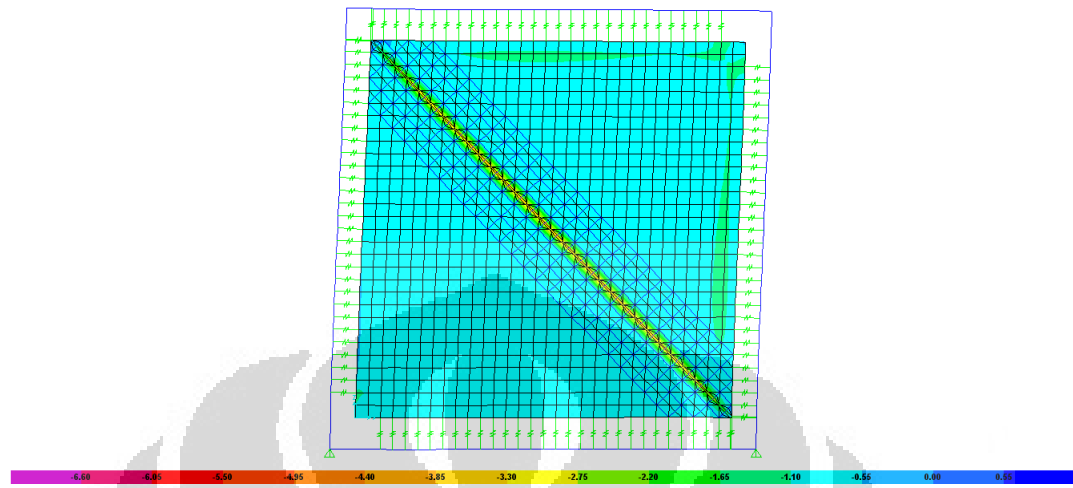


## Diagram Tegangan Utama Tarik

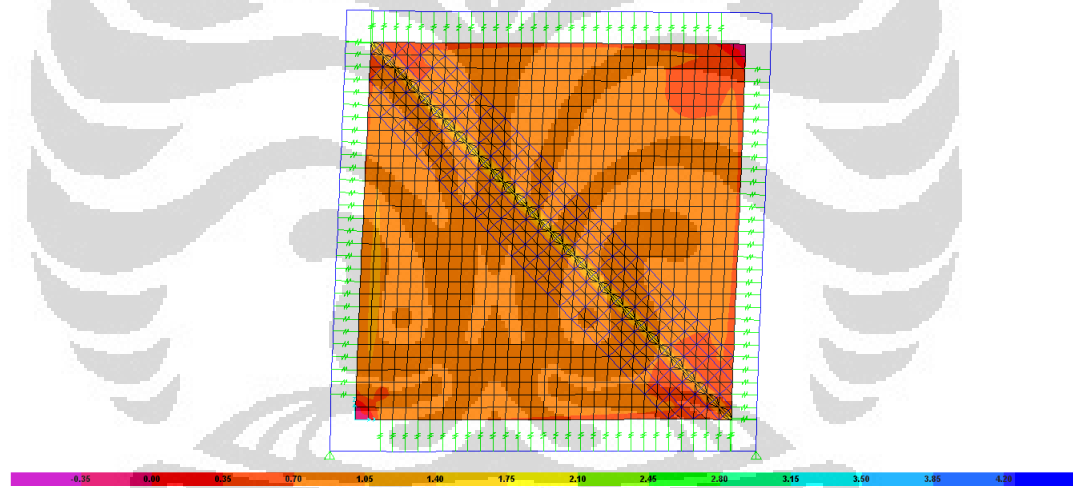


**1B1S-3-2**

## Diagram Tegangan Utama Tekan

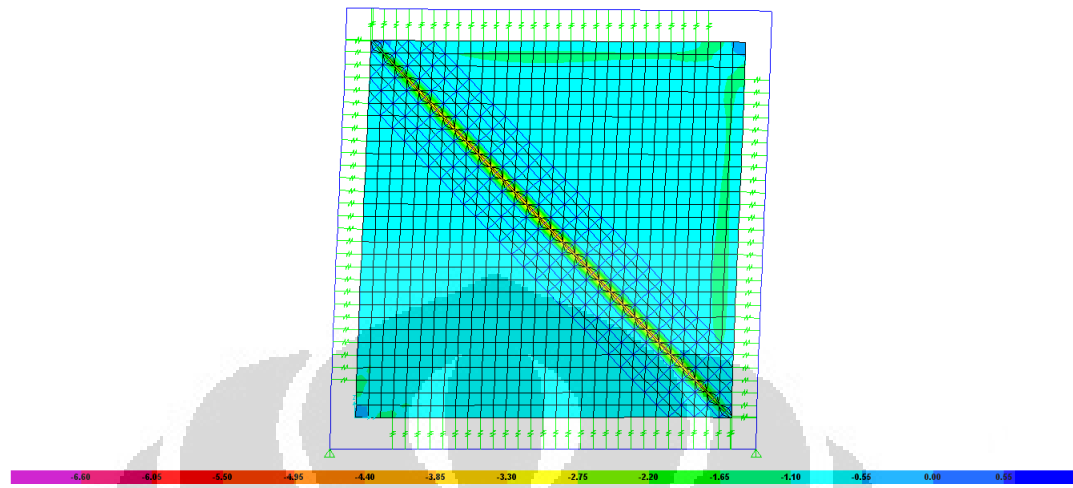


## Diagram Tegangan Utama Tarik

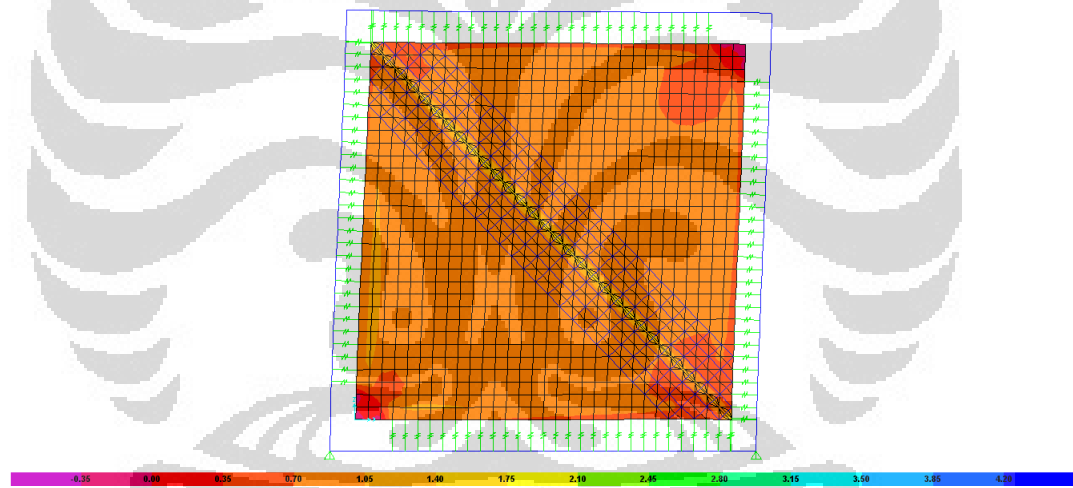


**1B1S-3-3**

## Diagram Tegangan Utama Tekan

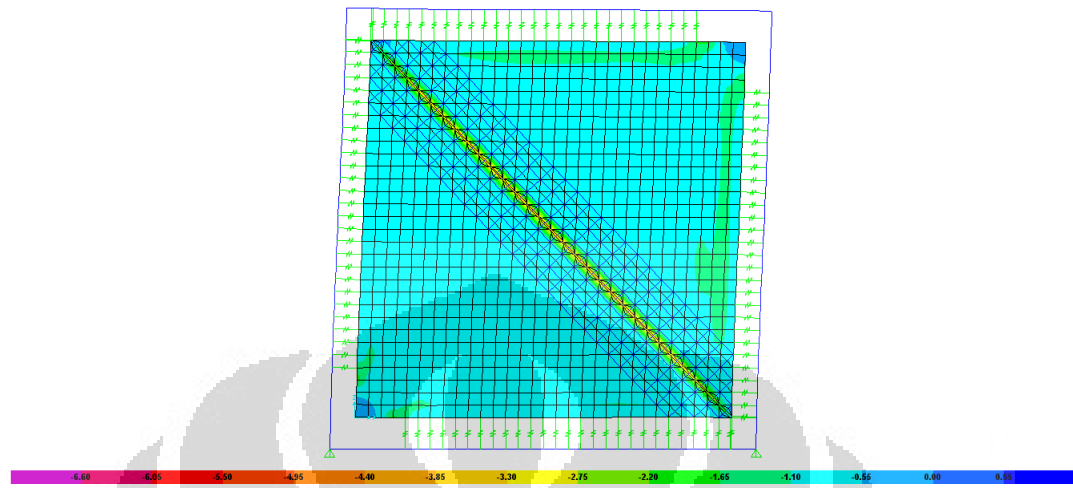


## Diagram Tegangan Utama Tarik

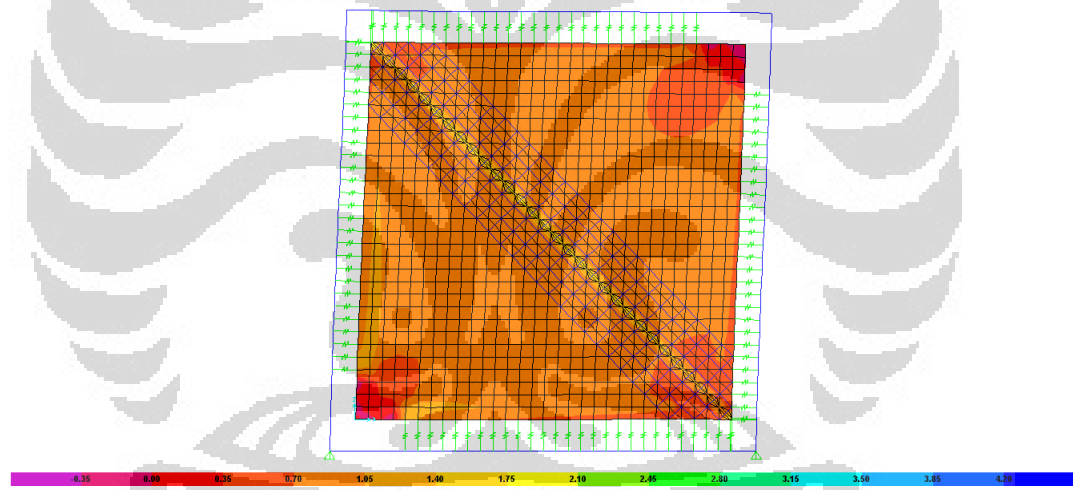


**1B1S-3-4**

## Diagram Tegangan Utama Tekan



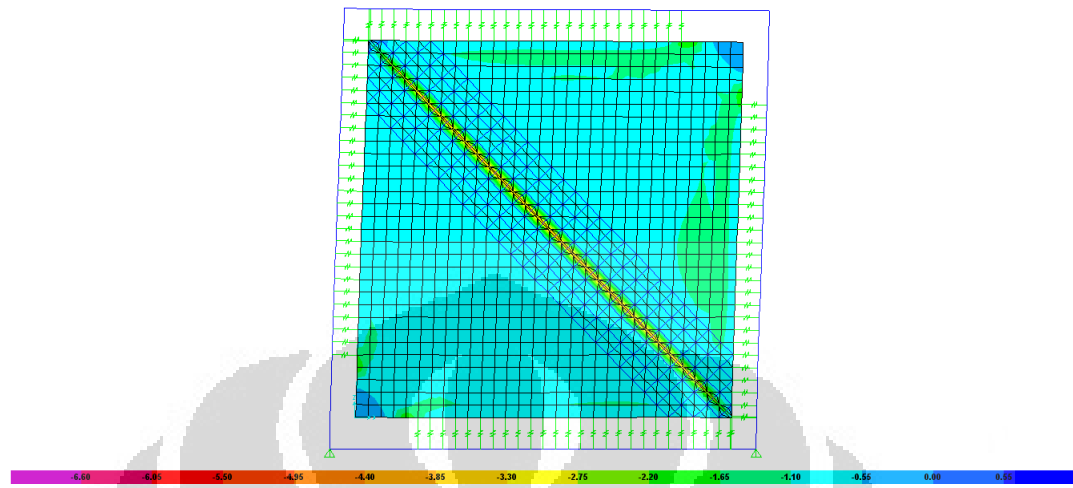
## Diagram Tegangan Utama Tarik



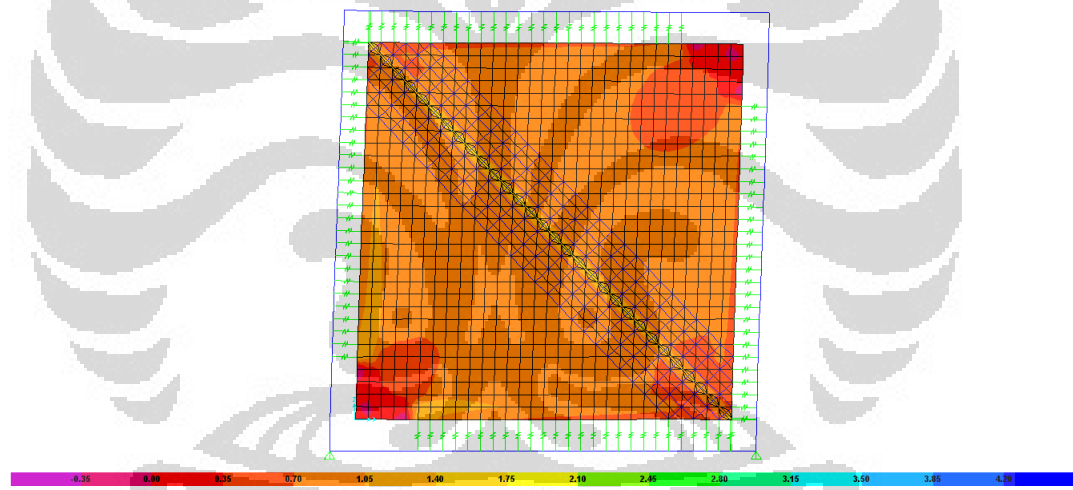


**1B1S-3-5**

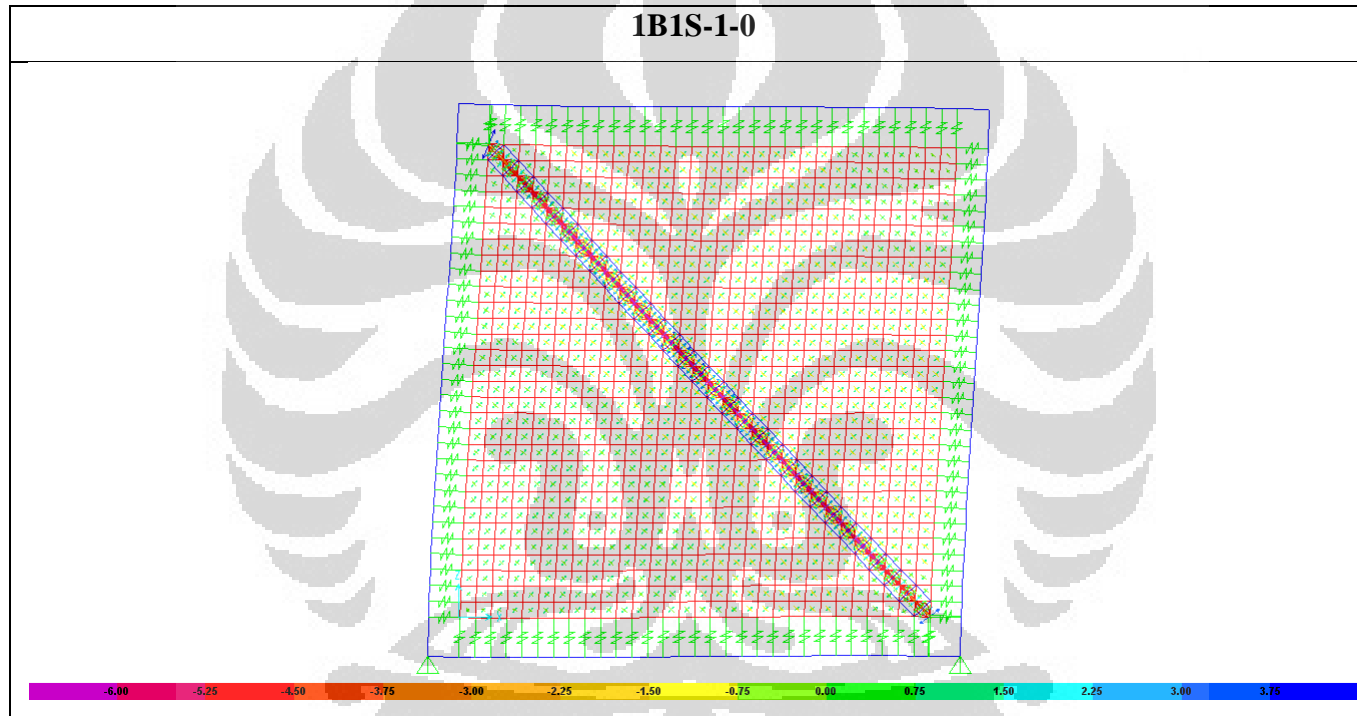
## Diagram Tegangan Utama Tekan

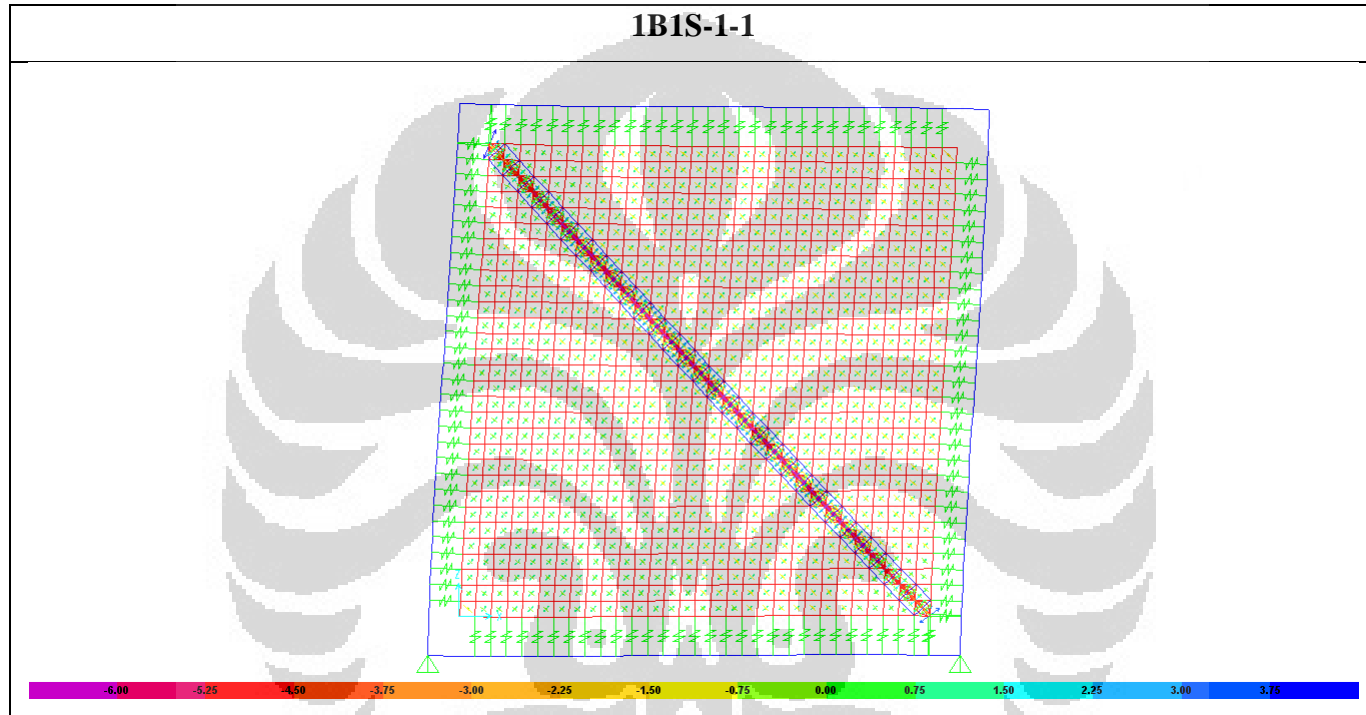


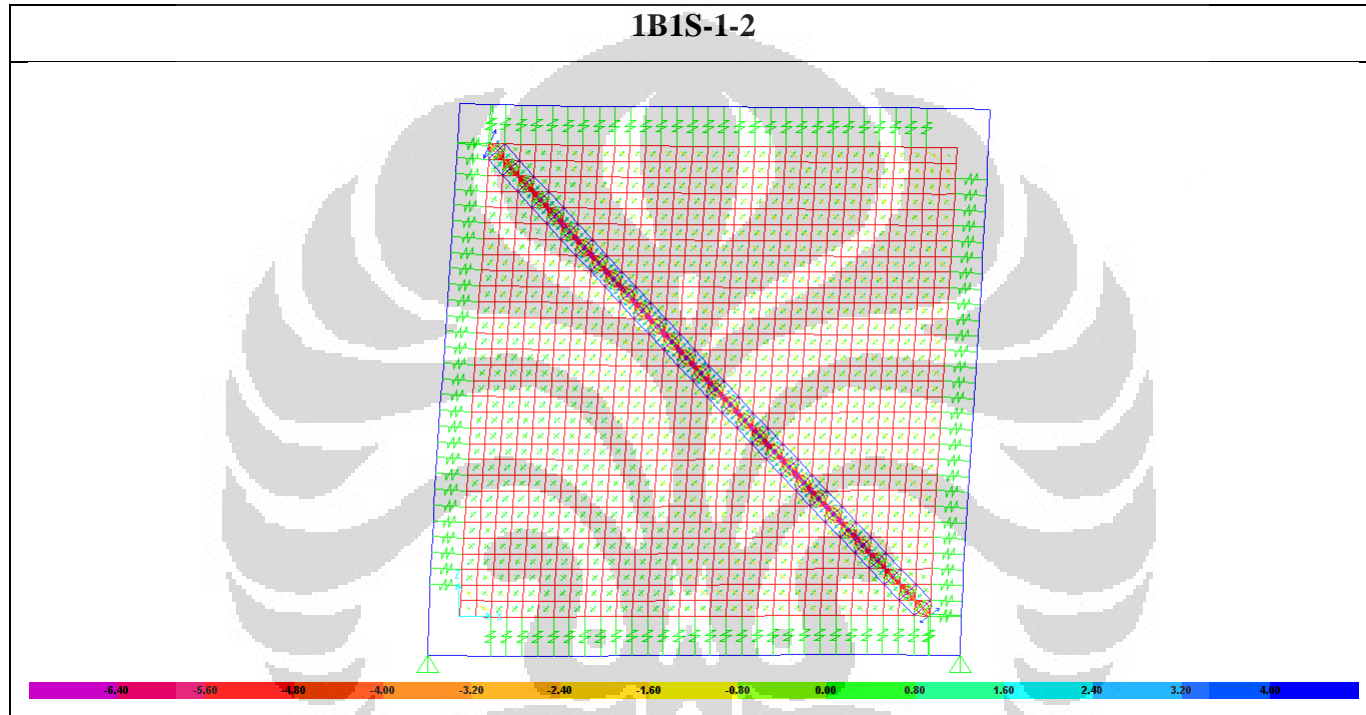
## Diagram Tegangan Utama Tarik

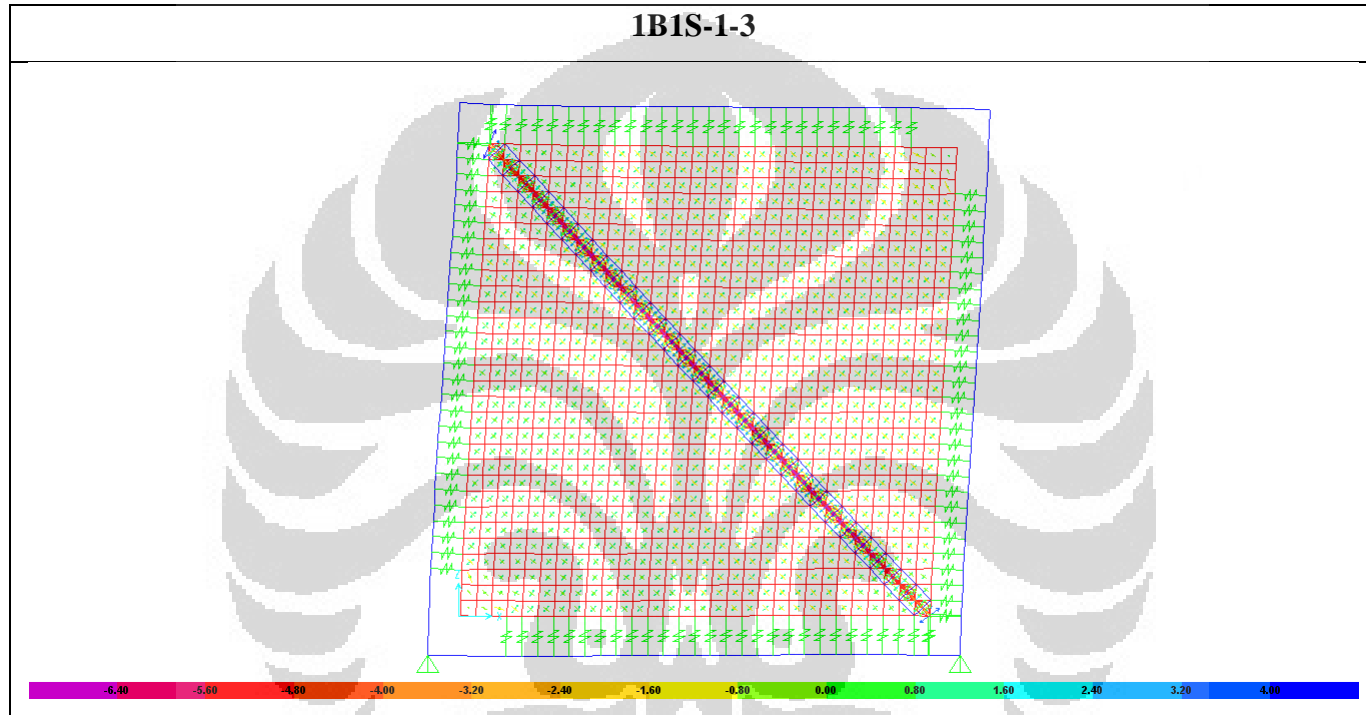


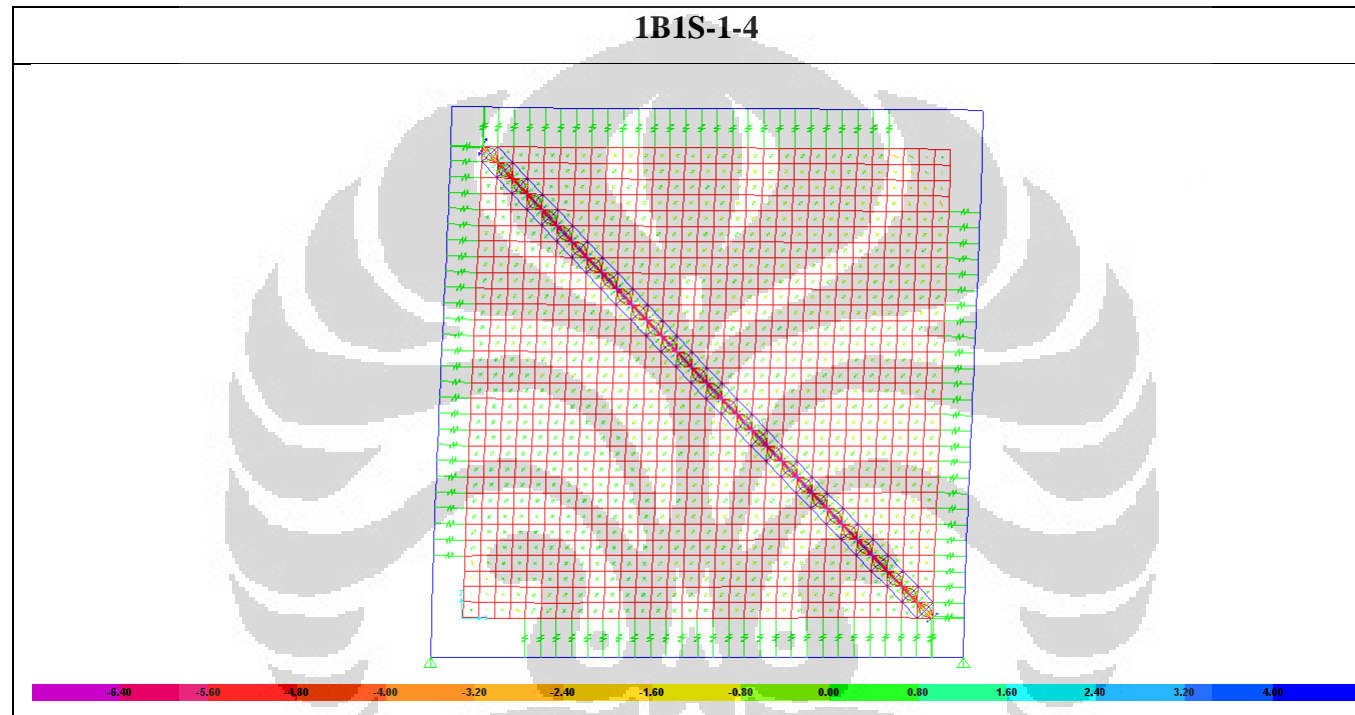
Lampiran 5 : Vektor Resultan Tegangan Utama Model 1B1S

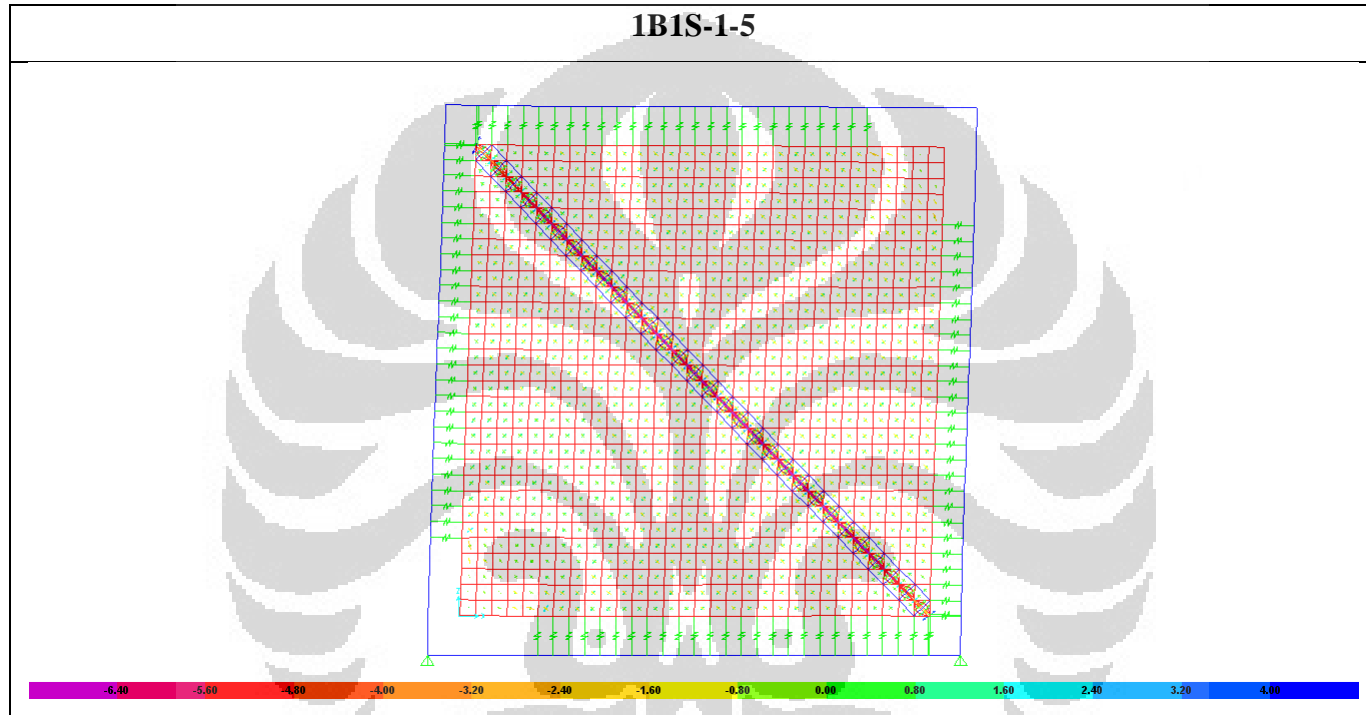


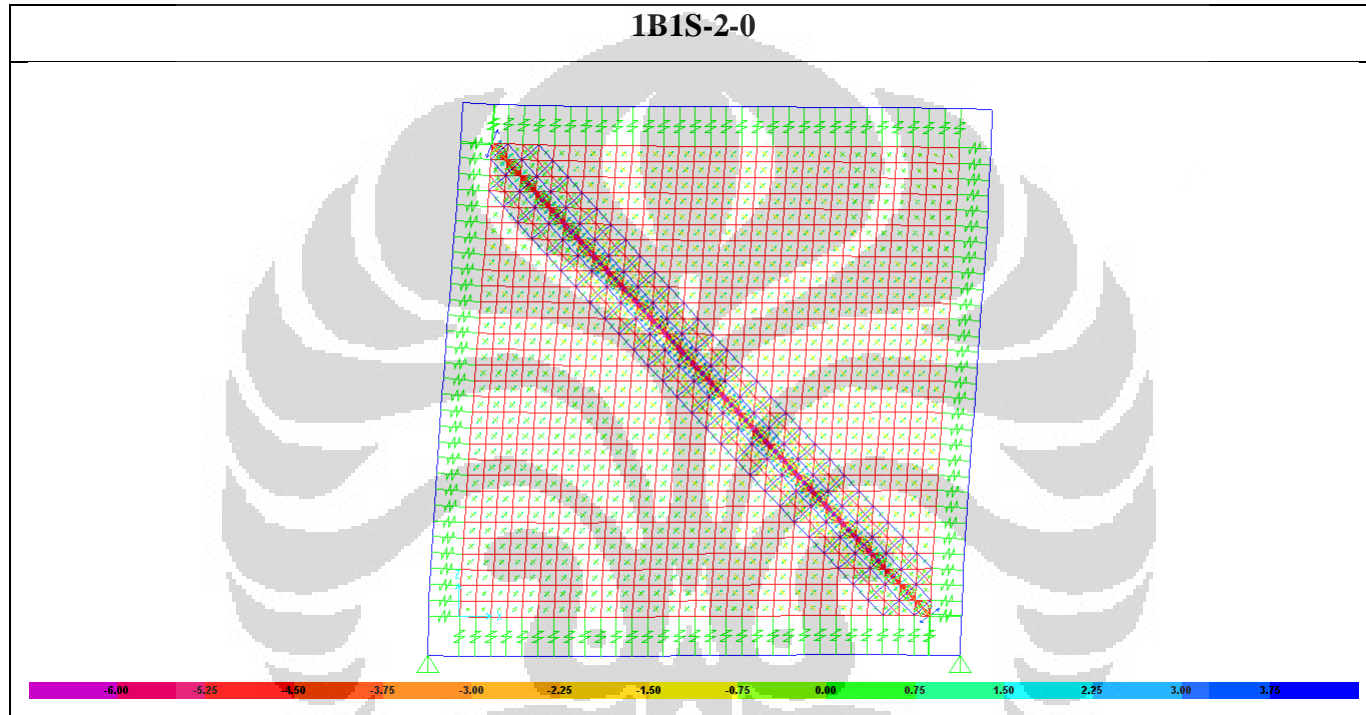




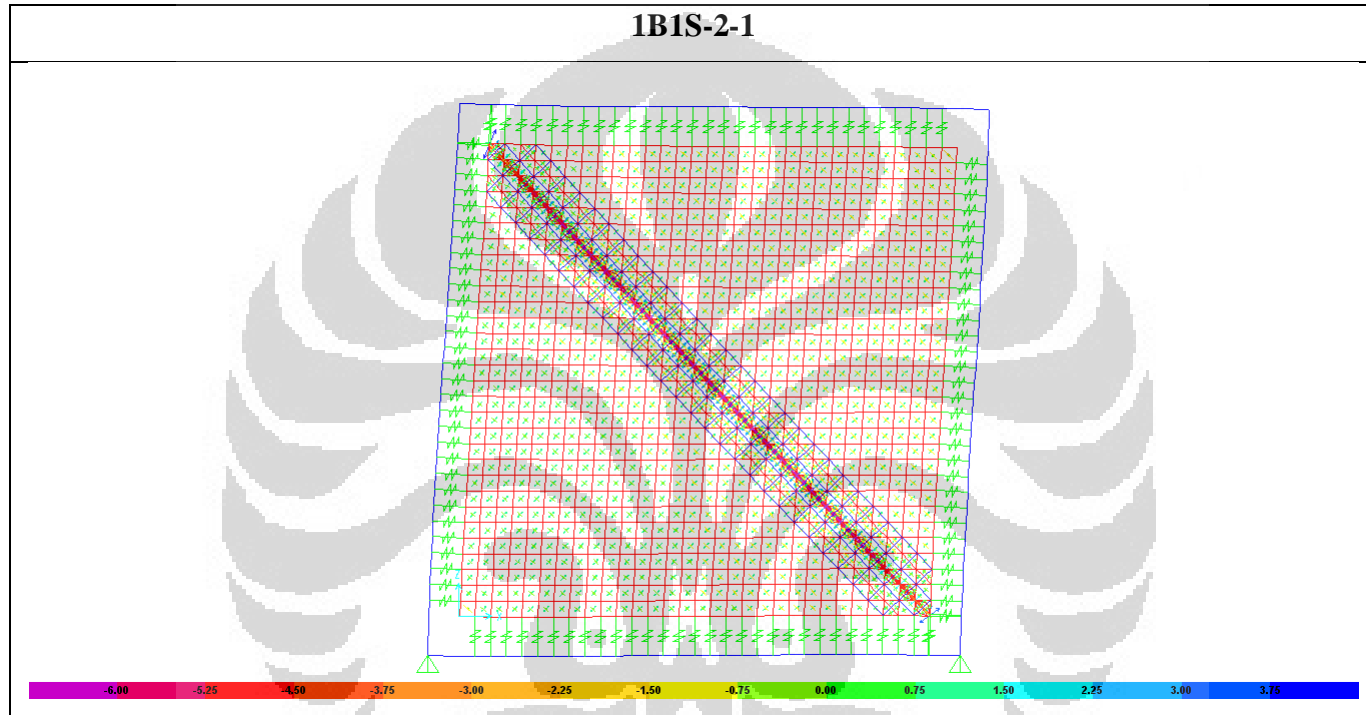


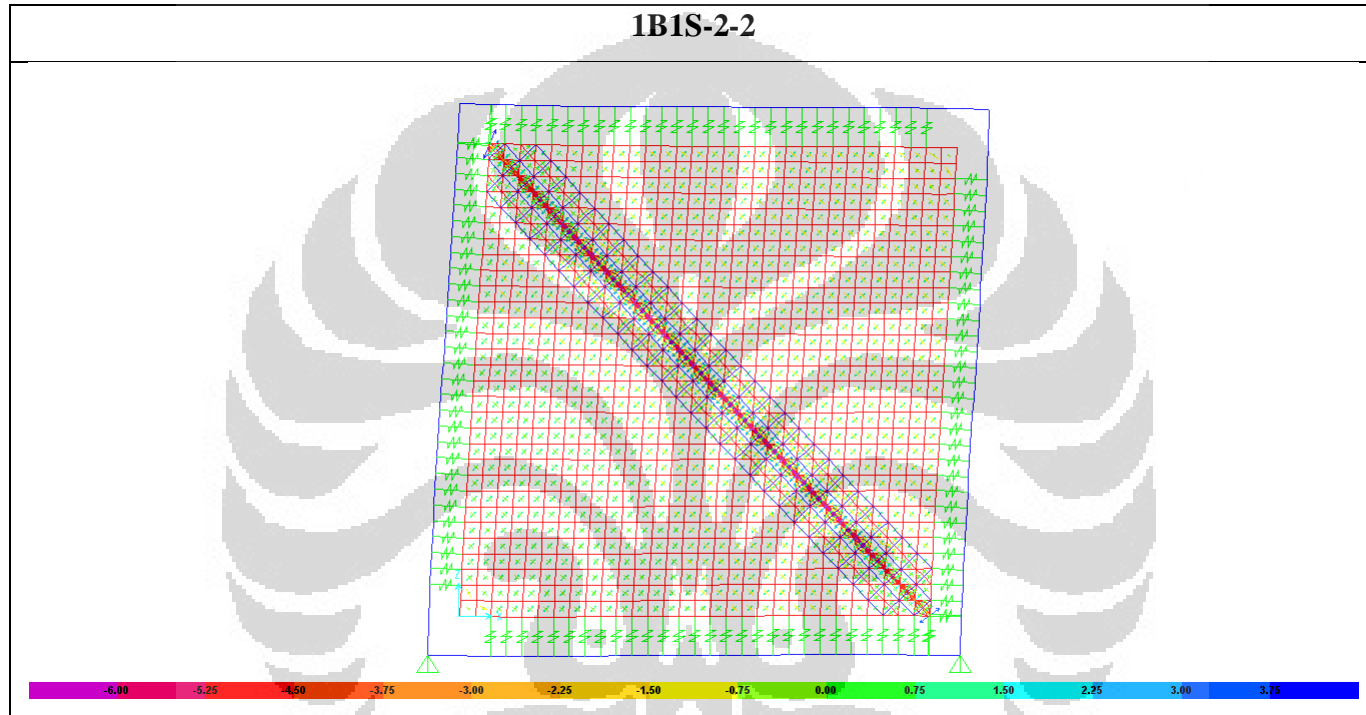


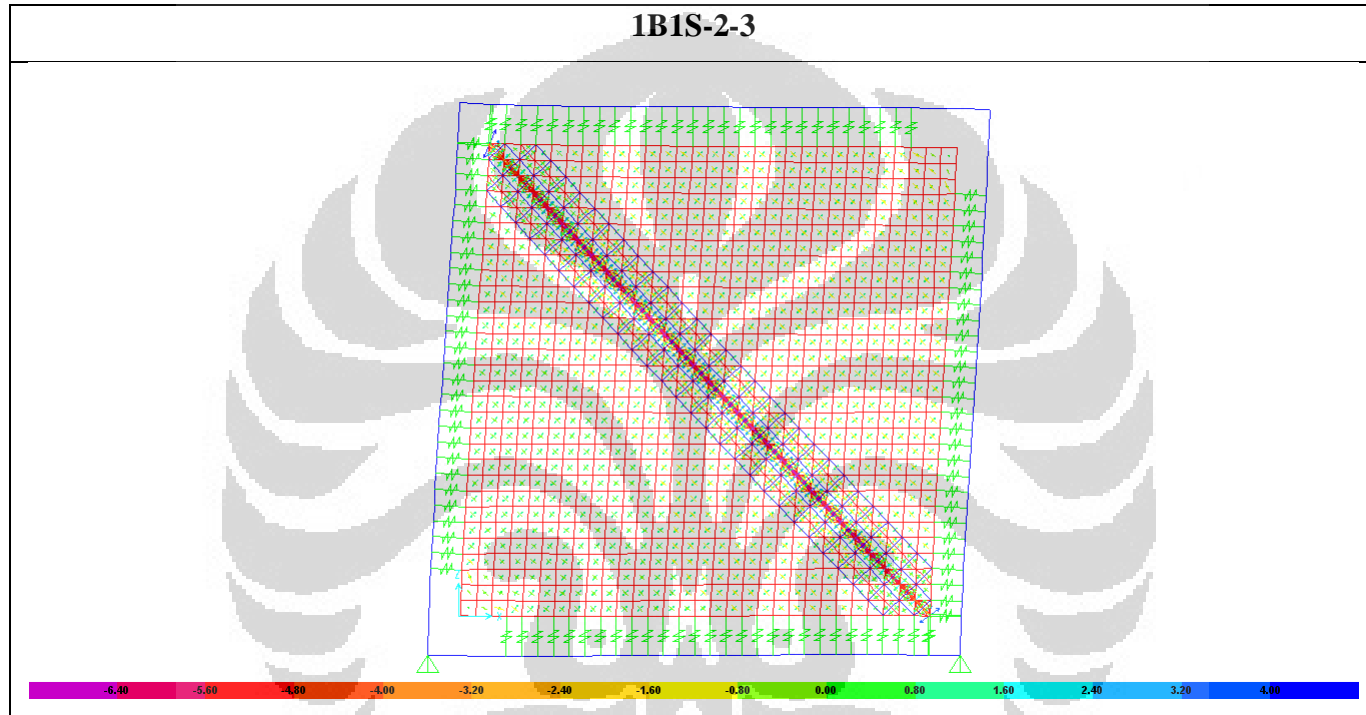


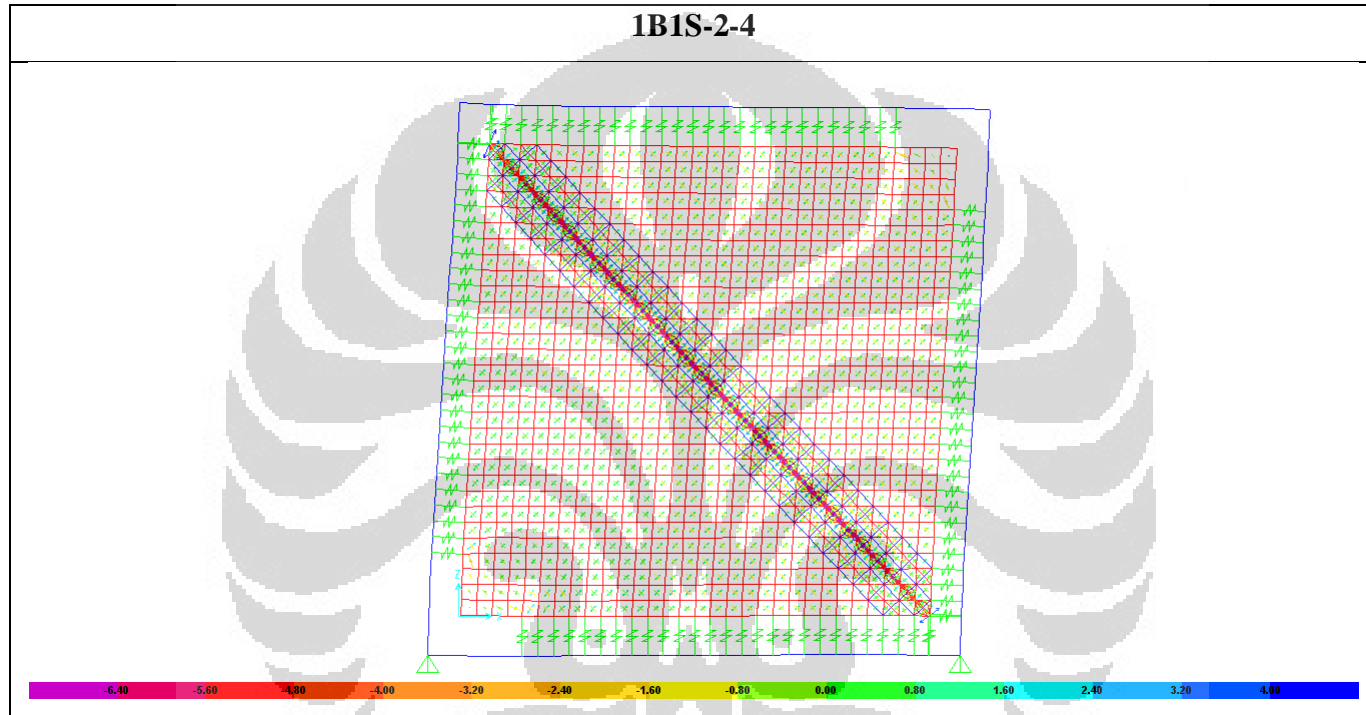


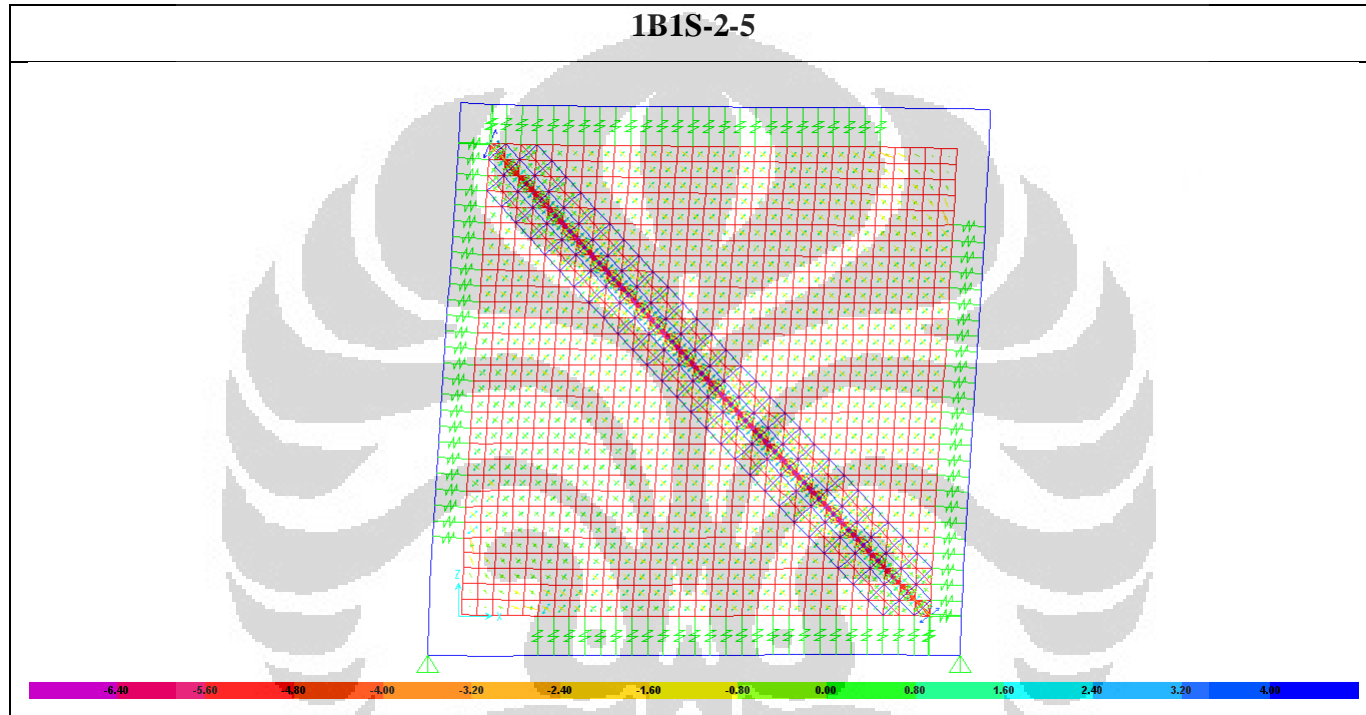


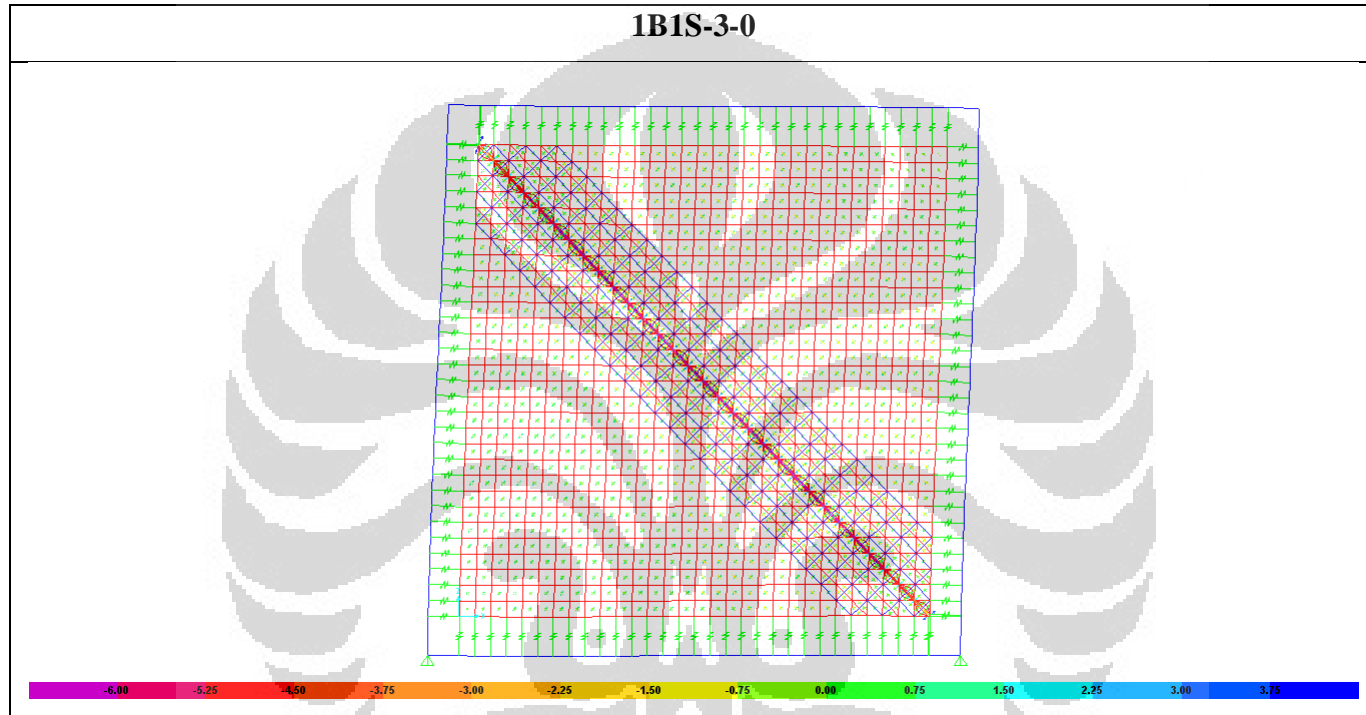


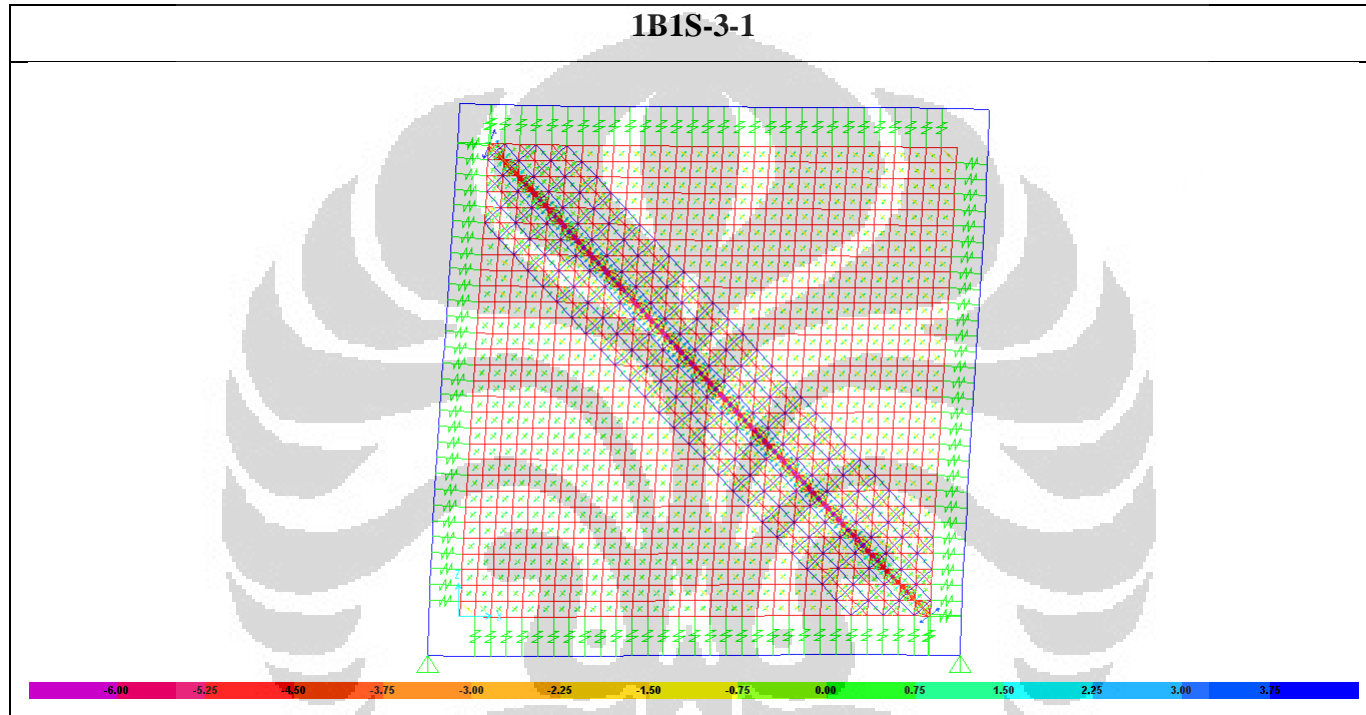


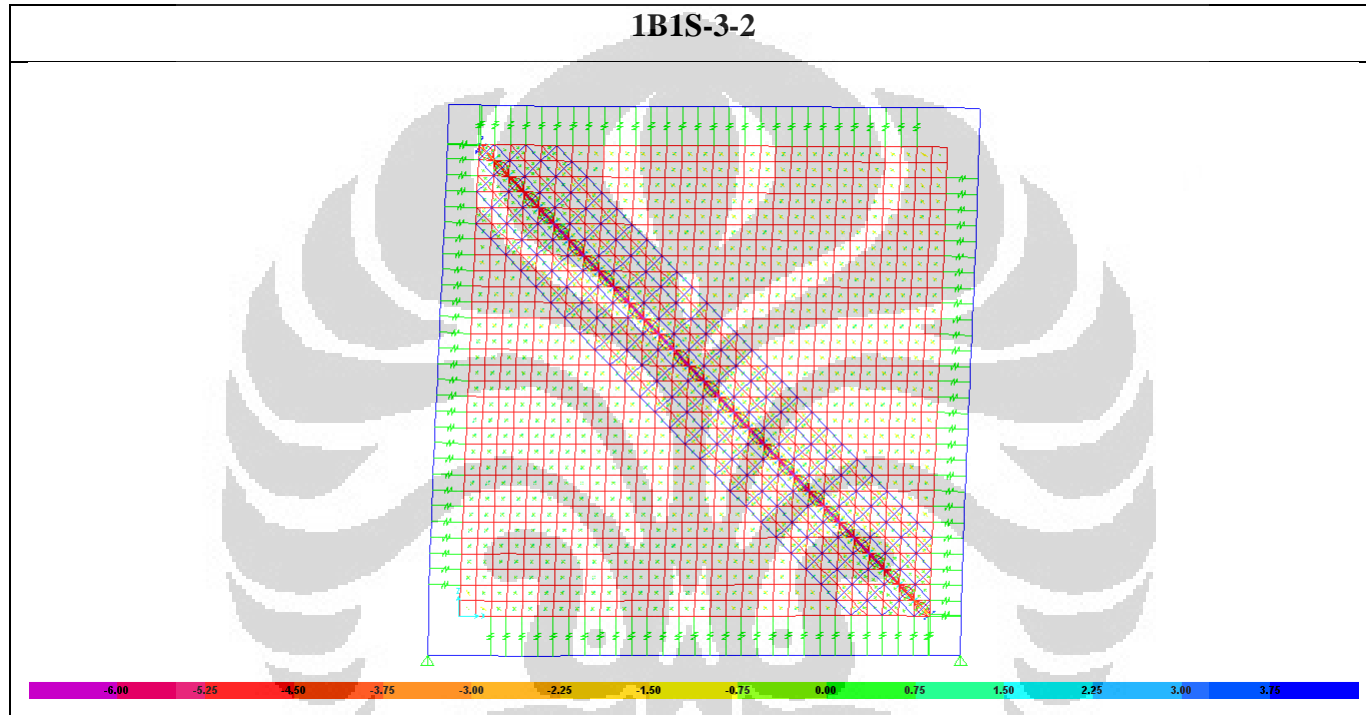




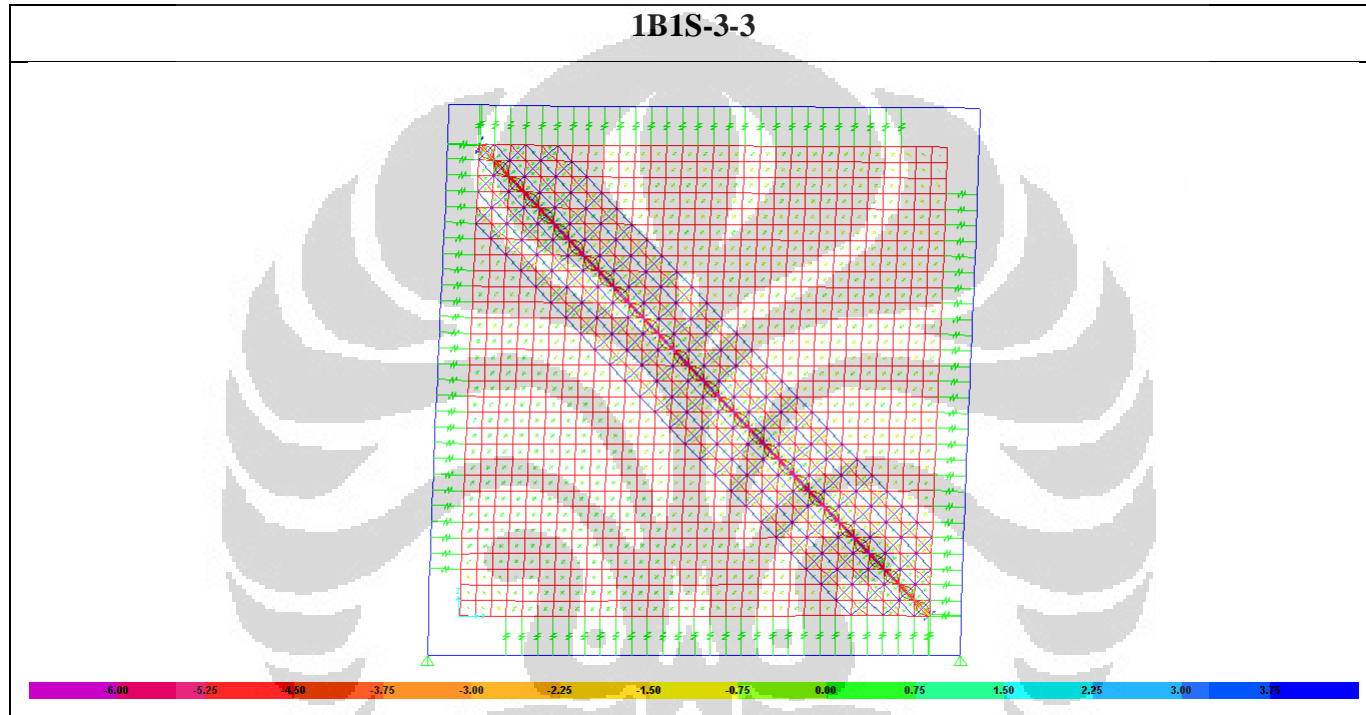


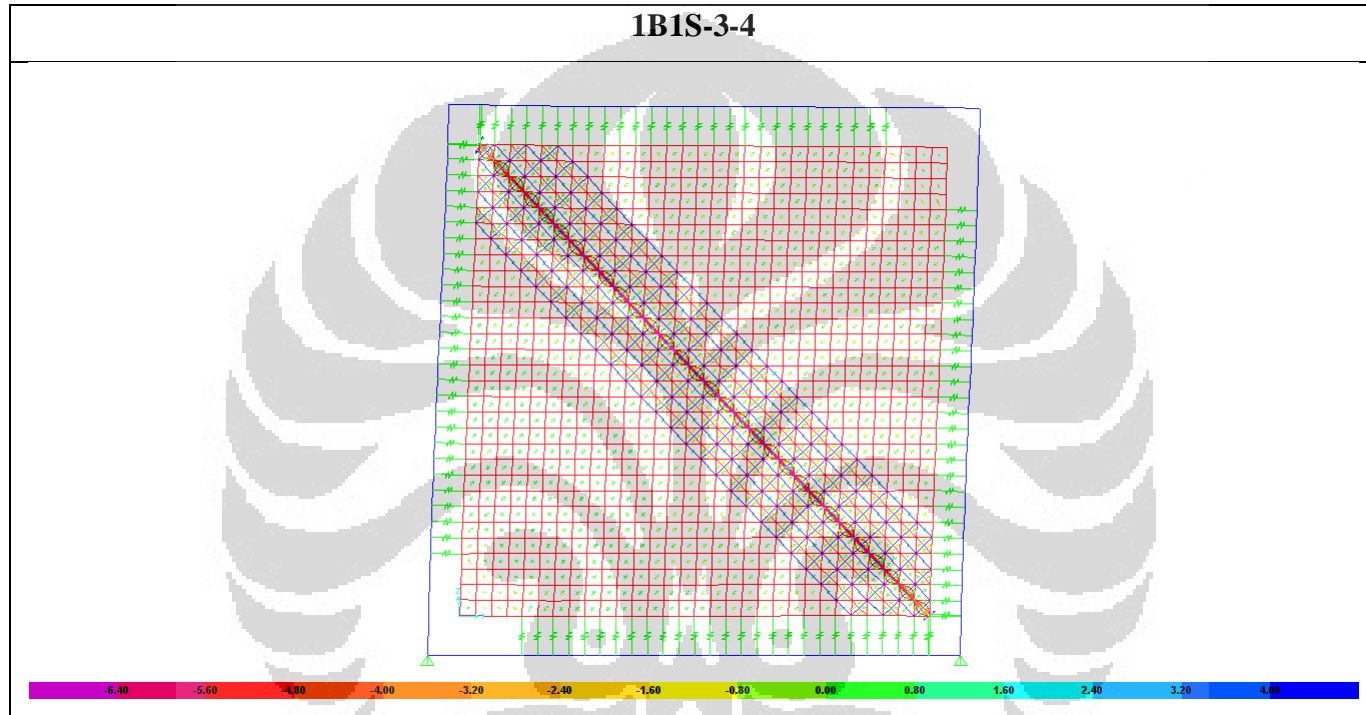


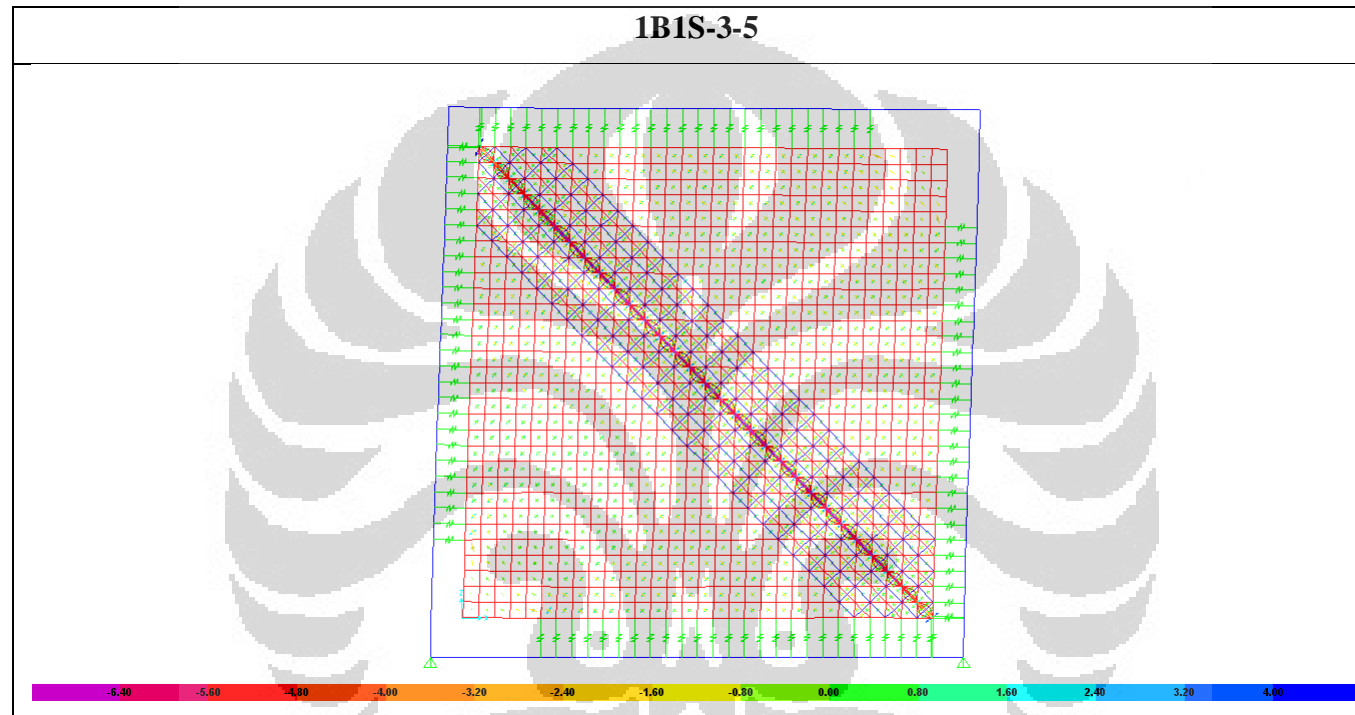






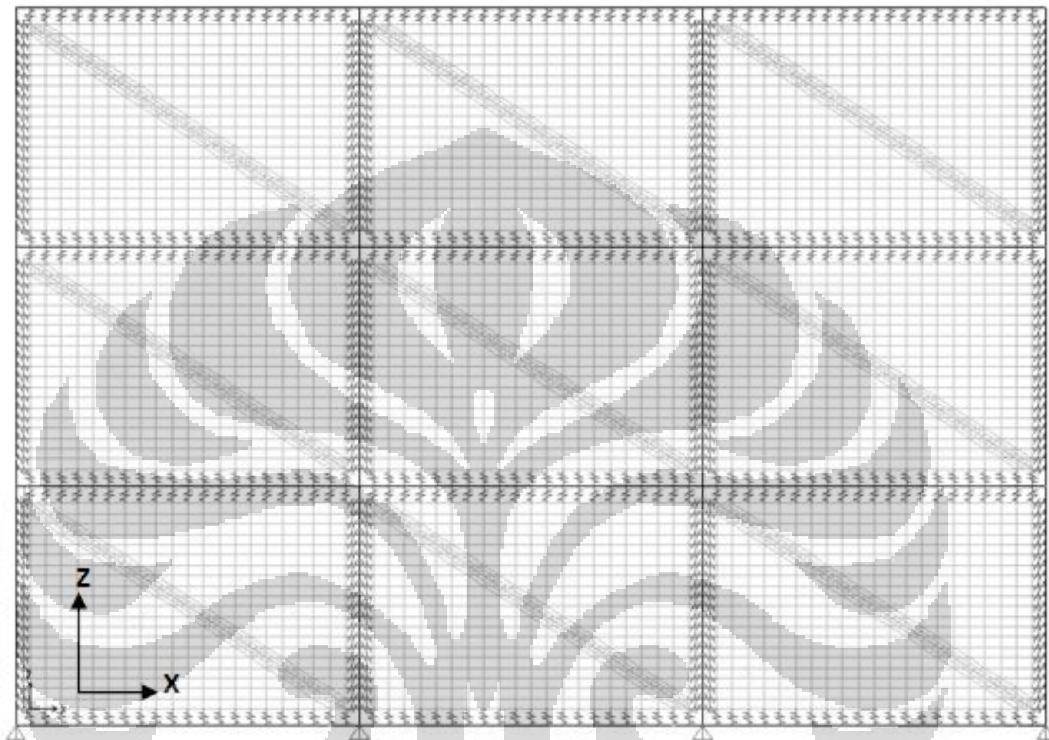






## Lampiran: Model 3B3S

*Performance Analysis of Masonry Wall Retrofitted using Plaster and Nailed Low Grade Wire Mesh*



## Lampiran 6 : Keterangan Model 3B3S

Berikut adalah penjelasan tentang kode yang digunakan untuk model 3B3S.

contoh 1: 3B3S-UTUH

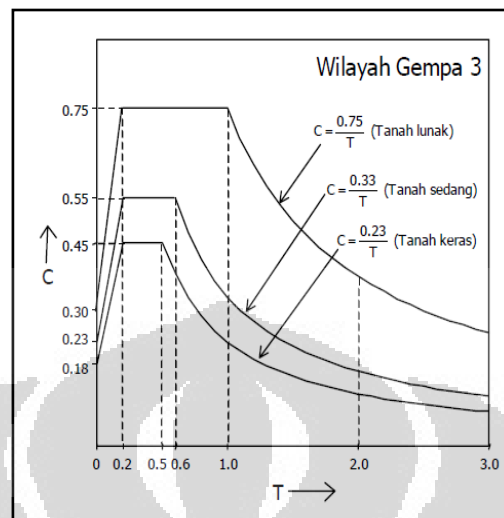
<b>3B3S-UTUH</b>	
“3B3S”	Menjelaskan bahwa model tersebut adalah model 3B3S
“UTUH”	Menjelaskan kondisi dinding bata pada model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “TANPADINDING” (dinding bata tidak dimodelkan),</li> <li>• “UTUH” (dinding bata utuh/tidak retak), dan</li> <li>• “RETAK” (dinding bata retak pada seluruh panel)</li> </ul>

contoh 2: 3B3S-7-S3-V2

<b>3B3S-7-B123-S3-V2</b>	
“3B3S”	Menjelaskan bahwa model tersebut adalah model 3B3S
“7”	Menjelaskan variasi retak yang digunakan. Khusus untuk “10” dan “11” variasi retak yang digunakan adalah variasi retak 9.
“B123”	Menjelaskan <b>lokasi retak pada bentang</b> model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “B1” (retak pada bentang pertama),</li> <li>• “B2” (retak pada bentang kedua),</li> <li>• “B3” (retak pada bentang ketiga),</li> <li>• “B12” (retak pada bentang pertama dan kedua), dan</li> <li>• “B123” (retak pada seluruh bentang)</li> </ul>
“S3”	Menjelaskan <b>lokasi retak pada lantai</b> model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “S1” (retak pada lantai dasar),</li> <li>• “S2” (retak pada lantai satu),</li> <li>• “S3” (retak pada lantai dua),</li> <li>• “S12” (retak pada lantai dasar dan lantai satu), dan</li> <li>• “S123” (retak pada seluruh lantai)</li> </ul>
“V2”	Menjelaskan <b>variasi metode perbaikan plester dan kawat anyam terpaku</b> yang digunakan pada model tersebut. Dapat berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• “V1” (variasi 1),</li> <li>• “V2” (variasi 2), dan</li> <li>• “V3” (variasi 3)</li> </ul>

catatan: Model 9-B123-S123 Tidak Diperbaiki adalah sama dengan 3B3S-RETAK

## Lampiran 7 : Faktor Respons Gempa (C) Model 3B3S sesuai SNI 03-1726-2002



Spektrum Respons Gempa Rencana untuk wilayah Jakarta (wilayah gempa 3)

## Nilai Faktor Respons Gempa (C) Model 3B3S

MODEL		Nilai Faktor Respons Gempa (C)		
1	3B3S-TANPADINDING	0.75000		
2	3B3S-UTUH	0.57115		
3	3B3S-RETAK	0.66716		
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
4	3B3S-1-B1-S123-V2	0.59962	0.57123	0.57171
5	3B3S-2-B2-S123-V2	0.60228	0.57125	0.57161
6	3B3S-3-B3-S123-V2	0.59297	0.57123	0.57167
7	3B3S-4-B12-S123-V2	0.63353	0.57133	0.57135
8	3B3S-5-B123-S1-V2	0.63351	0.57132	0.57149
9	3B3S-6-B123-S2-V2	0.60941	0.57124	0.57166
10	3B3S-7-B123-S3-V2	0.58477	0.57114	0.57186
11	3B3S-8-B123-S12-V2	0.65895	0.57142	0.57118
12	3B3S-9-B123-S123-V1			0.57088
13	3B3S-10-B123-S123-V2		0.57141	0.57107
14	3B3S-11-B123-S123-V3			0.57121

A: Tidak Diperbaiki

B: Metode Perbaikan Plester

C: Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

Lampiran 8 : Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen (Fi) Model 3B3S sesuai SNI 03-1726-2002

Model 3B3S Awal dan Model 3B3S dengan Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

MODEL AWAL	Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen (Fi), kN		
	Dasar (S1)	Lantai 1 (S2)	Lantai 2 (S3)
3B3S-TANPADINDING	47.09672	97.49081	99.23333
3B3S-UTUH	35.8657	74.24247	75.56946
3B3S-RETAK	41.89455	86.72227	88.27232
METODE PERBAIKAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM TERPAKU			
3B3S-1-B1-S123-V2	36.16563	74.35693	75.33574
3B3S-2-B2-S123-V2	36.15951	74.34435	75.32299
3B3S-3-B3-S123-V2	36.16321	74.35196	75.33070
3B3S-4-B12-S123-V2	36.14314	74.31070	75.28890
3B3S-5-B123-S1-V2	36.15182	74.32855	75.30698
3B3S-6-B123-S2-V2	36.16278	74.35108	75.32981
3B3S-7-B123-S3-V2	36.17559	74.37742	75.35650
3B3S-8-B123-S12-V2	36.13246	74.28875	75.26666
3B3S-9-B123-S123-V1	36.11353	74.24983	75.22723
3B3S-10-B123-S123-V2	36.12521	74.27382	75.25154
3B3S-11-B123-S123-V3	36.13446	74.29285	75.27081

Model 3B3S Tidak Diperbaiki dan Model 3B3S dengan Metode Perbaikan Plester

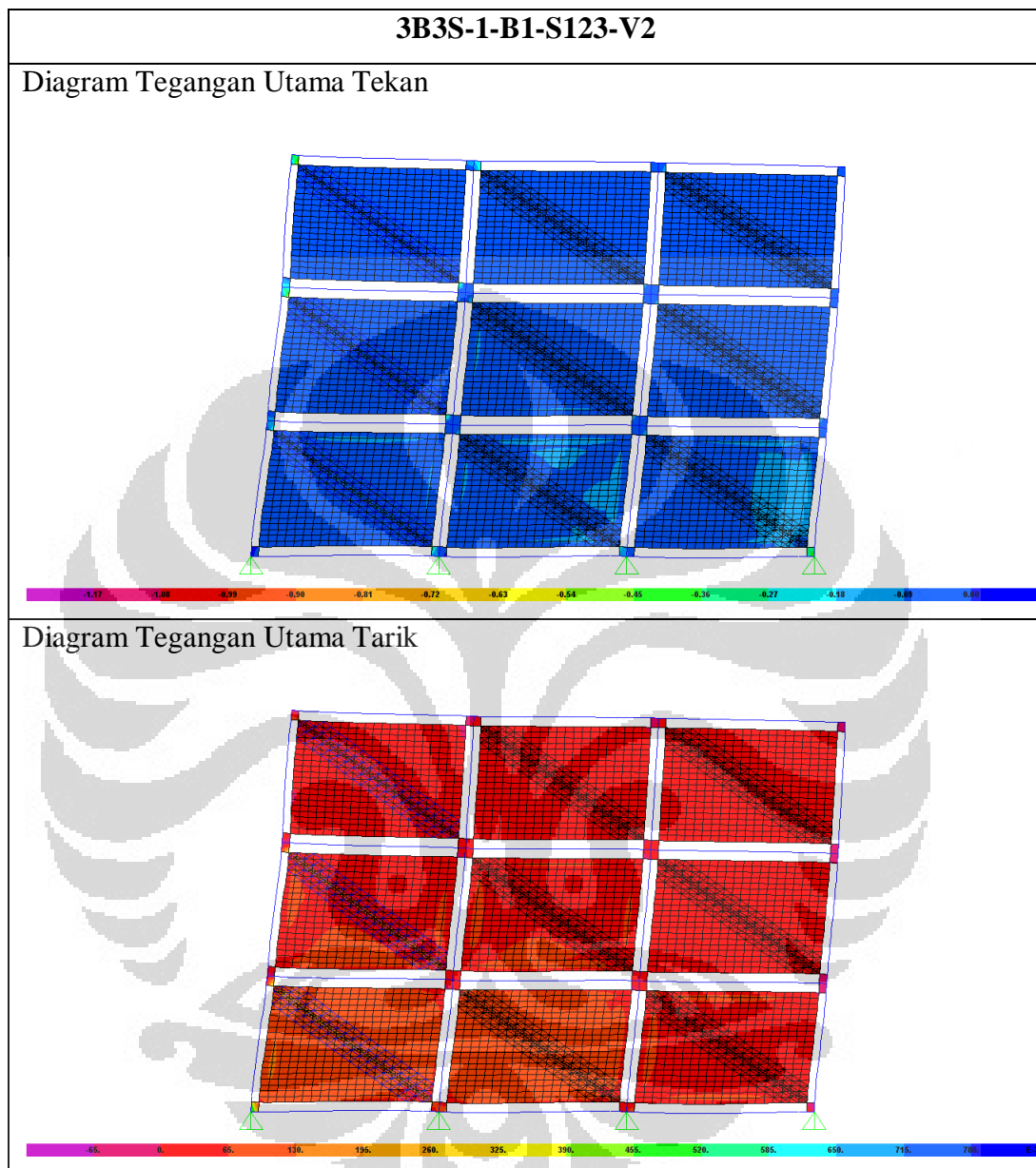
TIDAK DIPERBAIKI	Beban Gempa Nominal Statik Ekuivalen (Fi), kN		
	Dasar (S1)	Lantai 1 (S2)	Lantai 2 (S3)
1-B1-S123	37.9313	77.9871	79.0137
2-B2-S123	38.0998	78.3336	79.3648
3-B3-S123	37.5107	77.1224	78.1376
4-B12-S123	40.0765	82.3978	83.4824
5-B123-S1	40.0755	82.3957	83.4803
6-B123-S2	38.5507	79.2607	80.3040
7-B123-S3	36.9919	76.0557	77.0569
8-B123-S12	41.6849	85.7046	86.8328
METODE PERBAIKAN PLESTER			
1-B1-S123	36.1353	74.2946	75.2726
2-B2-S123	36.1369	74.2978	75.2758
3-B3-S123	36.1353	74.2946	75.2726
4-B12-S123	36.1417	74.3078	75.2859
5-B123-S1	36.1414	74.3072	75.2853
6-B123-S2	36.1365	74.2969	75.2750
7-B123-S3	36.1296	74.2829	75.2607
8-B123-S12	36.1476	74.3198	75.2981
9-B123-S123	36.1468	74.3183	75.2966

## Lampiran 9 : Simpangan Lateral Model 3B3S

MODEL AWAL	Simpangan Lateral (UX), mm		
	Dasar (S1)	Lantai 1 (S2)	Lantai 2 (S3)
3B3S-TANPADINDING	8.8240	16.9380	21.4720
3B3S-UTUH	0.1670	0.3162	0.4135
3B3S-RETAK	0.4286	0.7112	0.8756
<b>TIDAK DIPERBAIKI</b>			
1-B1-S123	0.2155	0.4036	0.5257
2-B2-S123	0.2247	0.4175	0.5466
3-B3-S123	0.2293	0.4014	0.5041
4-B12-S123	0.2917	0.5335	0.6922
5-B123-S1	0.3819	0.5467	0.6541
6-B123-S2	0.1998	0.4709	0.5754
7-B123-S3	0.1722	0.3314	0.4911
8-B123-S12	0.4212	0.6920	0.8016
<b>METODE PERBAIKAN PLESTER</b>			
1-B1-S123	0.1672	0.3165	0.4139
2-B2-S123	0.1672	0.3166	0.4140
3-B3-S123	0.1672	0.3165	0.4139
4-B12-S123	0.1674	0.3169	0.4144
5-B123-S1	0.1675	0.3168	0.4141
6-B123-S2	0.1671	0.3166	0.4140
7-B123-S3	0.1670	0.3162	0.4137
8-B123-S12	0.1676	0.3172	0.4146
9-B123-S123	0.1676	0.3172	0.4148
<b>METODE PERBAIKAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM TERPAKU</b>			
3B3S-1-B1-S123-V2	0.1668	0.3158	0.4130
3B3S-2-B2-S123-V2	0.1667	0.3156	0.4127
3B3S-3-B3-S123-V2	0.1668	0.3158	0.4130
3B3S-4-B12-S123-V2	0.1663	0.3148	0.4116
3B3S-5-B123-S1-V2	0.1659	0.3151	0.4125
3B3S-6-B123-S2-V2	0.1672	0.3155	0.4128
3B3S-7-B123-S3-V2	0.1672	0.3166	0.4135
3B3S-8-B123-S12-V2	0.1659	0.3140	0.4112
3B3S-9-B123-S123-V1	0.1667	0.3155	0.4126
3B3S-10-B123-S123-V2	0.1659	0.3139	0.4105
3B3S-11-B123-S123-V3	0.1651	0.3125	0.4087



## Lampiran 10 : Diagram Tegangan Utama Model 3B3S (Tekan dan Tarik)



## 3B3S-2-B2-S123-V2

Diagram Tegangan Utama Tekan

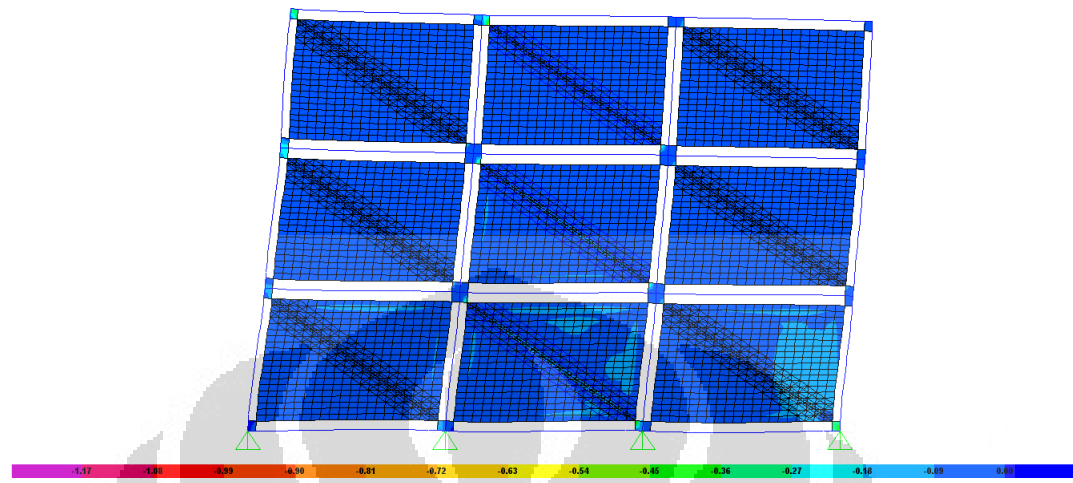
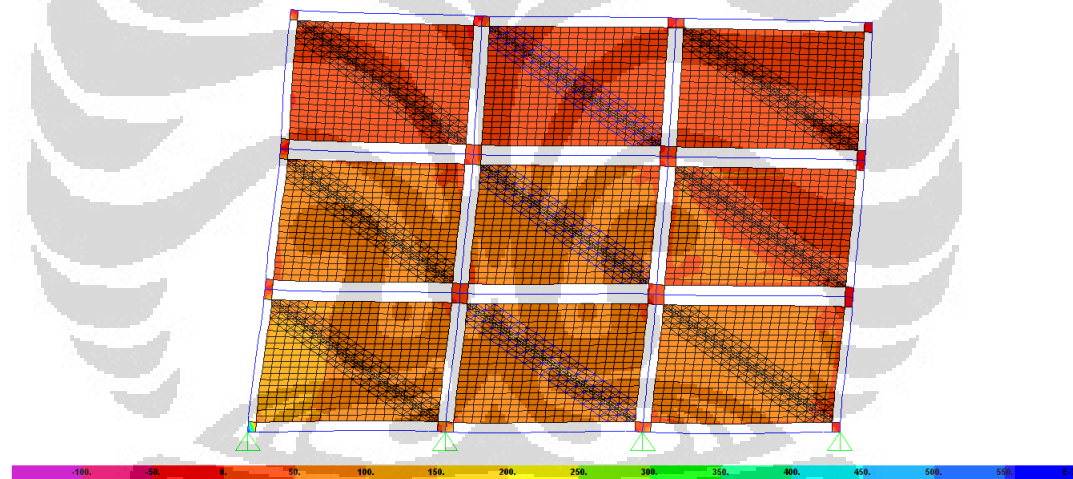


Diagram Tegangan Utama Tarik



## 3B3S-3-B3-S123-V2

Diagram Tegangan Utama Tekan

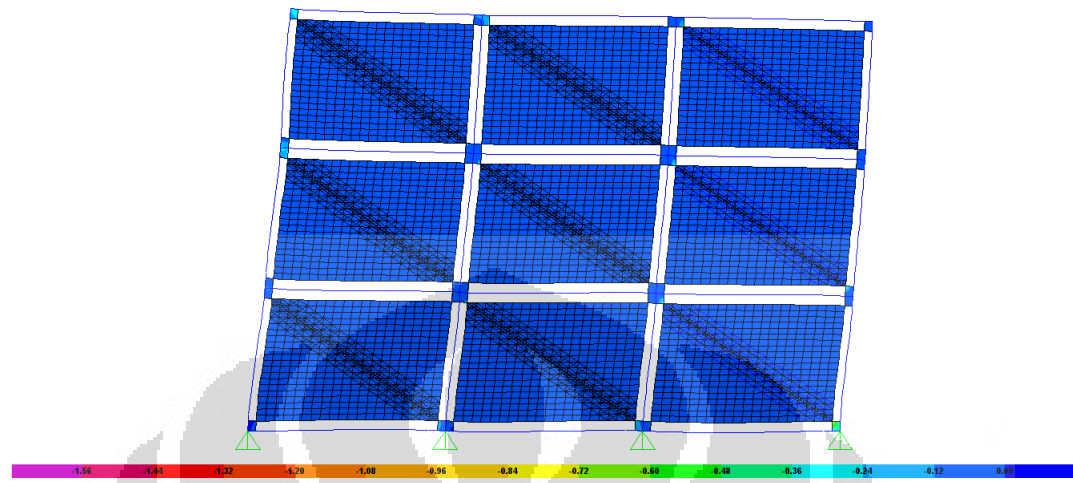
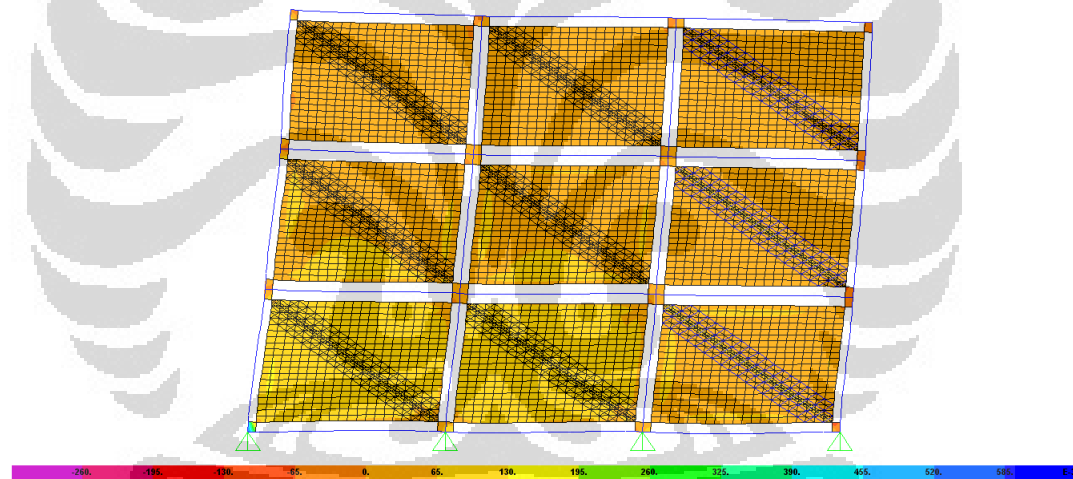


Diagram Tegangan Utama Tarik



**3B3S-4-B12-S123-V2**

Diagram Tegangan Utama Tekan

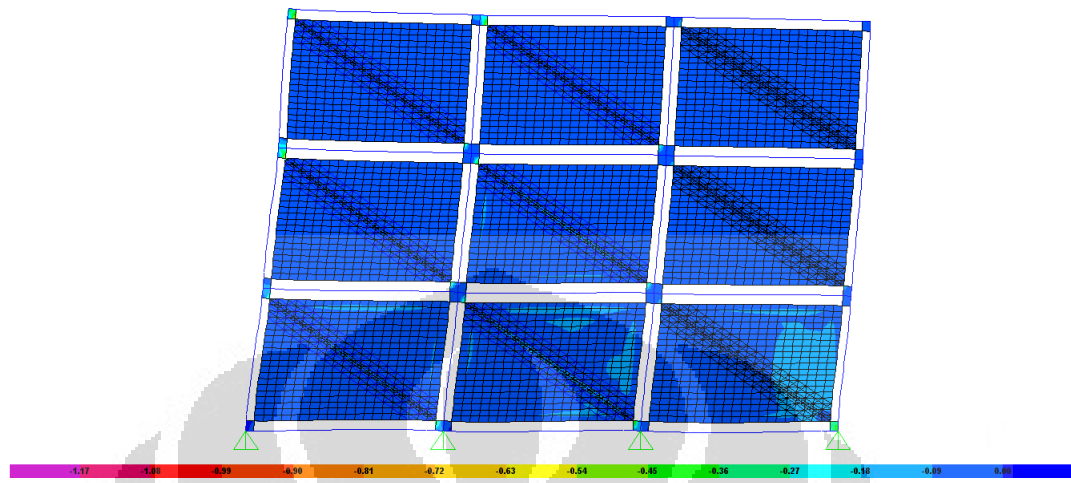
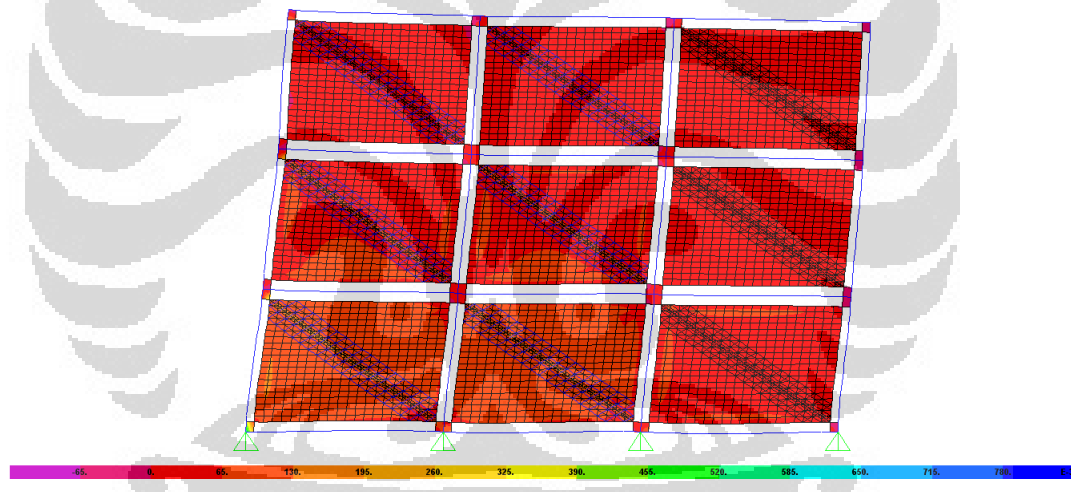


Diagram Tegangan Utama Tarik



## 3B3S-5-B123-S1-V2

Diagram Tegangan Utama Tekan

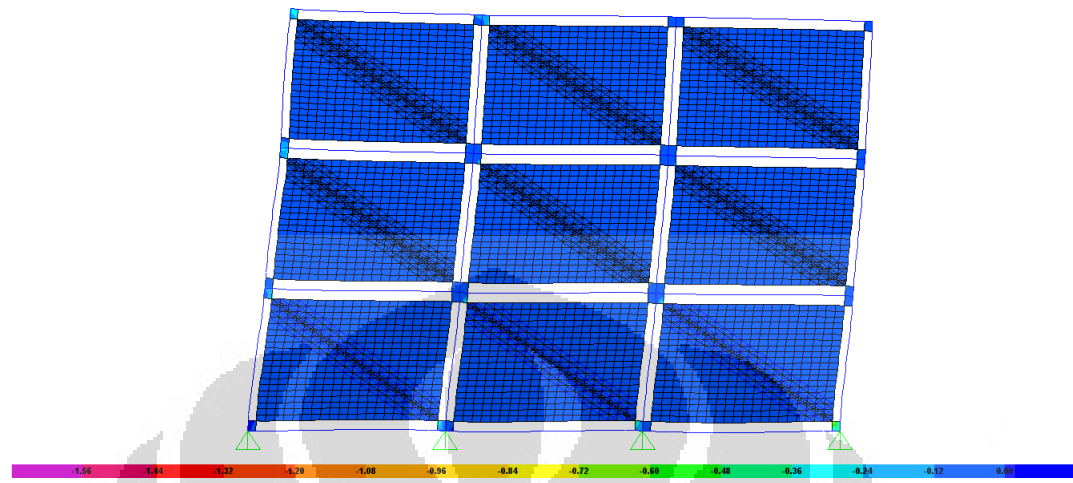
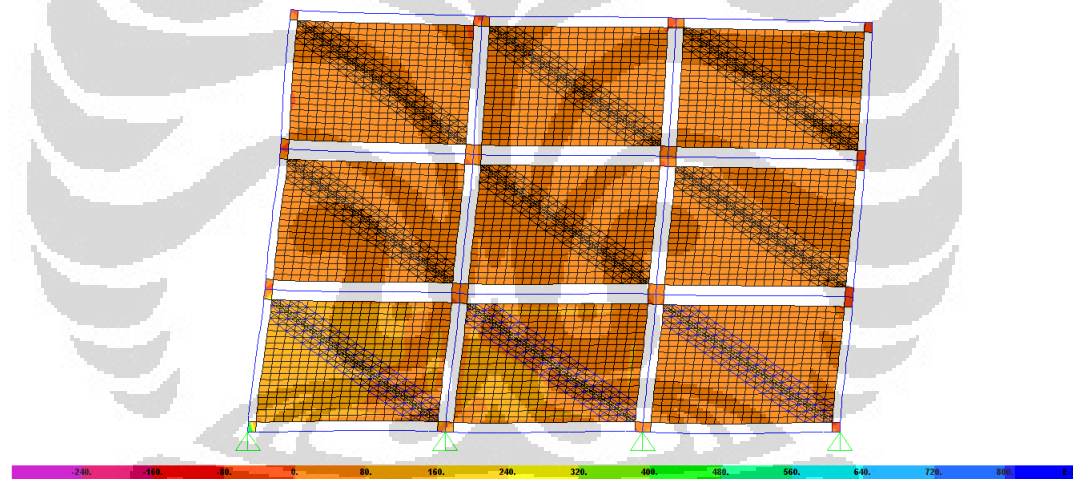
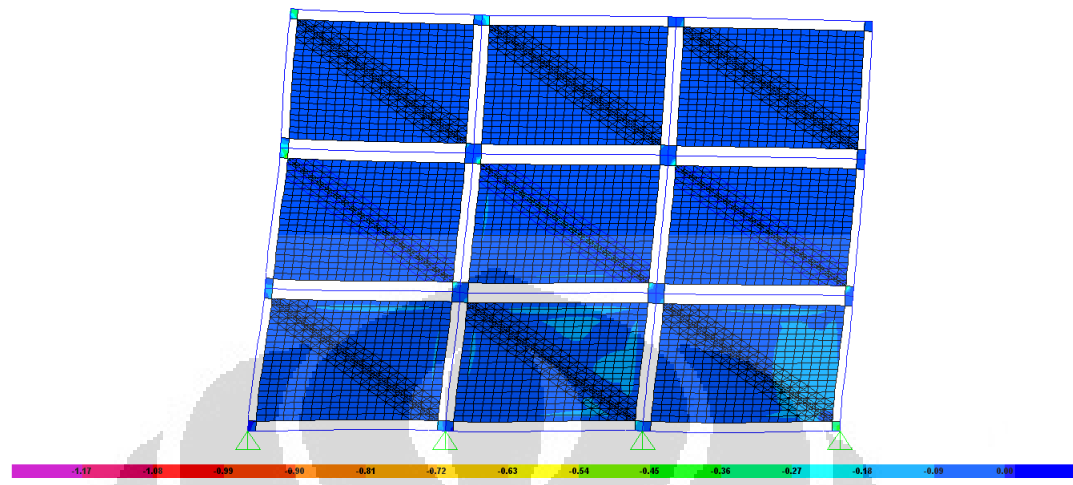


Diagram Tegangan Utama Tarik

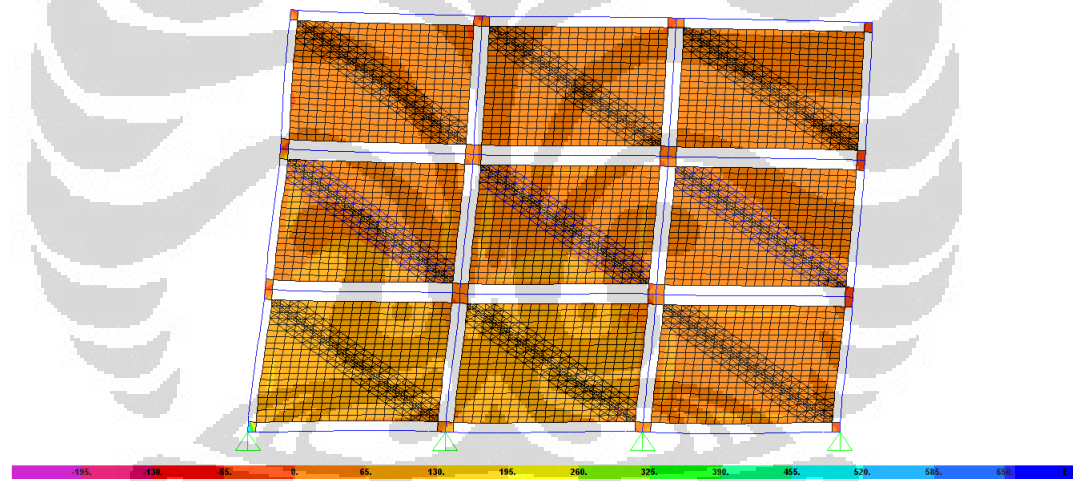


## 3B3S-6-B123-S2-V2

## Diagram Tegangan Utama Tekan



## Diagram Tegangan Utama Tarik





## 3B3S-7-B123-S3-V2

Diagram Tegangan Utama Tekan

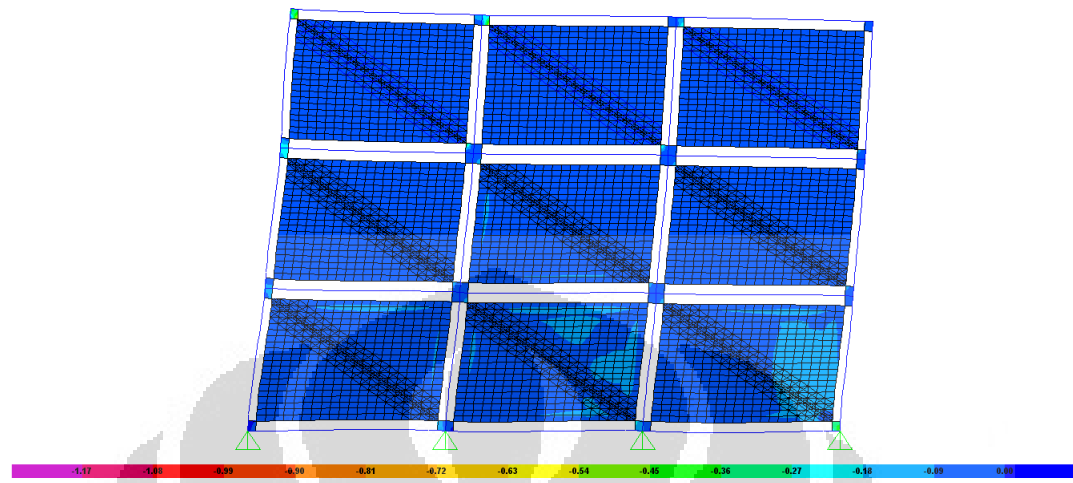
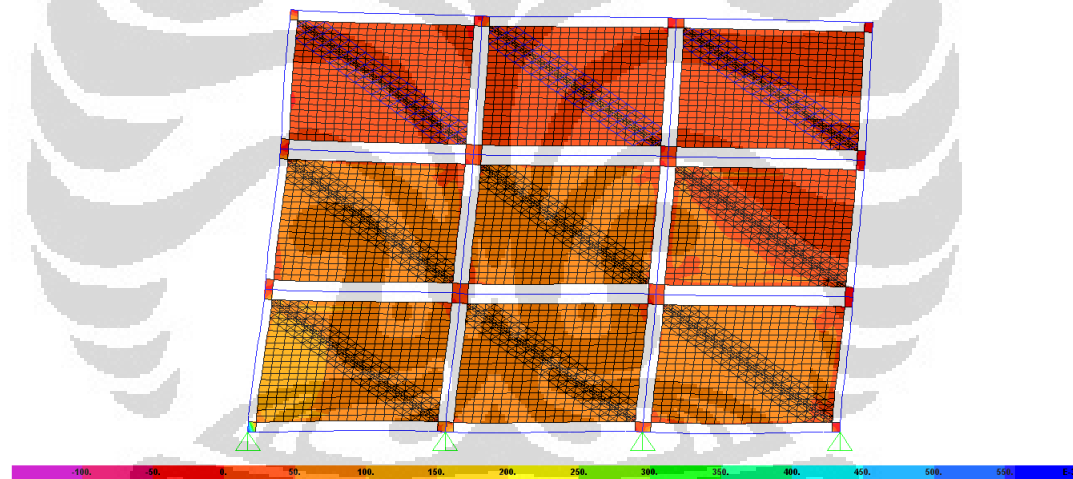


Diagram Tegangan Utama Tarik



**3B3S-8-B123-S12-V2**

Diagram Tegangan Utama Tekan

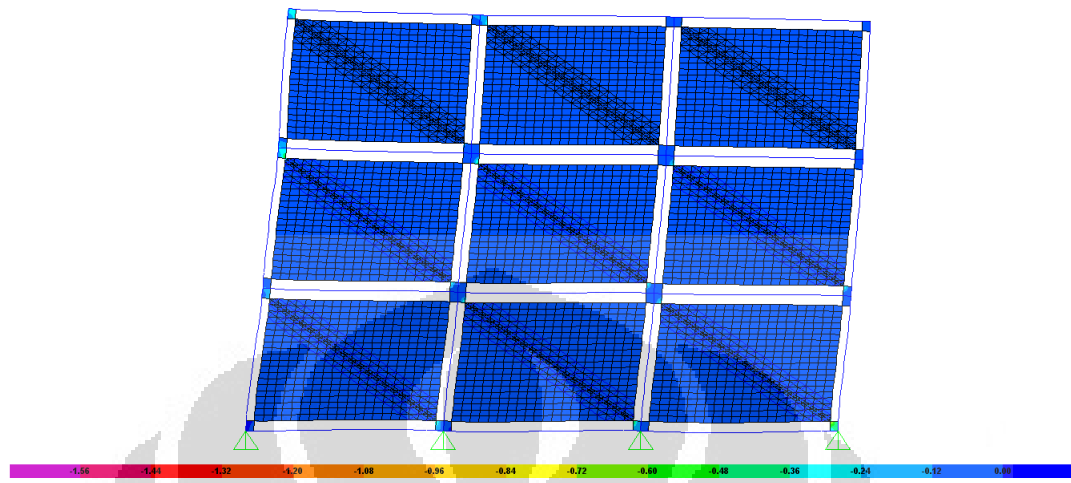
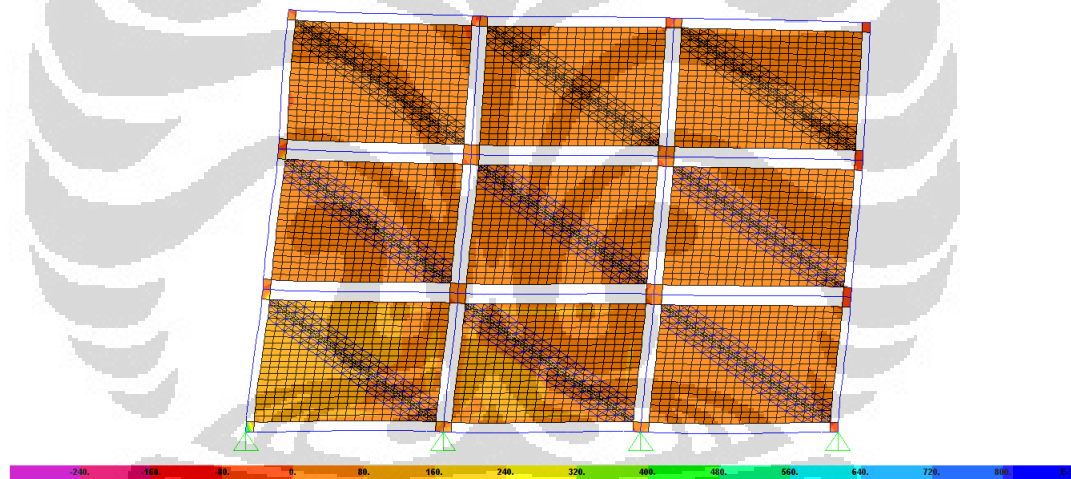


Diagram Tegangan Utama Tarik





## 3B3S-9-B123-S123-V1

Diagram Tegangan Utama Tekan

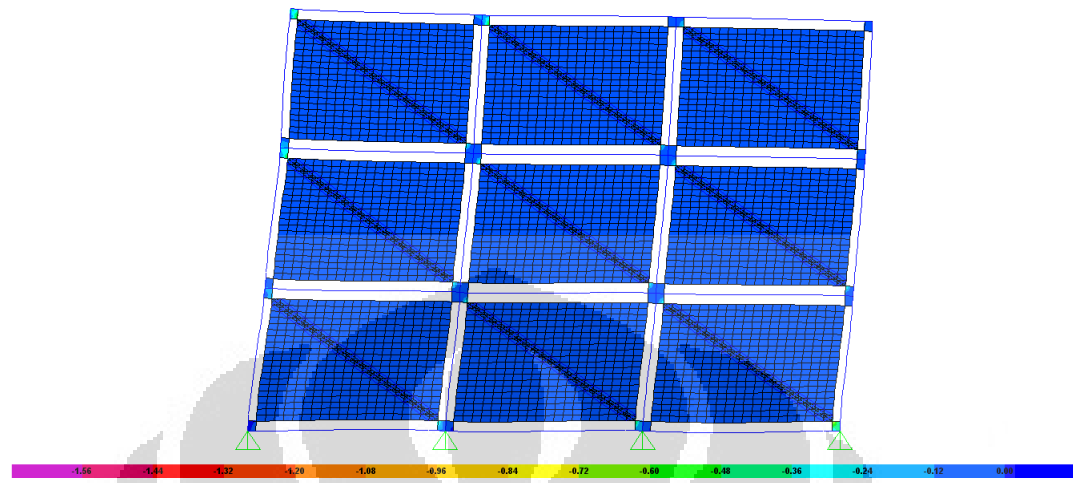
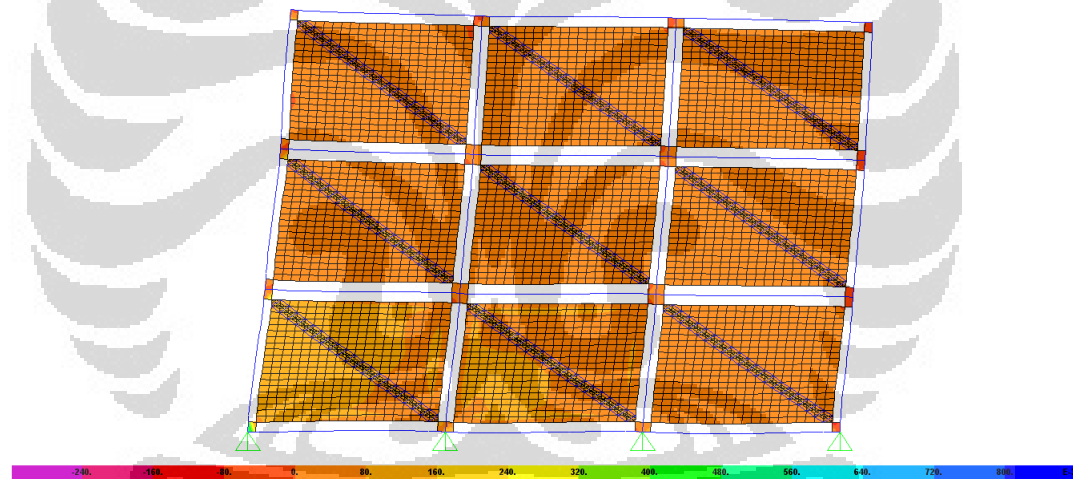


Diagram Tegangan Utama Tarik



**3B3S-10-B123-S123-V2**

Diagram Tegangan Utama Tekan

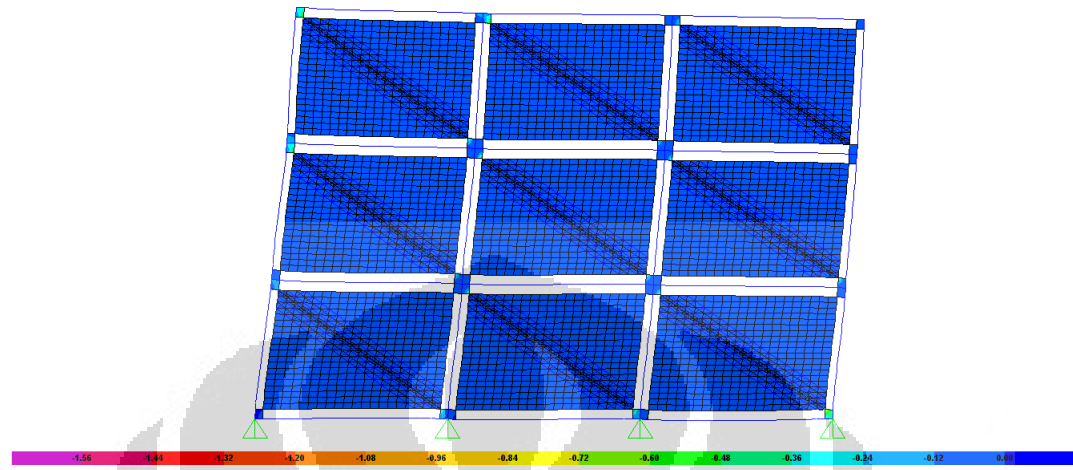
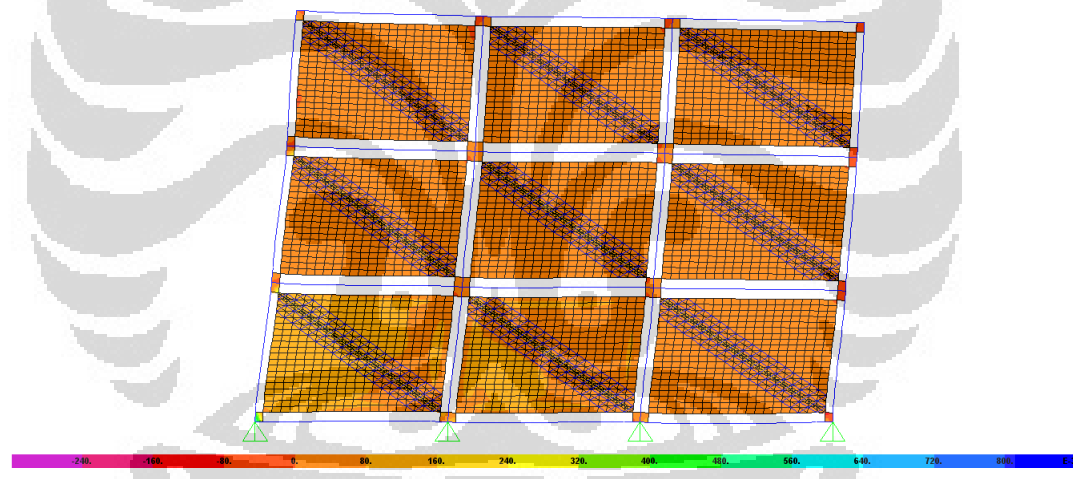


Diagram Tegangan Utama Tarik



**3B3S-11-B123-S123-V3**

Diagram Tegangan Utama Tekan

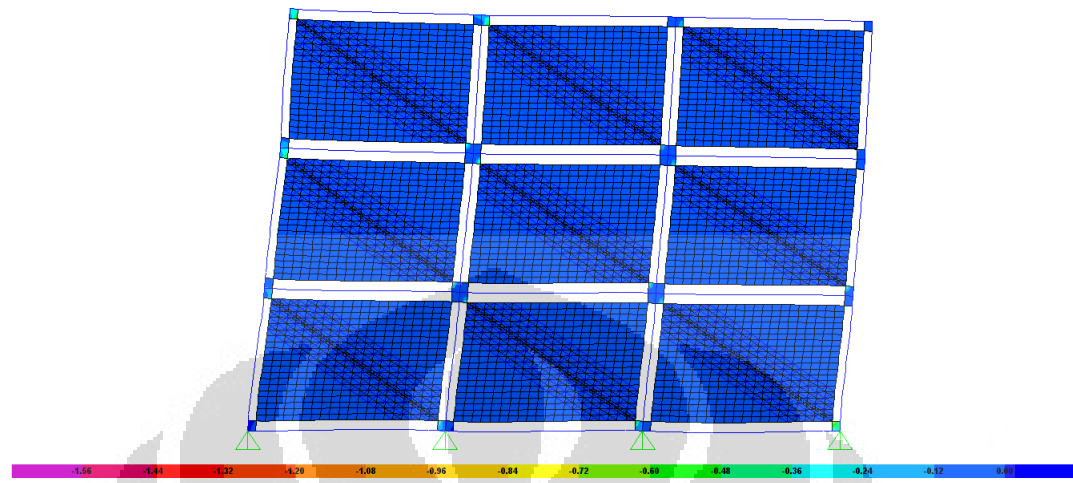
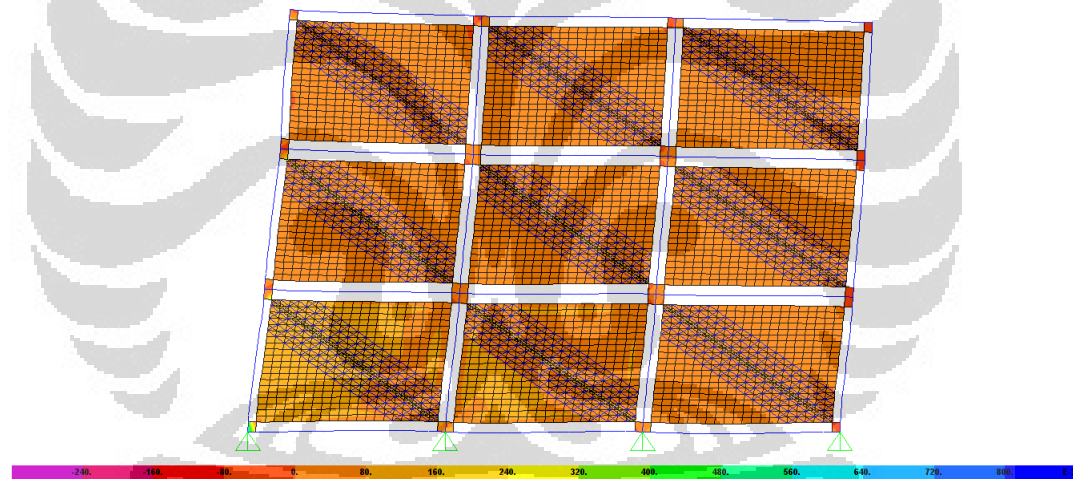


Diagram Tegangan Utama Tarik



Lampiran 11 : Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S Tidak Diperbaiki dan Model 3B3S Metode Perbaikan Plester

Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S Tidak Diperbaiki

MODEL 3B3S TIDAK DIPERBAIKI	K (kN/mm)		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
1-B1-S123	904.565688	834.8310146	647.0222432
2-B2-S123	871.4146083	817.7254566	615.011348
3-B3-S123	840.6624483	901.9399775	761.1519821
4-B12-S123	706.0009005	686.0052415	526.1684885
5-B123-S1	539.3068552	1006.242513	777.2120205
6-B123-S2	991.3255598	588.6932483	768.8128255
7-B123-S3	1103.884955	962.1008084	482.2625207
8-B123-S12	508.591329	637.0570482	792.4939036

Kekakuan Lateral Antar-Tingkat Model 3B3S dengan Metode Perbaikan Plester

MODEL 3B3S METODE PERBAIKAN PLESTER	K (kN/mm)		
	Lantai Dasar	Lantai 1	Lantai 2
1-B1-S123	1110.886794	1001.528002	772.7001847
2-B2-S123	1110.695732	1001.356828	772.5195489
3-B3-S123	1110.654253	1001.601778	773.0811105
4-B12-S123	1109.7626	1000.573221	771.9337897
5-B123-S1	1108.819712	1002.133814	773.2438153
6-B123-S2	1111.593412	1000.092963	773.0657726
7-B123-S3	1111.822485	1002.256095	771.9920079
8-B123-S12	1108.597152	999.9188362	773.01748
9-B123-S123	1108.608405	999.8590567	771.7188095

Lampiran 12 : Tegangan Utama Maksimum Dinding Bata Model 3B3S Metode Perbaikan Plester dan Kawat Anyam Terpaku

MODEL	Tegangan Utama Tarik (MPa)	Lokasi	CEK
3B3S-1-B1-S123-V2	0.147	B1-S1	Oke
3B3S-2-B2-S123-V2	0.132	B2-S1	Oke
3B3S-3-B3-S123-V2	0.112	B3-S1	Oke
3B3S-4-B12-S123-V2	0.147	B1-S1	Oke
3B3S-5-B123-S1-V2	0.147	B1-S1	Oke
3B3S-6-B123-S2-V2	0.104	B2-S1	Oke
3B3S-7-B123-S3-V2	0.059	B1-S3	Oke
3B3S-8-B123-S12-V2	0.147	B1-S1	Oke
3B3S-9-B123-S123-V1	0.147	B1-S3	Oke
3B3S-10-B123-S123-V2	0.147	B1-S1	Oke
3B3S-11-B123-S123-V3	0.147	B1-S1	Oke

MODEL	Tegangan Utama Tekan (MPa)	Lokasi	CEK
3B3S-1-B1-S123-V2	-0.109	B1-S1	Oke
3B3S-2-B2-S123-V2	-0.117	B2-S1	Oke
3B3S-3-B3-S123-V2	-0.13	B3-S1	Oke
3B3S-4-B12-S123-V2	-0.117	B2-S1	Oke
3B3S-5-B123-S1-V2	-0.13	B3-S1	Oke
3B3S-6-B123-S2-V2	-0.104	B2-S1	Oke
3B3S-7-B123-S3-V2	-0.084	B2-S3	Oke
3B3S-8-B123-S12-V2	-0.13	B3-S1	Oke
3B3S-9-B123-S123-V1	-0.13	B3-S1	Oke
3B3S-10-B123-S123-V2	-0.13	B3-S1	Oke
3B3S-11-B123-S123-V3	-0.134	B3-S1	Oke