



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

CHRISTY NATALIA

0706266140

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



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik

CHRISTY NATALIA

0706266140

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Christy Natalia

NPM : 0706266140

Tanda Tangan : 

Tanggal : 21 JUNI 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Christy Natalia
NPM : 0706266140
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Analisis Kinerja Dinding Bata Yang Diperbaiki
Dengan Plester Dan Kawat Anyam Prategang
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 (.....)

Penguji : Dr.Ir.Elly Tjahjono (.....)

Penguji : Ir. Syahril A.Rahim, M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

KATA PENGANTAR

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

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Dr Yuskar Lase, DEA selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Para dosen penguji, atas waktu dan masukannya dalam perbaikan skripsi saat sidang seminar maupun sidang skripsi;
- (3) Ir. Herr Soeryantono, Msc, PhD selaku pembimbing akademik saya yang telah memberikan bimbingan selama 4 tahun ini
- (4) Orang tua dan keluarga terkasih, yang senantiasa member dukungan moril maupun materil yang berlimpah kepada penulis;
- (5) Dian Pramitarini Kasihbudi, Rais Pamungkas, dan Gregory F. Saragih yang telah bersama-sama saling mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini
- (6) Sahabatku dan semua teman-teman yang telah memberikan bantuan/dukungan dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.
- (7) Pak Agus dan Pak Apri yang telah memberikan bantuan/dukungan untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.

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

Depok, 21 Juni 2011



Penulis

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

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

Nama : Christy Natalia
NPM : 0706266140
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

ANALISIS KINERJA DINDING BATA YANG DIPERBAIKI
DENGAN PLESTER DAN KAWAT ANYAM PRATEGANG 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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2011

Yang menyatakan



(Christy Natalia)

ABSTRAK

Nama : Christy Natalia
Program Study : Teknik Sipil
Judul : Analisis Kinerja Dinding Bata Yang Diperbaiki Dengan Plester Dan Kawat Anyam Prategang Terpaku

Kerusakan/keruntuhan yang sering terjadi pada bangunan “non-engineered” pada saat terjadi gempa bumi adalah kerusakan/keruntuhan dinding bata. Salah satu metode perbaikan yang ekonomis adalah dengan menggunakan kawat anyam prategang. Untuk mengetahui peningkatan kinerja dinding bata akibat penambahan kawat prategang, maka dilakukan penelitian yang berdasarkan pendekatan *Continuum Model* dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 v14.1.0.

Struktur yang dimodelkan yaitu satu panel dinding dan ruko 3-lantai-3-bentang. Kedua model dievaluasi dengan analisis statik linier. Satu panel dinding dikenakan beban lateral statik dan ruko 3-lantai-3-bentang dikenai beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 03-1726-2002. Pada pemodelan ini, dinding bata dihubungkan dengan struktur portal elemen link yang kaku. Untuk mensimulasikan perubahan perilaku dinding bata akibat separasi dari struktur portal dilakukan pelepasan elemen link

Untuk mengetahui peningkatan kekuatan, dilakukan analisis tegangan. Sedangkan untuk mengetahui perubahan kekakuan, dilakukan analisis terhadap karakteristik dinamik. Analisis terhadap hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kawat prategang meningkatkan kekuatan atau kapasitas dinding bata, namun tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap kekakuannya dan terjadi perubahan letak tegangan maksimum pada dinding bata akibat pelepasan link menuju diagonal strut.

kata kunci : dinding bata, kawat anyam prategang terpaku, plester, beban lateral, *Continuum Model*

ABSTRACT

Name : Christy Natalia
Study Program : Civil Engineering
Title : Performance Analysis Of Brick Wall Retrofitted With Plaster
And Nailed Prestressed Low Grade Wire Mesh

The damage frequently found on the non-engineered building is the damage on its masonry wall. One of the economical alternatives is by using nailed prestressed low grade wire. To evaluate the increase on masonry wall's performance as the result of the addition of pre-stressed low grade wire and the behavior of masonry wall, the research is done by continuum model approach by the help of SAP2000 v14.1.0. software.

The structures modeled are one wall panel and 3-bays-3-stories store house. Those two models are evaluated with static linear analysis. The one wall panel loaded by static lateral load and the 3-bays-3-stories store house is loaded by static equivalent earthquake load based on SNI 03-1726-2002. On this modelling, masonry wall is linked to frame structure with rigid link element. To simulate the behavioral change of masonry wall as a result of separation of frame structure, the link element is released

To evaluate the increase of strength, stress analysis is done. While, to evaluate the change of rigidity, analysis of dynamic characteristic is done. Analysis on the research's result shows that the addition of prestressed wire increases the strength of the masonry wall. On the other hand, the change on the rigidity does not show a significant value. However, there is a change on the location of maximum stress on the masonry wall as a result of the link release to diagonal strut.

Key words: masonry wall, nailed prestressed low grade wire mesh, plasters, lateral load, Continuum Models

DAFTAR ISI

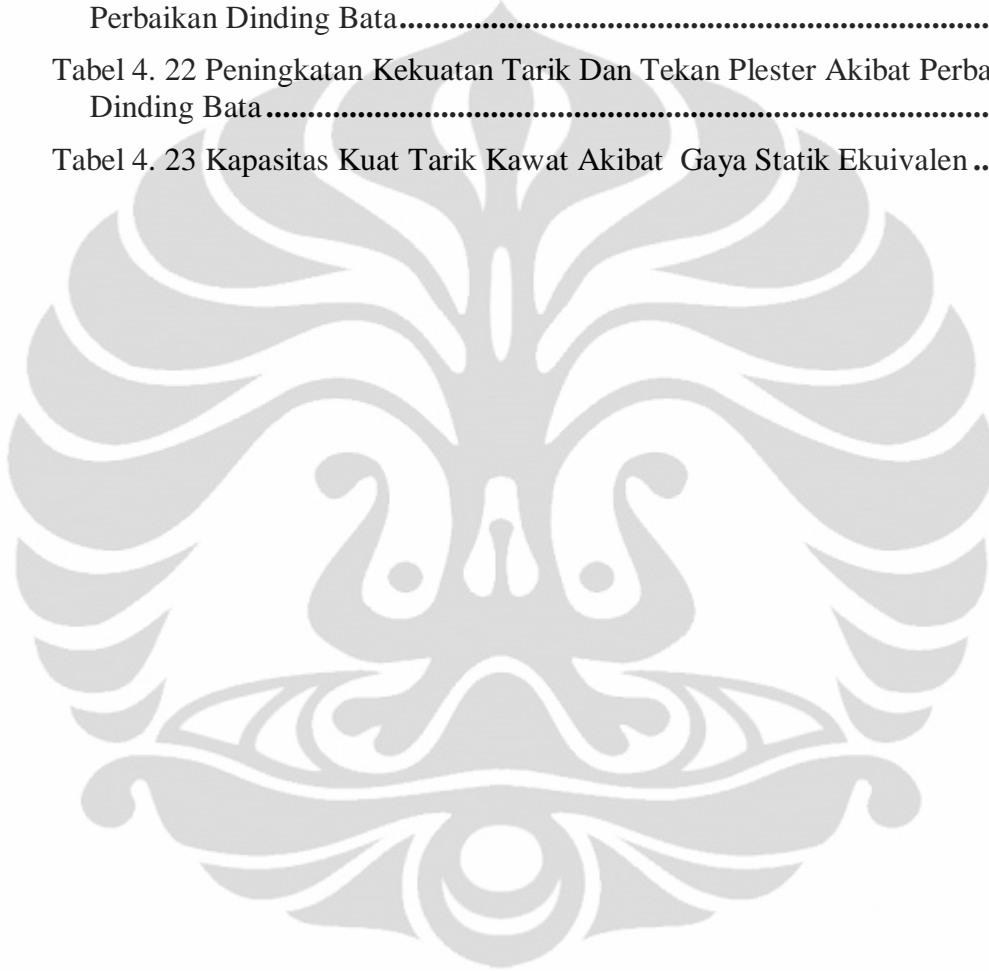
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Hipotesis	4
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
2 DASAR TEORI.....	6
2.1 Dinding Bata	6
2.1.1 Batu Bata	6
2.1.2 Kegagalan Dan Pola Retak Pada Dinding Bata	7
2.1.3 Perbaikan Dinding Bata.....	10
2.1.4 Pemodelan Dinding Bata	12
2.2 Metode Element Hingga	14
2.2.1 Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga.....	14
2.2.2 Metode Elemen Hingga untuk elemen Frame	15
2.2.3 Metode Elemen Hingga Untuk Perilaku Plane Stress	16
2.3 Perilaku Material	19
2.3.1 <i>Hukum Hooke</i>	20
2.3.2 <i>Poisson's Ratio</i>	20
2.3.3 <i>Transformasi Tegangan</i>	21
2.3.4 <i>Principal Stresses</i>	22
2.4 Dinamika Struktur	23
2.4.1 <i>Persamaan Dinamik Akibat Gempa</i>	23
2.4.3 <i>Analisis Statik Ekuivalen</i>	25
3 METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Skema Penelitian	28
3.2 Properti Material	29
3.2.1 Study Literatur	29

3.2.2 Uji Material.....	30
3.3 Pemodelan.....	31
3.3.1 Dinding Bata	31
3.3.2 Plester	31
3.3.3 Kolom Dan Balok.....	32
3.3.4 Elemen Dinding Bata	32
3.3.5 <i>Elemen Kawat</i>	33
3.4 Pembebanan	33
3.4.1 1Bay -1 Story	33
3.4.2 3 Bay-3 Story	34
3.5 Simulasi Parameter.....	38
3.5.1 1 Bay-1 Story	38
3.5.2 3 Bay-3 Story	39
3.6 Prosedur Analisa	39
4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Karakteristik Material.....	41
4.2 Hasil Pemodelan.....	41
4.2.1 Pemodelan 1bay-1story	41
4.2.1.1 Gaya Dalam Elemen	41
4.2.1.2 Distribusi Tegangan Pada Sisi Panel.....	42
4.2.2 Pemodelan 3b3s	43
4.2.2.1 Periode Alami.....	43
4.2.2.2 Gaya Dalam Frame.....	44
4.3 Analisis Hasil	44
4.3.1 <i>Pemodelan 1Bay-1Story</i>	44
4.3.1.1 Analisis Gaya Dalam Elemen	44
4.3.1.2 Analisis Distribusi Tegangan Pada Sisi Panel.....	57
4.3.2 Pemodelan 3 Bay-3 Story	62
4.3.2.1 Periode.....	62
4.3.2.2 Kekakuan Lateral	66
4.3.2.3 Gaya Dalam Frame.....	72
4.3.2.4 Tegangan Elemen Dinding Bata.....	75
5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR REFERENSI	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah.....	6
Tabel 2. 2 Kuat Tekan Pasangan Bata Merah	6
Tabel 2. 3 Perbandingan <i>Diagonal Compression Strut</i> Dengan <i>Continuum Mode</i>	14
Tabel 3. 1 Properti Material Dinding Pengisi.....	29
Tabel 3. 2 Pembebanan Pada Frame Dinding Bata	344
Tabel 3. 3 Berat Bangunan Tiap Lantai	35
Tabel 3. 4 Variasi <i>1 Bay-1story</i>	39
Tabel 3. 5 Variasi <i>3 Bay-3 Story</i>	39
Tabel 3. 6 Kondisi Sebagai Pembanding Dalam Analisa	40
Tabel 4. 1 Data Tegangan Putus Kawat.....	41
Tabel 4. 2 P_{fail} Dinding Bata.....	42
Tabel 4. 3 P_{fail} Plester	42
Tabel 4. 4 P_{fail} Kawat.....	42
Tabel 4. 5 Tegangan Tarik Akibat Unlink	42
Tabel 4. 6 Tegangan Tekan Akibat Unlink.....	43
Tabel 4. 7 Periode Alami Pada Tiap Variasi Retak.....	43
Tabel 4. 8 Perbandingan Gaya Geser Kolom Terhadap Gaya Geser Dasar Frame.....	44
Tabel 4. 9 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tarik Tiap Kondisi Terhadap Dinding Bata Utuh	46
Tabel 4. 10 Tabel Peningkatan Gaya Penyebab Keruntuhan Tekan Akibat Penambahan Strain Pada Kawat Terhadap Dinding Bata Utuh.....	49
Tabel 4. 11 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tekan Tiap Kondisi Dinding Bata.....	50
Tabel 4. 12. Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tarik Tiap Kondisi Plester ..	54
Tabel 4. 13 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tekan Tiap Retrofit Terhadap Dinding Bata Utuh	55
Tabel 4. 14 Nomor Elemen Dinding Bata Yang Mengalami Tegangan Maksimum	58
Tabel 4. 15 Perubahan Momen Dan Gaya Geser Pada Frame Akibat Pelepasan Link (Unlink)	60
Tabel 4. 16 Persentase Kenaikan Periode Alami Akibat Variasi Retak	63
Tabel 4. 17 Persentase Penurunan Periode Alami Tiap Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Retak.....	65

Tabel 4. 18 Persentase Penurunan Nilai Kekakuan Akibat Variasi Retak Terhadap Dinding Bata Utuh.....	71
Tabel 4. 19 Persentase Penurunan Nilai Kekakuan Akibat Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Utuh.....	71
Tabel 4. 20 Persentase Penurunan Gaya Dalam Frame Akibat Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Utuh	73
Tabel 4. 21 Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Tekan Dinding Bata Akibat Perbaikan Dinding Bata.....	75
Tabel 4. 22 Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Tekan Plester Akibat Perbaikan Dinding Bata	76
Tabel 4. 23 Kapasitas Kuat Tarik Kawat Akibat Gaya Statik Ekuivalen	76



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial Clay Brick Masonry P.A Hidalgo And C. Luders	7
Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan Tekan Concrete Masonry	7
Gambar 2. 5 Material Yang Digunakan Dalam Ferrocement	11
Gambar 2. 6 Dimensi Tipikal Dari Reinforced Plaster.....	11
Gambar 2. 7 Aplikasi Shotcrete Untuk Tes Specimen	12
Gambar 2. 8 Kurva Specimen Sebelum Dan Sesudah Perbaikan Dengan Menggunakan Shotcrete	12
Gambar 2. 9 Sap2000, Software Analisa Struktur Dengan Metode Elemen Hingga	15
Gambar 2. 10 Elemen Frame.....	16
Gambar 2. 11 Beban In-Plane	17
Gambar 2. 12 Elemen Plane Dan Tegangan Pada Elemen Plane.....	17
Gambar 2. 13 Tegangan Pada Gauss Points Diekstrapolasi Ke Sisi Tepi Elemen.....	19
Gambar 2. 14 Plane Stress Pada Sumbu Xy Dan Xy'	22
Gambar 2. 15 Tegangan Utama.....	23
Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Penelitian.....	28
Gambar 3. 2 Gambar Kerja Uji Kawat	31
Gambar 3. 3 Pemodelan Retak Pada Dinding Bata	32
Gambar 3. 4 Pembebanan Dinding Bata 1 Bay-1 Story	34
Gambar 3. 5 Frame Tinjauan Dan Area Pembebanan	35
Gambar 3. 6 Daerah Pembebanan Pada Frame Dinding Bata.....	35
Gambar 3. 7 Respon Spektrum Gempa Rencana	38
Gambar 4. 1 Pengujian Kuat Putus Kawat.....	41
Gambar 4. 2 Daerah Tinjauan Tegangan Tarik Dan Tekan Dinding Bata	45
Gambar 4. 3 Strut Dan Ties Diagonal Pada Dinding Bata.....	45
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Gaya Tarik Dan Kondisi Pada Dinding Bata	46
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Kawat Prategang Terhadap Tegangan Tarik Dinding Bata	47
Gambar 4. 5 Vektor Tegangan Pada Elemen Tarik Dinding Bata	49
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Kuat Tekan Dinding Bata Terhadap Strain Pada Kawat	50
Gambar 4. 7 Grafik Perbedaan Kuat Tekan Dinding Bata Tiap Perbaikan Dinding Bata	51

Gambar 4. 8 Daerah Tinjauan Tegangan Tarik	52
Dan Tekan Plester.....	52
Gambar 4. 5 Vektor Tegangan Pada Elemen Tekan Dinding Bata	53
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Kuat Tarik Plester Terhadap Tegangan Pada Kawat.....	53
Gambar 4. 5 Vektor Tegangan Pada Elemen Tarik Plester	55
Gambar 4. 5 Vektor Tegangan Pada Elemen Tekan Plester	56
Gambar 4. 10 Grafik Perubahan Kuat Tarik Kawat Anyam Akibat Penambahan Tegangan.....	57
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Kawat Anyam Pada Perbaikan Dinding Bata Yang Menggunakan Kawat Dan Paku Dengan Perbaikan Dinding Bata Menggunakan Kawat Prategang	57
Gambar 4. 12 Alur Perubahan Letak Tegangan Tarik Dan Tekan Maksimum Dinding Bata	59
Gambar 4. 13 Pembagian Wilayah Tinjauan Tegangan	59
Gambar 4. 14 Perubahan Tegangan Dinding Bata Tiap Unlink.....	60
Gambar 4. 15 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Pada Tiap Kondisi Tinjauan	62
Gambar 4. 16 Respon Spectrum Gempa Rencana.....	63
Gambar 4. 17 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Tiap Perbaikan Dinding Bata Pada Kondisi Seluruh Panel Dinding Bata Retak.....	65
Gambar 4. 18 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Pada Tiap Variasi Retak.....	66
Gambar 4. 19 Perbandingan Kekakuan Frame Dinding Bata Pada Tiap Variasi Retak.....	67
Gambar 4. 20 Perbandingan Kekakuan Lantai 1 Pada Tiap Variasi Retak	68
Gambar 4. 21 Perbandingan Kekakuan Lantai 2 Pada Tiap Variasi Retak	69
Gambar 4. 22 Perbandingan Kekakuan Lantai 3 Pada Tiap Variasi Retak	69
Gambar 4. 23 Perbandingan Kekakuan Tiap Lantai Pada Saat Dinding Bata Pada Tiap Panel Retak.....	70
Gambar 4. 24 Perbandingan Kekakuan Tiap Lantai Tiap Jenis Perbaikan Dinding Bata Pada Saat Dinding Bata Pada Tiap Panel Retak.....	72
Gambar 4. 25 Perbandingan Persentase Gaya Dalam Frame Pada Tiap Variasi Retak.....	73
Gambar 4. 26 Perbandingan Persentase Gaya Dalam Frame Pada Saat Seluruh Panel Dinding Bata Retak.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

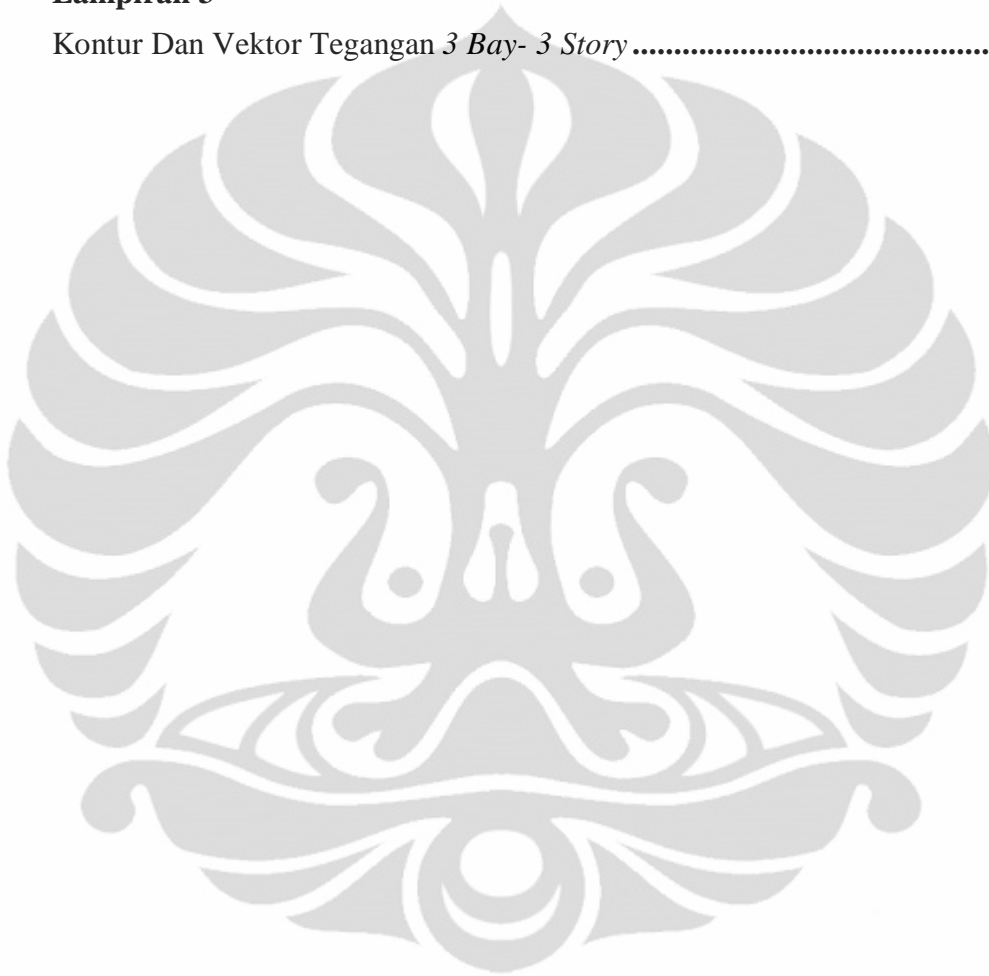
Gaya Statik Ekuivalen Dan Lendutan Pada *3 Bay- 3 Story* 83

Lampiran 2

Kontur Dan Vektor Tegangan *1 Bay- 1 Story* 84

Lampiran 3

Kontur Dan Vektor Tegangan *3 Bay- 3 Story* 105



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi permukaan bumi. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Secara geografis, kepulauan Indonesia berada di antara 60 LU dan 110 LS serta di antara 950 BT dan 1410 BT dan terletak pada perbenturan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng India Australia. Ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia berada pada pertemuan 2 jalur gempa utama, yaitu jalur gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa Alpide Transasiatic. Karena itu, kepulauan Indonesia berada pada daerah yang mempunyai aktivitas gempa bumi cukup tinggi. Pertemuan ketiga lempeng tersebut membentuk jalur gempa baru yang melewati wilayah Indonesia mulai dari Bukit Barisan, Pantai Selatan Jawa, Maluku, Irian Jaya, dan Sulawesi. setiap tahun terjadi gempa berskala kecil dan besar di berbagai wilayah Indonesia yang menimbulkan kerusakan dan korban jiwa. Penyebab utama bencana dan kerusakan terhadap lingkungan hidup adalah gaya inersia yang ditimbulkan oleh guncangan gempa dan berakibat merobohkan bangunan-bangunan yang tidak didesain tahan gempa

Sebagian besar korban jiwa dan kerugian material yang terjadi pada setiap gempa bumi disebabkan oleh rusak/ runtuhnya bangunan-bangunan “NON-ENGINEERED”, yaitu bangunan rumah tinggal dan bangunan komersil sampai 2 lantai yang dibangun secara swadaya oleh masyarakat tanpa melalui proses konsultasi, perancangan, pembangunan, hingga pengawasan oleh ahli struktur. Kerusakan tipikal bangunan non-engineered di Indonesia berdasarkan hasil pengamatan selama kurang lebih 35 tahun adalah sebagai berikut (Boen, 2010):

1. Genteng melorot ;
2. Dinding berpisah pada pertemuan 2 dinding ;
3. Kehancuran pada pojok-pojok dinding ;

4. Dinding retak di sudut bukaan ;
5. Dinding retak diagonal ;
6. Dinding roboh;
7. Kegagalan sambungan balok-kolom;
8. Bangunan roboh.

Pada umumnya kerusakan yang terjadi pada bangunan yang masih berdiri adalah kerusakan pada dinding. Terdapat dua jenis tipe keretakan pada dinding, yaitu retak sepanjang diagonal dan retak horizontal. Secara struktural, bangunan tidak mengalami kerusakan struktural, tetapi hanya mengalami kerusakan pada dinding bata, dimana bangunan dapat dikatakan cukup aman dan kuat untuk ditempati, sehingga hanya memerlukan perkuatan untuk mengembalikan kekuatan struktur dan arsitekturnya.

Secara struktural, keberadaan dinding bata tidak diperhitungkan dalam perhitungan struktur bangunan, tetapi diperhitungkan sebagai beban yang akan disalurkan kepada struktur frame. Jika suatu portal kita kenai suatu beban lateral gempa yang cukup kuat, maka dinding tersebut akan cenderung berinteraksi dengan portal yang mengelilinginya dan memberikan sumbangan kekakuan yang mengakibatkan perpindahan pusat kekakuan, perubahan perioda natural, percepatan nodal, displacement, serta gaya-gaya dalam elemen struktur yang tidak diperkirakan lainnya. Adanya perubahan tersebut dapat menghasilkan respon struktur yang bisa jadi memperkuat atau dapat menyebabkan keruntuhan struktur yang tidak diperhitungkan sebelumnya. Pada bangunan, dimana dinding bata tidak berada pada setiap sisi secara merata, contohnya pada ruko, perilaku struktur akan berubah dan dimungkinkan dapat memperburuk struktur bangunan tsb. Hal ini membuktikan bahwa dinding bata memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap kekuatan bangunan, sehingga dirasa perlu dilakukan penanganan untuk memperbaiki retak pada dinding bata. Pada perbaikan dinding retak, terdapat dua alternatif perkuatan dinding bata, yaitu:

- a. Retak kecil(lebar celah retak kurang dari 5 mm) menggunakan bahan kimia(EPOXY)
- b. Retak besar (lebar celah retak lebih besar dari 5 mm) menggunakan
 - a. carbon fiber reinforced plastic (CRFP)
 - b. Lapisan kawat anyam.

Pada retak besar, penggunaan CFRP dirasa kurang ekonomis mengingat harganya yang cukup mahal. Untuk itu maka dilakukan penelitian penggunaan kawat anyam yang diberi tegangan dan paku sebagai sarana untuk memperbaiki retak pada dinding bata, dengan dasar pemikiran pemakaian kawat anyam yang sering kali digunakan untuk memperbaiki retak pada dinding bata. Alternatif penambahan tegangan pada kawat anyam dipilih dengan pertimbangan bahwa jika terjadi retak diagonal pada dinding bata, maka pada daerah retak tidak terdapat material yang dapat menahan tarik (kekakuan tarik berkurang) sehingga dengan adanya penambahan tegangan pada kawat diharapkan kawat tersebut dapat mengembalikan dan menambah kekakuan tarik pada dinding bata. Diharapkan dari penelitian ini terdapat peningkatan kinerja dinding bata (retak akibat gempa) tersebut, yang berujung pada peningkatan kekuatan struktur pada saat gempa.

1.2 Tujuan

- Untuk mengetahui peningkatan kinerja struktur dinding bata akibat perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam prategang terpaku paku dan plester
- Mempelajari perilaku dinding bata yang retak akibat gempa setelah diperkuat menggunakan kawat anyam prategang terpaku paku dan plester

1.3 Pembatasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Struktur yang dibahas adalah bangunan rumah toko (ruko) 3 tingkat.
2. Material yang digunakan adalah beton bertulang (portal), bata (dinding), dan plester.

3. Sistem struktur menggunakan portal dengan dinding pengisi bata yang dimodelkan dengan metode *Continuum Model*.
4. Gaya yang diberikan merupakan gaya lateral *in-plane*.
5. Wilayah gempa zona tiga (DKI Jakarta)
6. Analisis menggunakan bantuan program komputer SAP 2000V14.

1.4 Hipotesis

Dalam penelitian ini akan terjadi peningkatan kinerja dinding bata akibat perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam prategang terpaku dan plester

1.5 Metodologi penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu:

1. Studi literatur. Dalam hal ini penulis mencari dan mempelajari berbagai macam sifat mengenai dinding bata pada struktur, mempelajari pola retak dinding bata, mempelajari teori dinamik, dan juga mengumpulkan data-data yang dibutuhkan.
2. Melakukan percobaan untuk mengetahui tegangan putus kawat
3. Melakukan pemrograman dengan menggunakan bantuan program SAP 2000. Melakukan variasi data sebagai *input* untuk perbandingan hasil.
4. Memperoleh output program SAP 2000 berupa parameter struktur yaitu, frekuensi alami, *displacement*, gaya geser dasar, dan gaya dalam portal maupun dinding bata hasil analisis statik ekuivalen.
5. Analisis. Penulis menganalisis dan membandingkan *output* program.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan evaluasi ini terdiri atas lima bab, dan diharapkan dapat menjelaskan perihal efek dinding pengisi bata terhadap struktur akibat gempa serta memperlihatkan pengaruh penambahan perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat anyam yang ditegangkan, paku dan plester pada dinding bata yang mengalami retak terhadap struktur :

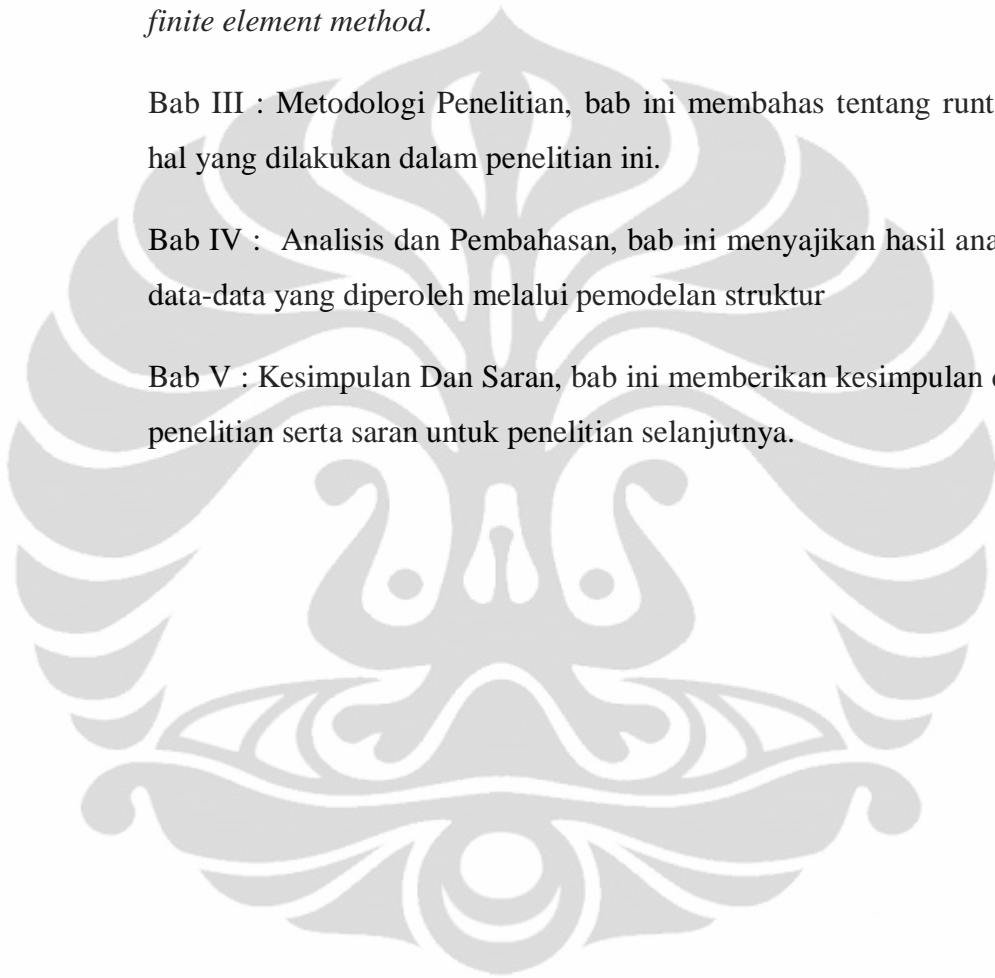
Bab I : Pendahuluan, berisi: latar belakang, permasalahan, tujuan, penelitian, pembatasan masalah, hipotesis, metodologi, dan sistematika penulisan

Bab II : Dasar Teori, bab ini menguraikan teori dasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mengenai dinding bata, dinamika struktur, dan *finite element method*.

Bab III : Metodologi Penelitian, bab ini membahas tentang runtutan hal-hal yang dilakukan dalam penelitian ini.

Bab IV : Analisis dan Pembahasan, bab ini menyajikan hasil analisis dari data-data yang diperoleh melalui pemodelan struktur

Bab V : Kesimpulan Dan Saran, bab ini memberikan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Dinding Bata

2.1.1 Batu Bata

2.1.1.1 Definisi

Menurut SNI-15-2094-1991, bata merah (clay brick) adalah bahan bangunan yang digunakan untuk pembuatan konstruksi bangunan, dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lainnya yang dibentuk persegi panjang, dibakar pada suhu yang tinggi hingga tidak dapat jancur lagi bila direndam dalam air. Bata merah yang berlubang kurang dari 15 % luas potongan datarnya, termasuk lingkup standar ini.

2.1.1.2 Karakteristik Material

a. Modulus Elastisitas

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

Tabel 2. 1 Modulus Elastisitas Pasangan Bata Merah

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

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

b. Kuat Tarik

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

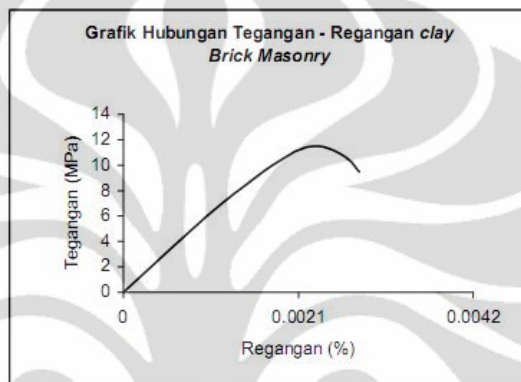
Tabel 2. 2 Kuat Tekan Pasangan Bata Merah

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

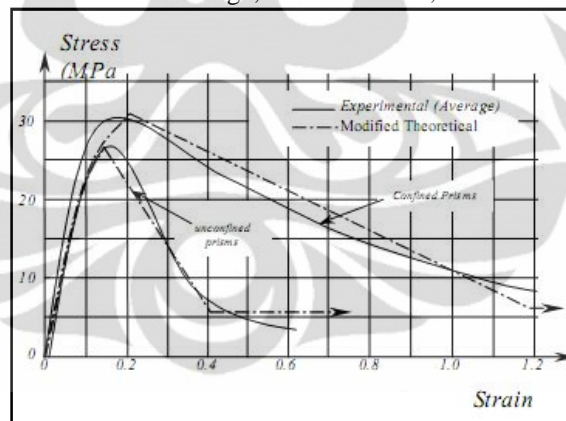
Sumber : Penelitian (Case Study) Di Laboratorium Bah an Universitas Indonesia

c. Kuat Tarik

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



Gambar 2. 1 Kurva Hubungan Tegangan Regangan Tekan Aksial Clay Brick Masonry P.A Hidalgo And C. Luders
sumber : Hidalgo, P. A. & Luders, C.1984



Gambar 2. 2 Kurva Tegangan-Regangan Tekan Concrete Masonry
sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992

2.1.2 Kegagalan dan Pola Retak pada Dinding Bata

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

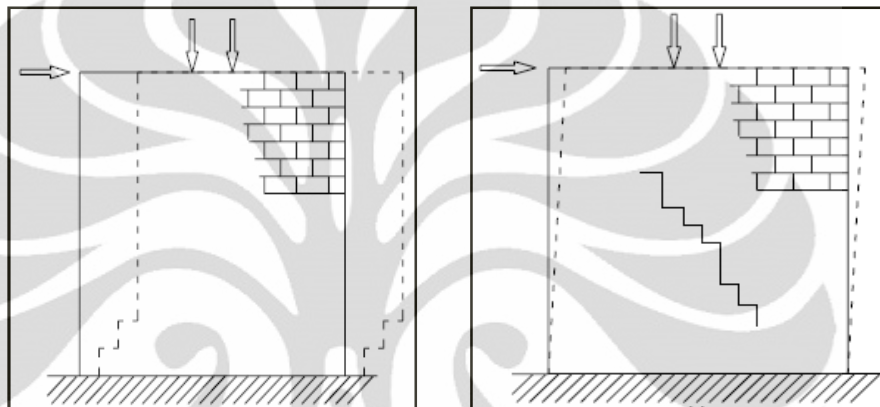
- a) *Out-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja tegak lurus pada bidang dinding. Dinding bata akan mengalami keruntuhan menyeluruh karena memiliki kemampuan sangat kecil untuk menahan gaya *out-plane*
- b) *In-plane failure* diakibatkan oleh gaya yang bekerja sejajar pada bidang dinding. Keruntuhan ini terjadi karena pada tingkat kekuatan gaya lateral yang relatif rendah, struktur portal dan dinding pengisi akan bekerja bersama sebagai struktur komposit. Ketika deformasi lateral meningkat, struktur akan mengalami perilaku yang kompleks dimana struktur portal akan mengalami deformasi dalam *flexural mode* sedangkan dinding pengisi mengalami deformasi dalam *shear mode*. Akibat dari perilaku ini, maka akan terjadi pemisahan antara portal dan dinding pengisi pada ujung-ujung tarik dan perubahan pada *diagonal compression strut*. Pemisahan ini akan menurunkan 50% sampai 70% kapasitas geser lateral dan akan mengecilkan lebar efektif dari *diagonal compression strut*. Ada beberapa tipe kegagalan pada dinding bata akibat gaya lateral (*in-plane load*), seperti:
- *Tension Failure Mode*: Kegagalan tarik dari kolom yang tidak kuat menahan tarik akibat momen
 - *Sliding shear failure*: Kegagalan geser pada dinding sepanjang arah horizontal dekat atau tepat pada setengah ketinggian panel dinding pengisi
 - *Diagonal Tensile Cracking*: Retak sepanjang diagonal dinding bata karena tarik
 - *Compression failure of the diagonal strut*
 - *Flexural or shear failure of the columns*

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

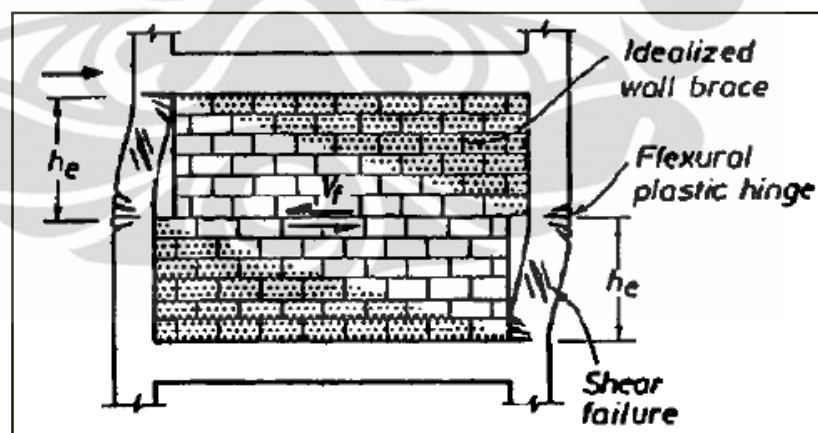
- *Sliding shear failure*

Kegagalan ini terjadi ketika ada gaya lateral yang besar pada struktur yang menyebabkan adanya perpindahan yang besar pada ujung atas dinding bata. Jika moda kegagalan ini terjadi, mekanisme kesetimbangan struktur berubah dari *diagonally braced pin-jointed* menjadi *knee-braced*

frame. Perkuatan yang disumbangkan oleh dinding pengisis bata memberikan gaya pada kolom sehingga terjadi sendi plastis pada sekitar setengah ketinggian panel dinding yang dapat menyebabkan kegagalan geser pada kolom. Pada mulanya, semua gaya geser akan ditanggung oleh dinding bata, namun ketika *Sliding shear failure* terjadi, penambahan deformasi menyebabkan terjadinya momen dan geser pada kolom. Hal ini menyebabkan terjadinya pergeseran antara dinding bagian atas dan bagian bawah yang kemudian menimbulkan pergeseran horisontal.



Gambar 2. 3 Sliding Failure Dan Shear Failure
sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992



Gambar 2. 4 Model *knee-braced frame* pada *Sliding shear failure*
sumber : Paulay, T. & Priestley, M. J. N.,1992

o *Compression Failure Of The Diagonal Strut*

Kegagalan ini terjadi ketika strut diagonal tidak mampu menahan tekan sementara diagonal lainnya mengalami tarik. Hal ini akan menyebabkan pemisahan diagonal akan didahului oleh keretakan pada diagonal. Dalam siklus inelastis, kapasitas dari strut diagonal mengalami

penurunan dan perilaku dinding dengan portal akan mendekati *knee-braced frame*.

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

2.1.3 Perbaikan Dinding Bata

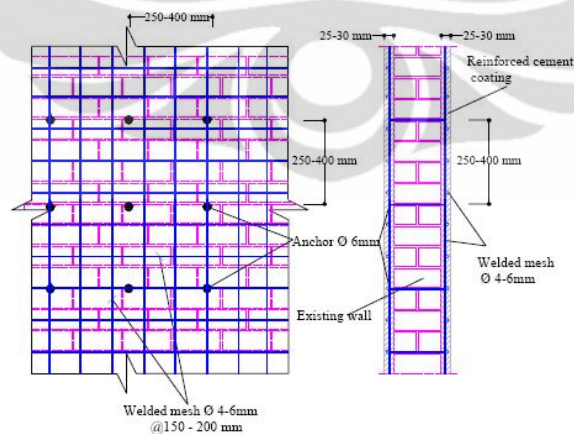
Mengacu pada ulasan yang dilakukan oleh M. Elgawadi, dkk pada *international Brick and block masonry conference* ke 13 tahun 2004, ada beberapa cara teknik konvensional yang kerap digunakan dalam perbaikan dan perkuatan *un-reinforced masonry* (URM) terhadap gaya seismik. Salah satunya adalah metode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

Ferrocement adalah metode perbaikan dengan menggunakan *mesh* yang dilapisi dengan mortar. 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 kapaasiti 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 Tercelej 1980). Dalam *diagonal tension test* dan *static cyclic tests*, metode ini terbukti dapat meningkatkan resistansi dinding bata terhadap gaya *in-plane* dengan faktor 1.25-3 (Jabarov et al. 1980, Sheppard and Tercelej 1980). Peningkatan kekuatan dinding bata sangat dependen terhadap tebal lapisan semen, kekuatan mortar semen, kualitas *steel reinforcement*, ikatan *steel reinforcement* terhadap dinding bata yang diperbaiki dan tingkat kerusakan dinding bata.



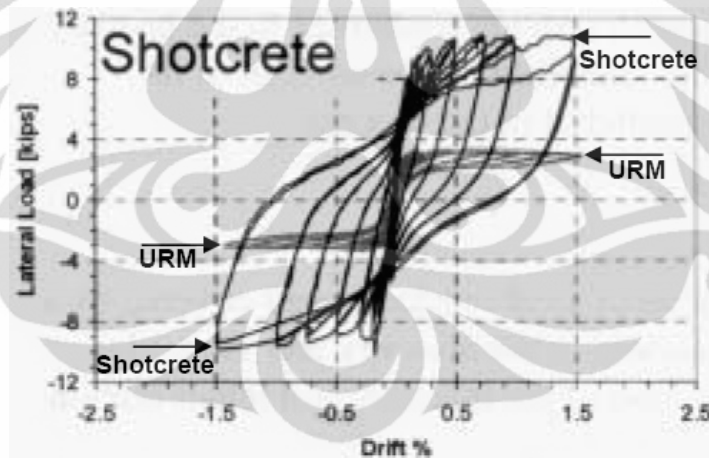
Gambar 2. 6 Dimensi Tipikal Dari Reinforced Plaster
sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001

Shotcrete adalah metode perbaikan dinding dengan menyempromkan beton pada *mesh* yang telah dipasang pada dinding bata yang rusak. Ketebalan dari *shotcrete* dapat disesuaikan dengan perencanaan gempa. Secara signifikan,

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



Gambar 2. 7 Aplikasi Shotcrete Untuk Tes Specimen
sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001



Gambar 2. 8 Kurva specimen sebelum dan sesudah perbaikan dengan menggunakan shotcrete
sumber : Abrams, D. P., Lynch, J. M., 2001

2.1.4 Pemodelan Dinding Bata

untuk mensimulasikan perilaku dari *infilled frame*, terdapat 2 metode yang telah dikembangkan, yakni model mikro dan model makro. Metode *Micro modelling* adalah *continuum* mode dimana elemen frame, kerja dinding bata, hubungan permukaan, dan gap/separasi dimodelkan untuk mendapatkan hasil.

Sedangkan Metode *Macro modelling* atau disebut Diagonal Tekan Ekuivalen metode ini menggunakan satu atau lebih strut untuk mewakili dinding pengisi.

a. Diagonal Tekan Ekuivalen

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

b. Continuum Mode

Continuum Mode adalah suatu metode pemodelan dimana komponen struktural di diskritisasi menjadi ukuran kecil, dengan mempertahankan sifat material dan kondisi batas dengan tujuan meningkatkan keakuratan data. Konsep dasar metode ini adalah bahwa struktur kontinu dapat dimodelkan secara diskritisasi menjadi struktur diskrit dengan perilaku yang sama dengan perilaku struktur kontinu. Perilaku masing-masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang dapat mewakili peralihan dan tegangan.

Berikut adalah Perbandingan kelemahan dan kelebihan tiap pemodelan :

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

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

2.2 Metode Element Hingga

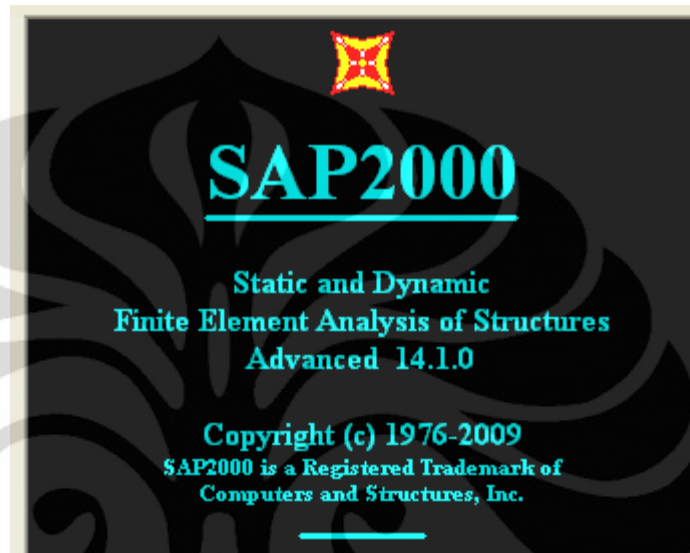
Pada dasarnya, semua permasalahan di dunia dapat disimplifikasi dalam persamaan differensial. Persamaan differensial pun memiliki derajat bervariasi berdasarkan kompleksitas masalahnya. Untuk dapat menyelesaikan persamaan differensial yang harus diselesaikan secara numerik, seringkali persamaan tersebut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

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

2.2.1 Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga

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

digunakan) dapat mengaproksimasi fungsi-fungsi untuk tegangan atau perpindahan. Semakin fleksibel suatu struktur elemen hingga, semakin tinggi kemampuan reaksinya terhadap (misalnya) beban titik, maka akurasi solusi elemen hingga semakin tinggi. (Hartman & Katz, 2007)

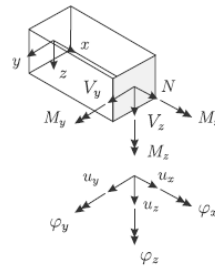


Gambar 2. 9 SAP2000, software Analisa Struktur dengan Metode Elemen Hingga

2.2.2 Metode Elemen Hingga untuk elemen Frame

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

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



Gambar 2. 10 Elemen Frame
Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

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

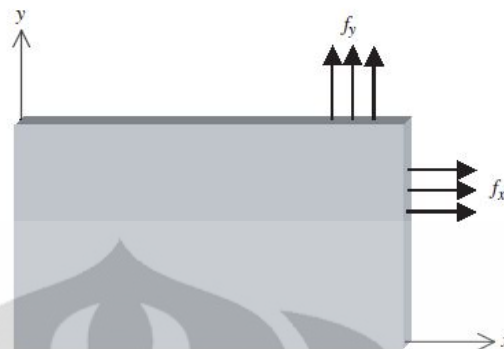
$$\begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{m1} \\ f_{x2} \\ f_{y2} \\ f_{m2} \end{Bmatrix}^{BNE} \quad (2.2.1.1)$$

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

$$\{f_n\}_{lokal} = [k]_{lokal} \{u_n\}_{lokal} - \{f_n\}_{lokal}^{BNE} \quad (2.2.1.2)$$

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*.

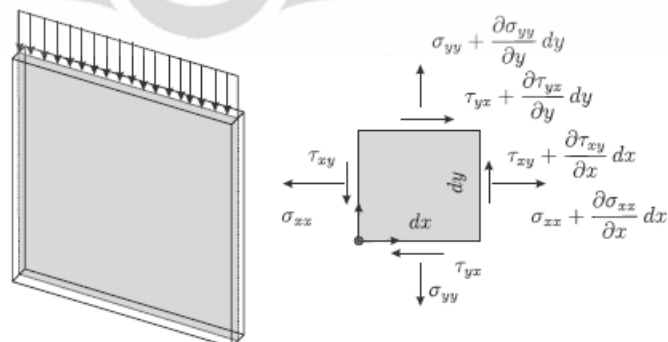


Gambar 2. 11 Beban In-Plane
Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

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

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

2.2.3.1 Regangan dan Tegangan



Gambar 2. 12 Elemen Plane dan Tegangan pada Elemen Plane.
Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

Deformasi pada sebuah pelat dideskripsikan dengan vektor perpindahan:

$$\mathbf{u}(x, y) = \begin{bmatrix} u(x, y) \\ v(x, y) \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{perpindahan horisontal} \\ \text{perpindahan vertikal} \end{array} \quad (2.2.3.1)$$

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.

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad \varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \gamma_{xy} \quad (2.2.3.2)$$

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

$$\begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.2.3.3)$$

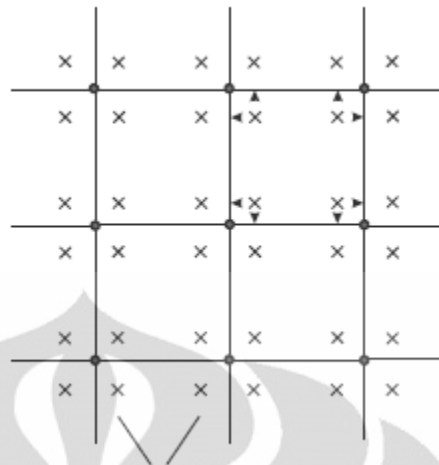
sehingga untuk mendapatkan regangan dari tegangan, digunakan perumusan:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E & -\nu/E & 0 \\ -\nu/E & 1/E & 0 \\ 0 & 0 & 1/G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} \quad (2.2.3.4)$$

dimana $G = 0,5 E/(1+\nu)$ atau modulus geser material yang digunakan. Dengan transformasi tegangan dapat ditentukan tegangan utama (tegangan geser bernilai nol) atau tegangan geser maksimum (diputar 45°). (Hartman & Katz, 2007)

2.2.4 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. 13 Tegangan pada Gauss Points diekstrapolasi ke sisi tepi elemen.

Sumber: (Hartman & Katz, 2007)

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

2.3 Perilaku Material

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

1. Material *Ductile*

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

2. Material *Brittle*

Material brittle yaitu material yang sedikit atau bahkan tidak terjadi leleh sebelum material tersebut gagal. Munculnya awal retak pada material ini sangat acak, material brittle tidak dapat didefinisikan dengan baik gagalannya akibat tegangan tarik. Jika dibandingkan dengan sifat

tariknya, material ini menunjukkan ketahanan yang lebih tinggi untuk tekanan aksialnya.

2.3.1 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.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.3.1)$$

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

2.3.2 Poisson's Ratio

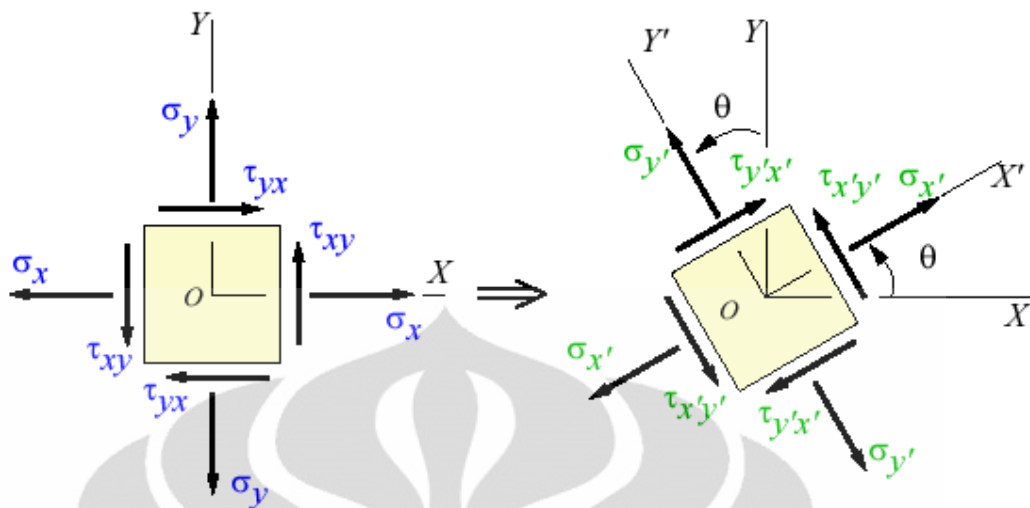
Ketika material dikenai gaya aksial, material tidak hanya mengalami deformasi yang searah dengan gayanya (longitudinal), tetapi akan berdeformasi pada arah lateralnya juga. Pada daerah elastisnya, perbandingan regangan lateral dan longitudinalnya selalu konstan karena regangan lateral dan longitudinalnya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

$$\nu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad (2.3.2)$$

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.

2.3.3 Transformasi Tegangan

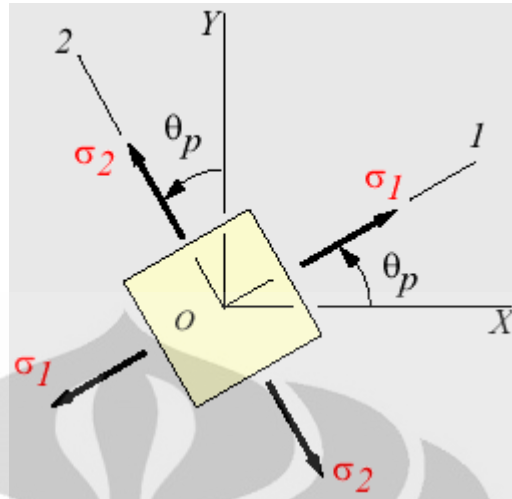
Pada kondisi umum tegangan pada suatu titik dicirikan dengan enam tegangan normal independen dan tegangan geser. Keadaan tegangan seperti ini tidak sering ditemukan dalam praktiknya. Oleh karena itu dilakukan perkiraan atau simplifikasi beban pada material dalam rangka bahwa tegangan yang dihasilkan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



Gambar 2. 14 Plane stress pada sumbu XY dan $X'Y'$

2.3.4 Principal Stresses

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



Gambar 2. 15 Tegangan Utama

2.4 Dinamika Struktur

2.4.1 Persamaan Dinamik akibat Gempa

Sesuai persamaan dinamik berdasarkan prinsip D'Alembert's, dengan selalu mengikutsertakan gaya inersia dalam analisis, sistem dinamik akan selalu berada pada keadaan setimbang. 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:

$$[m] \{\ddot{u}\} + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.4.1.1)$$

$[m]$ 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:

$$[m] (\{\ddot{u}_g\} + \{\ddot{u}\}) + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.4.1.2)$$

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

$$[m] \{\ddot{u}\} + [c] \{\dot{u}\} + [k] \{u\} = -[m] \{\ddot{u}_g\} \quad (2.4.1.3)$$

$\{\ddot{U}g\}$ 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:

$$\{\ddot{u}g\} = \{i\} \ddot{u}g(t) \quad (2.4.1.4)$$

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

2.4.2 Frekuensi Alami dan Pola Ragam Getar akibat Geratan Bebas

Struktur dikatakan mengalami getaran bebas ketika struktur tersebut diganggu dari kesetimbangan statisnya dan kemudian diizinkan untuk bergetar tanpa eksitasi dinamik eksternal. Kondisi ini biasa digunakan untuk mendefinisikan karakteristik dinamik dari struktur, yaitu frekuensi alami dan pola ragam getar.

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

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

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

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

$$[m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} = 0 \quad (2.4.2.1)$$

$$\{u\}(t) = q_n(t) \Phi_n \quad (2.4.2.2)$$

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

$$q_n(t) = A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t \quad (2.4.2.3)$$

jika dikombinasikan dengan persamaan sebelumnya, maka akan menghasilkan persamaan:

$$\{u\}(t) = \Phi_n (A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t) \quad (2.4.2.4)$$

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

$$\begin{aligned} \{u\}(t) &= \{\Phi_n\} \sin \omega t \\ \{\ddot{u}\}(t) &= -\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.4.2.5)$$

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

$$\begin{aligned} [m] \{\ddot{u}\} + [k] \{u\} &= 0 \\ [m](-\omega^2 \{\Phi_n\} \sin \omega t) + [k] \{\Phi_n\} \sin \omega t &= 0 \\ ([k] - \omega^2 [m]) \{\Phi_n\} \sin \omega t &= 0 \end{aligned} \quad (2.4.2.6)$$

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

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

$$([k] - \omega_n^2 [m]) \{\Phi_n\} = 0 \quad (2.4.2.7)$$

memiliki solusi nontrivial, sehingga:

$$\det ([k] - \omega_n^2 [m]) = 0 \quad (2.4.2.8)$$

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

2.4.3 Analisis Statik Ekuivalen

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

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

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

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

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (2.4.3.1)$$

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

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

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

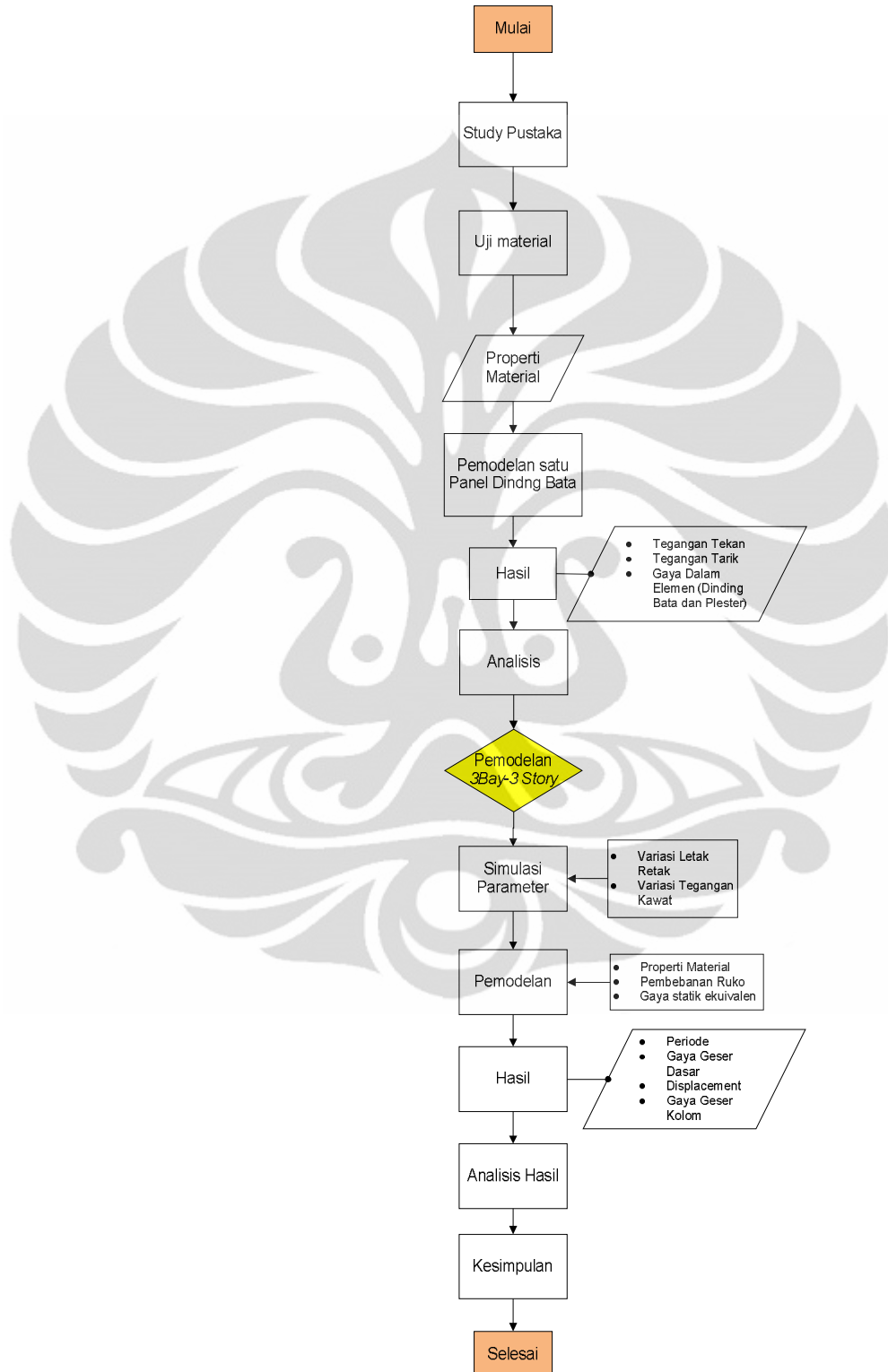
$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (2.4.3.1)$$

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.

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

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Skema Penelitian



Gambar 3. 1 Alur Pengerjaan Penelitian

3.2 Properti Material

3.2.1 Study Literatur

3.2.1.1 Dinding Pengisi

Tabel 3. 1 Properti Material Dinding Pengisi

Material	E (Mpa)	fc' (Mpa)	σ_{tarik} (Mpa)	σ_{tekan} (Mpa)	Massa (KN/m ³)
Dinding Bata	15623,524	11,05	0,2194	11,05	16,35
Plester	5130,58	17,64	0,36	17,64	1,013

Untuk mendapatkan nilai properti material, maka dilakukan pendekatan-pendekatan, sebagai berikut:

- Dinding bata

Untuk mengetahui nilai tegangan tarik bata maka dilakukan pendekatan komparasi antara dinding bata dan beton, dengan pertimbangan bahwa beton dan dinding bata memiliki sifat yang sama, yakni bersifat getas dengan parameter akar kuat tekan. Parameter akar kuat tekan digunakan sebagai parameter dikarenakan pada persamaan kuat tarik beton merupakan fungsi dari akar kuat tekan beton. Dengan parameter akar kuat tekan maka sebagai pembandingan digunakan persamaan lain yang merupakan fungsi dari akar kuat tekan, dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$E = \alpha \sqrt{f_c'} \quad (3.2.1.1.1)$$

$$f_{ct} = \beta \sqrt{f_c'} \quad (3.2.1.1.2)$$

Dimana mengasumsikan terdapat perbandingan linier antara faktor pengali pada rumus Elastisitas dan tegangan tarik antara bata dan beton dengan nilai tegangan tekan, berikut adalah penjelasan secara matematis:

$$E_{bata} = \alpha_1 \sqrt{f_c'}$$

$$E_{beton} = \alpha_2 \sqrt{f_c'}$$

$$; \alpha_2 = 4700(\text{beton})$$

$$f_{ct\,bata} = \beta_1 \sqrt{f_c'}$$

$$f_{ct\,beton} = \beta_2 \sqrt{f_c'}$$

$$; \beta_2 = 0,33 \lambda \quad (\lambda = 1 ; \text{ untuk Beton normal})$$

Pada $f_c' = 11 \text{ Mpa}$ dan $E_{\text{plester}} = 35130,58 \text{ Mpa}$

$$\frac{E_{\text{bata}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{f_{ct \text{ bata}}}{f_{ct \text{ beton}}}$$

Maka didapatkan

$$f_{ct \text{ bata}} = 0,2194 \text{ Mpa}$$

- Plester

Dengan menggunakan prinsip kompatibilitas dan kesetimbangan gaya pada dinding bata dan plester akibat gaya aksial, maka didapatkan nilai modulus elastisitas plester sebesar 5130.58 MPa. Sedangkan untuk mengetahui besar kuat tarik pada plester, maka dilakukan pendekatan komparasi antara plester dan beton, sebagai berikut :

$$E_{\text{plester}} = \alpha_1 \sqrt{f_c'}$$

$$E_{\text{beton}} = \alpha_2 \sqrt{f_c'} ; \alpha_2 = 4700$$

$$f_{ct \text{ plester}} = \beta_1 \sqrt{f_c'}$$

$$f_{ct \text{ beton}} = \beta_2 \sqrt{f_c'} ; \beta_2 = 0,33 \lambda \quad (\lambda = 1 ; \text{ untuk Beton normal})$$

Pada $f_c' = 17,64 \text{ Mpa}$ dan $E_{\text{plester}} = 35130,58 \text{ Mpa}$

$$\frac{E_{\text{plester}}}{E_{\text{beton}}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{f_{ct \text{ Plester}}}{f_{ct \text{ beton}}}$$

Maka didapatkan

$$f_{ct \text{ plester}} = 0,360 \text{ Mpa}$$

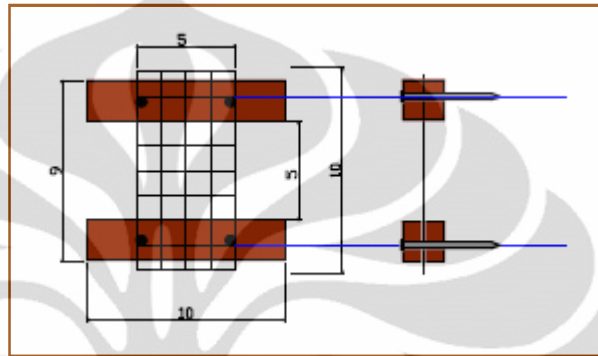
3.2.1.2 Frame

- Mutu beton k-300
- F_c' : 25 Mpa
- Tebal pelat : 12 cm
- Dimensi balok : 30 cm x 50 cm
- Dimensi kolom : 40 cm x 40 cm

3.2.2 Uji Material

Uji material dilakukan dikarenakan terdapat data material yang belum tersedia dan harus dilakukan pengujian secara mandiri untuk mendapatkannya, Pengujian yang dilakukan adalah tegangan putus kawat anyam yang digunakan sebagai bahan perbaikan dinding bata.

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



Gambar 3. 2 Gambar Kerja Uji Kawat

Empat grid kawat anyam sepanjang 10 cm diapit oleh 2 batang kayu kaso pada bagian atas dan bawahnya, Bagian bawah kawat ini kemudian dibebani secara berkala hingga kawat putus. Dari tegangan putus yang didapatkan, maka dapat diketahui kuat/gaya putus kawat anyam, yang kemudian diubah menjadi *strain* dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{P_{putuskawat}}{EA} = \frac{\sigma_{putuskawat}}{E} \quad (3.2.2)$$

3.3 Pemodelan

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan software SAP V14.1.0. pada pemodelan dilakukan beberapa asumsi dalam pemodelan, sebagai berikut:

3.3.1 Dinding bata

Dinding bata dimodelkan sebagai membran, dengan ketebalan 150 mm(dinding bata+plester)

3.3.2 Plester

Plester dimodelkan sebagai membrane dengan ketebalan 50 mm.

3.3.3 Kolom dan balok

Dimodelkan sebagai frame dengan jarak setengah dimensi balok(jarak dinding bata dengan frame balok) dan setengah dimensi kolom (jarak dinding bata dengan frame kolom), untuk menghubungkan dinding bata dengan balok dan kolom, digunakan penghubung berupa link, dimana link diberi konstrain arah x, y, dan z agar dinding bata bergerak bersamaan dengan balok dan kolom jika portal diberi gaya inplane. pemberian gap (jarak) antara frame dan dinding bata dilakukan untuk mensimulasikan dinding bata yang tidak sepenuhnya terjepit oleh frame.

3.3.4 Elemen Dinding bata

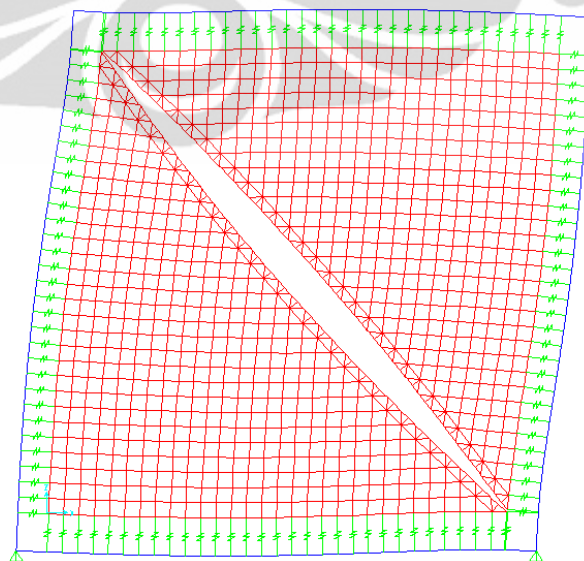
Pada pemodelan dinding bata ini dilakukan pemodelan retak sepanjang diagonal dinding bata, dengan lebar retak ± 14 mm. Untuk memodelkan retak diagonal pada dinding bata, dilakukan diskretisasi dinding bata dengan rasio ukuran elemen dinding bata sama dengan rasio ukuran dinding bata pada satu panel.

a) 1Bay -1 Story

- Ukuran dinding bata tanpa frame : 3000 x 3000 mm²
- Ukuran elemen dinding bata : 100 x 100 mm²

b) 3Bay -3 Story

- Ukuran dinding bata tanpa frame : 4600 x 3000 mm²
- Ukuran elemen dinding bata : 230 x 150 mm²



Gambar 3. 3 Pemodelan Retak Pada Dinding Bata

3.3.5 Elemen Kawat

Elemen kawat dimodelkan sebagai truss, sedangkan untuk memodelkan pengaruh paku dan tegangan, maka dilakukan diskretisasi kawat, sehingga terjadi peningkatan kekakuan kawat akibat pembagian kawat dan pemberian strain pada kawat, yang besarnya akan dijelaskan pada bagian simulasi parameter.

Dikarenakan ukuran elemen dinding bata yang melebihi jarak antar grid kawat maka untuk menyesuaikan dilakukan pendekatan diameter ekuivalen, dimana setiap kawat yang dimodelkan memiliki luas yang ekuivalen dengan jumlah kawat yang seharusnya. Berikut adalah penjelasan secara matematis:

$$n = 2 \left(\frac{\text{jarak diagonal elemen bata}}{\text{jarak antar grid kawat}} \right)$$

$$\frac{A_{actual}}{A_{modeling}} = \frac{n \left(\frac{1}{4} \pi d_{actual}^2 \right)}{\frac{1}{4} \pi d_{modeling}^2} = \frac{n d_{actual}^2}{d_{modeling}^2} = 1 \quad (3.3.5)$$

a) 1Bay -1 Story

- Jarak antar grid kawat: 12,5 mm
- Panjang Diagonal dinding bata : $100 \sqrt{2}$ mm
- $d_{modeling} = 3,572$ mm

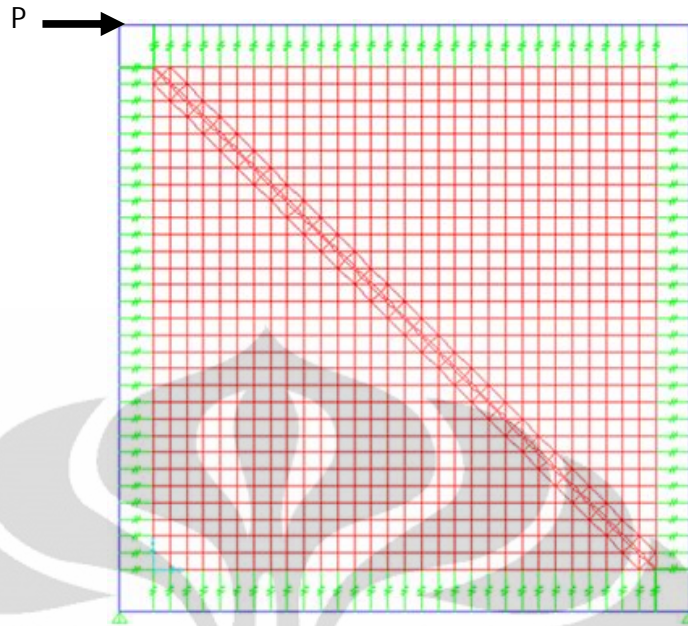
b) 3Bay -3 Story

- Jarak antar grid kawat: 12,5 mm
- Panjang Diagonal dinding bata : 274,59 mm
- $d_{modeling} = 5,31$ mm

3.4 Pembebanan

3.4.1 1Bay -1 Story

Pada pemodelan 1Bay -1 Story, beban yang diberikan adalah beban inplane terpusat. beban inplane yang diberikan sebesar 500 KN, pemilihan beban 500 KN dilakukan untuk mendapatkan tegangan tekan dan tarik terbesar pada dinding bata.



Gambar 3. 4 Pembebanan Dinding Bata 1 Bay-1 Story

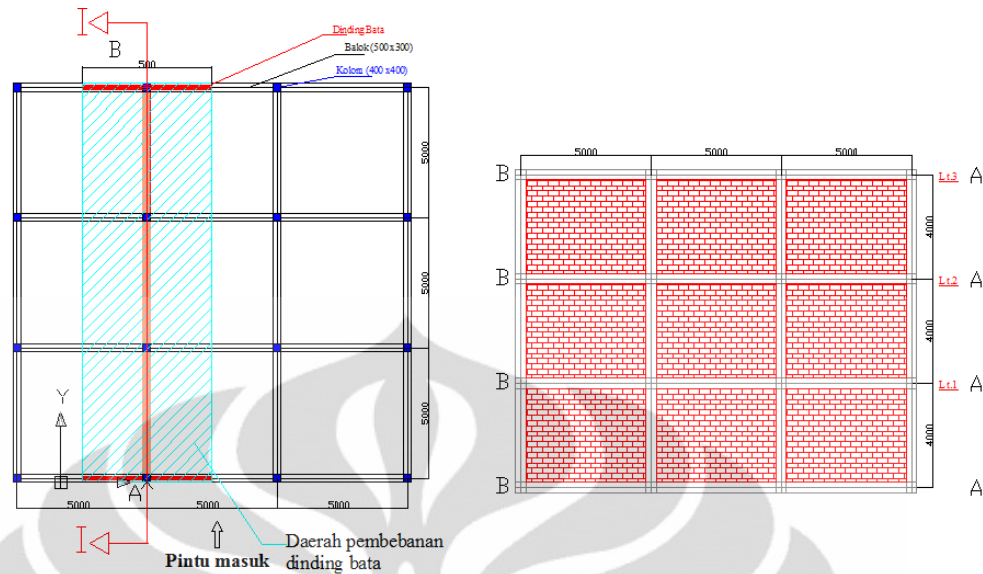
3.4.2 3 Bay-3 Story

3.4.2.1 Berat Sendiri Struktur

Pada pembebanan *3Bay-3 Story*, frame diberikan beban terpusat dan beban merata yang berasal dari berat balok, kolom, pelat yang berhubungan dengan frame yang ditinjau pada struktur ruko, sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Pembebanan Pada Frame Dinding Bata

Beban			
Frame dengan Bata			
Lt.1			
SDL	Balok	0	kN/m
	A	18	kN
	B	36,75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		0	kN/m
Lt.2			
SDL	Balok	20,65	kN/m
	A/B	55,5	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		12,5	kN/m
Lt.3			
SDL	Balok	22,65	kN/m
	A/B	36,75	kN
	Titik Dalam	18	kN
LL		5	kN/m



Gambar 3. 5 Frame Tinjauan Dan Area Pembebanan



Gambar 3. 6 Daerah Pembebanan Pada Frame Dinding Bata

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

Tabel 3. 3 Berat Bangunan Tiap Lantai

	Jenis Beban	Beban	Satuan
--	-------------	-------	--------

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

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

	Jenis Beban	Beban	Satuan
DL	Dinding Bata	8.925	Ton
	Balok	9	Ton
	Kolom	2.688	Ton

	Jenis Beban	Beban	Satuan
	Screed + Waterproofing	11.25	Ton
	Plafond + Electrical	1.125	Ton
	Beban Mati Lantai	11.25	Ton
	Jumlah DL	44.238	Ton
LL	Lantai	7.5	Ton
DL + αLL		46.488	Ton

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

3.4.2.2 Beban Gempa

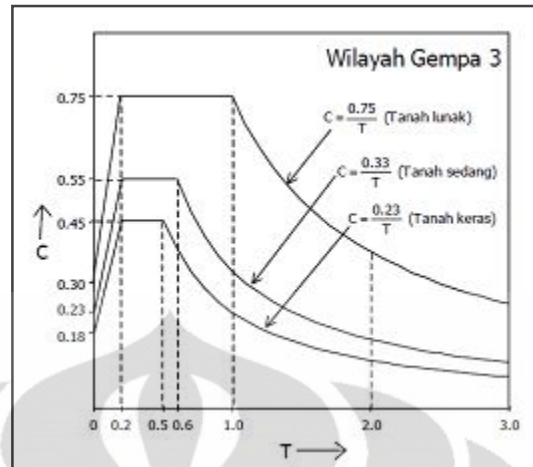
Beban gempa yang diberikan berupa gaya gempa yang dianalisis pada mode pertama sebagai statik ekuivalen. Dengan rumus:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \quad (3.4.2.2.1)$$

dimana

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.4.2.2.2)$$

Peruntukan bangunan ruko ini merupakan perniagaan sehingga nilai I adalah 1, untuk parameter daktilitas struktur ruko nilai R yang digunakan yaitu 5,5 kemudian untuk nilai C₁ adalah nilai yang didapat dari spektrum gempa wilayah tiga (percepatan tanah 0,15g), jenis tanah lunak dan periode natural ditentukan sebagai periode getaran bebas struktur.



Gambar 3. 7 Respon Spektrum Gempa Rencana

3.5 Simulasi Parameter

3.5.1 1 Bay-1 Story

Pemodelan 1B1S dilakukan untuk melihat pengaruh perbaikan dinding bata terhadap dinding bata, pada perbaikan dinding bata dinding bata dengan menggunakan kawat prategang dan paku, maka dilakukan variasi tegangan dan jumlah grid kawat yang dipakai.

Variasi tegangan yang dilakukan dibagi berdasarkan tegangan putus kawat, sebesar:

- Variasi 1 : $0,2 P_{\text{putus kawat}}$
- Variasi 2 : $0,4 P_{\text{putus kawat}}$
- Variasi 3 : $0,6 P_{\text{putus kawat}}$

Dikarenakan pada pemodelan, tegangan diberikan dalam bentuk strain, maka besar strain yang diberikan untuk tiap variasi tegangan adalah:

- Variasi 1 : $\varepsilon = \frac{0,2 \sigma_{\text{putuskawat}}}{E}$
- Variasi 2 : $\varepsilon = \frac{0,4 \sigma_{\text{putuskawat}}}{E}$
- Variasi 3 : $\varepsilon = \frac{0,6 \sigma_{\text{putuskawat}}}{E}$

dimana E : modulus elastisitas baja

Untuk melihat pengaruh perbaikan dinding bata secara keseluruhan akibat penambahan tegangan, maka dilakukan variasi grid kawat. Berikut adalah variasi yang dilakukan pada 1B1S:

Tabel 3. 4 Variasi 1 Bay-1Story

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5Grid Kawat
ε 0,2	√	√	√
ε 0,4	√	√	√
ε 0,6	√	√	√

3.5.2 3 Bay-3 Story

Untuk mengetahui pengaruh letak retak pada dinding bata, maka variasi letak retak dan variasi tegangan pada kawat.

Tabel 3. 5 Variasi 3 Bay-3 Story

Model	Letak Retak						Tegangan Kawat		
	Bay 1	Bay 2	Bay 3	Story 1	Story 2	Story 3	0,2 Strain	0,4 strain	0,6strain
1	√			√	√	√		√	
2		√		√	√	√		√	
3			√	√	√	√		√	
4	√	√		√	√	√		√	
5	√	√	√	√				√	
6	√	√	√		√			√	
7	√	√	√			√		√	
8	√	√	√	√	√			√	
9	√	√	√	√	√	√	√		
10	√	√	√	√	√	√		√	
11	√	√	√	√	√	√			√

Untuk mengetahui pengaruh letak retak, digunakan 4 grid kawat dengan tegangan sebesar $0,4 P_{\text{putus kawat}}$, sedangkan untuk mengetahui pengaruh penambahan tegangan pada kawat maka dilakukan variasi tungan kawat dengan menggunakan 4 grid kawat, dimana seluruh dinding bata dimodelkan retak.

3.6 Prosedur Analisa

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan bagaimana efek pemakaian kawat dan paku yang diberi tegangan terhadap kekuatan dan kekakuan dinding bata yang retak. Untuk mendapatkan perbedaan yang diinginkan maka dilakukan beberapa variasi model struktur. Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan pengujian material dan study literatur untuk mengetahui karakteristik material yang digunakan yang akan digunakan untuk menentukan Karakteristik material yang akan digunakan dalam pemodelan. Kemudian dilakukan penentuan gaya yang akan diberikan. Pada pemodelan 1Bay -1Story, dengan gaya yang diberikan adalah gaya inplane. Kemudian dari beban tersebut didapatkan tegangan tekan maupun tarik

dari dinding bata, plester, maupun tarik sehingga didapatkan gaya ultimate yang membuat dinding bata retak dengan menggunakan parameter tegangan tekan dan tarik izin material yang sedang ditinjau. Untuk study perilaku, maka dilakukan pelepasan link penghubung portal dengan dinding bata untuk mensimulasikan gap/separasi yang ada sebenarnya, dan untuk melihat perubahan tegangan yang terjadi dalam dinding bata. Kemudian dilakukan analisis *1Bay -1 Story*, jika perbaikan dinding bata kawat prategang terbukti dapat meningkatkan kekuatan portal dinding bata yang retak maka dilanjutkan ke pemodelan *3Bay -3 Story*.

Pada pemodelan *3Bay -3 Story*, gaya yang diberikan adalah gaya statik ekuivalen yang berasal dari gempa Jakarta. Kemudian dilakukan simulasi parameter dengan men-variasikan letak retak dan tegangan yang diberikan pada kawat, sehingga didapatkan pengaruh letak retak pada struktur akibat gempa, dan pengaruh penggunaan kawat anyam dan paku yang diberi tegangan pada dinding bata yang retak.

Dari hasil yang didapatkan dari simulasi parameter, maka dapat dibandingkan data yang didapatkan dengan data respon struktur pada kondisi dibawah ini:

Tabel 3. 6 Kondisi Sebagai Pembanding Dalam Analisa

Kekuatan	Kekakuan
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dinding bata yang tidak retak ▪ Retak pada dinding bata dengan perbaikan menggunakan plester 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dinding bata yang tidak retak ▪ Retak pada dinding bata dengan perbaikan menggunakan plester ▪ Bata sebagai komponen non-struktural (sebagai beban)

Analisis tersebut digunakan untuk melihat perubahan kekakuan antara Parameter yang menjadi perhatian di penelitian ini adalah periode struktur, gaya geser dasar, simpangan struktur dan gaya dalam frame yang diwakili oleh gaya geser kolom.

BAB 4

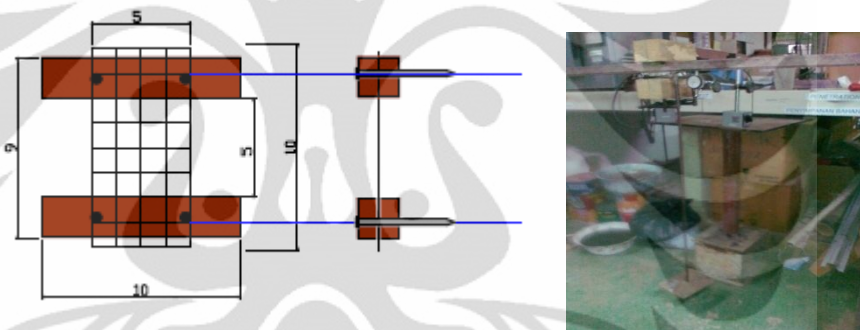
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Material

Berdasarkan pengujian kuat putus kawat maka didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data Tegangan Putus Kawat

Tegangan Putus				
Sampel	p	p/btg	luas kawat	teg putus
	kg	kg	mm ²	Mpa
1	90	18	0,5024	358,280
2	80	16	0,5024	318,471
3	100	20	0,5024	398,089
Avg				358,280



Gambar 4. 1 Pengujian Kuat Putus Kawat

4.2 Hasil Pemodelan

4.2.1 Pemodelan 1Bay-1Story

4.2.1.1 Gaya Dalam Elemen

Peninjauan gaya dalam elemen digunakan untuk mengetahui efek perbaikan dinding bata terhadap dinding bata dan plester. Pada dinding bata dan plester parameter keuntuhan yang digunakan adalah tegangan tekan dan tegangan tarik, sedangkan pada kawat digunakan P_{putus} kawat. Dengan pendekatan linier antara tegangan dan gaya inplane, maka didapatkan gaya maksimum yang dapat bekerja hingga material runtuh. berikut adalah persamaan yang digunakan:

$$P_{\text{fail}} = \frac{\sigma_{\text{batas}}}{\sigma_{\text{actual}}} P_{\text{actual}} \quad (4.2.1.1)$$

Berikut adalah nilai P_{fail} untuk masing-masing material :

a) Dinding bata

Tabel 4. 2 P_{fail} Dinding Bata

Kondisi	Keruntuhan Tarik			Keruntuhan Tekan		
	1 Grid	3 Grid	5 Grid	1 Grid	3 Grid	5 Grid
	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat
Var 1	88,64	88,84	88,88	4210,33	4234,11	4255,63
Var 2	88,63	88,78	88,77	4211,93	4239,40	4265,85
Var 3	88,61	88,72	88,66	4213,50	4244,71	4276,12

b) Plester

Tabel 4. 3 P_{fail} Plester

Kondisi	Keruntuhan Tarik			Keruntuhan Tekan		
	1 Grid	3 Grid	5 Grid	1 Grid	3 Grid	5 Grid
	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat	Kawat
Var 1	73,01	73,09	73,17	1341,19	1353,44	1359,72
Var 2	76,32	76,41	76,47	1338,59	1354,40	1363,94
Var 3	79,94	80,04	80,09	1336,00	1355,36	1368,19

c) Kawat

Tabel 4. 4 P_{fail} Kawat

Kondisi	Keruntuhan Tarik		
	1 grid kawat	3 grid kawat	5 grid kawat
Var 1	923,38	924,00	925,23
Var 2	610,84	611,11	611,65
Var 3	456,37	456,67	456,82

4.2.1.2 Distribusi Tegangan pada Sisi Panel

Untuk mengetahui perubahan distribusi tegangan pada panel maka dilakukan unlink atau pelepasan link penghubung antara dinding bata dan frame. Berikut adalah besar tegangan maksimum tiap pelepasan link.

a) Tegangan tarik

Tabel 4. 5 Tegangan Tarik Akibat Unlink

Unlink	Dinding Bata (KN/m ²)			Plester (KN/m ²)		
	Var 1	Var 2	Var 3	Var 1	Var 2	Var 3
0	1237,49	1237,73	1237,96	4081,37	4045,82	4010,31
1	1399,23	1399,62	1400,01	4142,85	4107,26	4071,7

Unlink	Dinding Bata (KN/m ²)			Plester (KN/m ²)		
	Var 1	Var 2	Var 3	Var 1	Var 2	Var 3
2	1403,86	1404,22	1404,58	4165,61	4130,01	4094,43
3	1724,83	1725,3	1725,76	4201,9	4166,28	4130,69
4	2010,12	2010,67	2011,22	4254,67	4219,02	4183,4
5	2261,66	2262,28	2262,9	4325,39	4289,71	4254,05

b) Tegangan tekan

Tabel 4. 6 Tegangan Tekan Akibat Unlink

Unlink	Dinding Bata (KN/m ²)			Plester (KN/m ²)		
	Var 1	Var 2	Var 3	Var 1	Var 2	Var 3
0	-1312,25	-1311,75	-1311,26	-6660,05	-6674,52	-6688,99
1	-1798,67	-1799,17	-1799,67	-6783,74	-6798,23	-6812,73
2	-1617,99	-1618,47	-1618,95	-6810,74	-6825,24	-6839,75
3	-1678,85	-1679,31	-1679,77	-6854,67	-6868,74	-6882,81
4	-1906,98	-1907,4	-1907,83	-6925,43	-6939,52	-6953,6
5	-2155,77	-2156,22	-2156,66	-7022,89	-7037	-7051,12

4.2.2 Pemodelan 3B3S

4.2.2.1 Periode Alami

Periode alami didapatkan dari *Modal Analysis* SAP2000-V14

Tabel 4. 7 Periode Alami Pada Tiap Variasi Retak

Kondisi	Periode (s)
1	0,120758
2	0,120715
3	0,120741
4	0,1206
5	0,120661
6	0,120732
7	0,120822
8	0,12052
9	0,120468

4.2.2.2 Gaya dalam Frame

Untuk merepresentasikan besar gaya yang ditanggung oleh frame, maka digunakan nilai gaya geser tiap kolom pada lantai dasar. Peninjauan gaya dalam frame ini digunakan untuk melihat perubahan gaya dalam yang terjadi akibat pemodelan dinding bata sebagai elemen struktural dan pengaruh pemberian perbaikan dinding bata pada frame. Berikut adalah besar gaya geser yang terjadi pada tiap kolom dan persentase gaya yang ditanggung terhadap gaya geser yang terjadi:

Tabel 4. 8 Perbandingan Gaya Geser Kolom Terhadap Gaya Geser Dasar Frame

Kondisi	V _{Base}	V _{Portal}				ΣV _{Kolom}	% V _{Frame}	% V _{Bata}
		K ₁ (KN)	K ₂ (KN)	K ₃ (KN)	K ₄ (KN)			
1	185,86	-9,33	7,69	10,92	7,96	17,25	9,28%	90,72%
2	185,83	-7,35	12,80	6,84	7,92	20,21	10,88%	89,12%
3	185,85	-8,01	11,86	11,89	3,66	19,40	10,44%	89,56%
4	185,74	-9,25	8,42	6,40	7,58	13,15	7,08%	92,92%
5	185,79	-8,86	8,11	7,04	3,09	9,37	5,05%	94,95%
6	185,84	-8,38	12,17	11,25	8,17	23,20	12,48%	87,52%
7	185,91	-8,27	12,06	11,36	8,28	23,44	12,61%	87,39%
8	185,68	-8,99	8,21	6,93	2,95	9,09	4,90%	95,10%
9	185,65	-8,61	10,15	9,17	5,67	16,39	8,83%	91,17%
10	185,65	-9,00	8,20	6,93	2,93	9,06	4,88%	95,12%
11	185,65	-9,39	6,25	4,70	2,83	4,38	2,36%	97,64%

dimana k = kolom

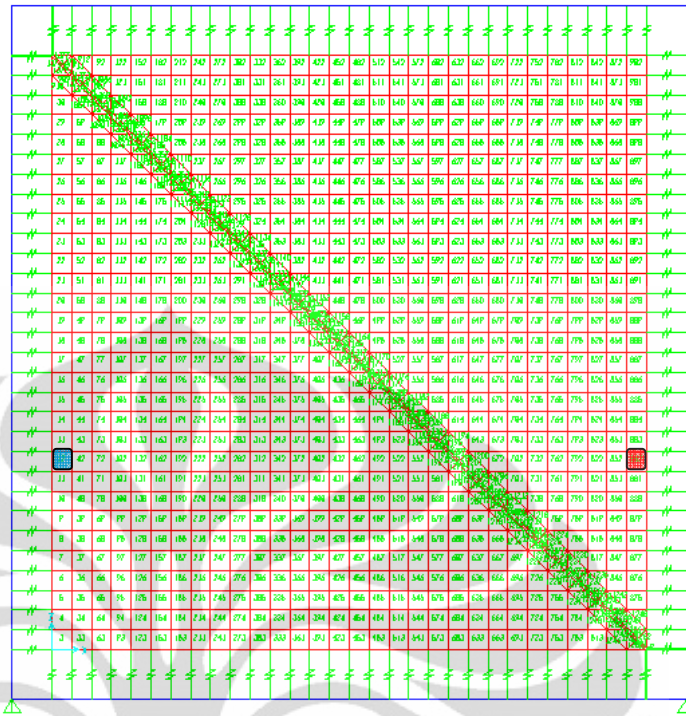
4.3 Analisis Hasil

4.3.1 Pemodelan *1Bay-1Story*

4.3.1.1 Analisis Gaya Dalam Elemen

a. Dinding bata

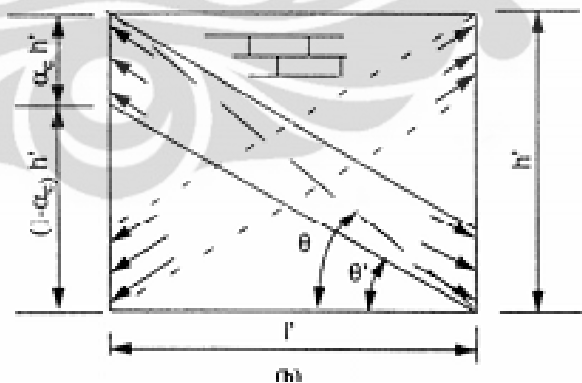
Berikut adalah gambar daerah tinjauan:



■ → Daerah Tinjauan Tekan (elemen 13)
■ → Daerah Tinjauan Tarik (elemen 883)
 Gambar 4. 2 Daerah Tinjauan Tegangan Tarik Dan Tekan Dinding Bata

➤ Keruntuhan Tarik Dinding Bata

Pada dasarnya, jika dinding bata dikenai beban inplane maka dinding bata akan berfungsi sebagai strut dan ties diagonal.

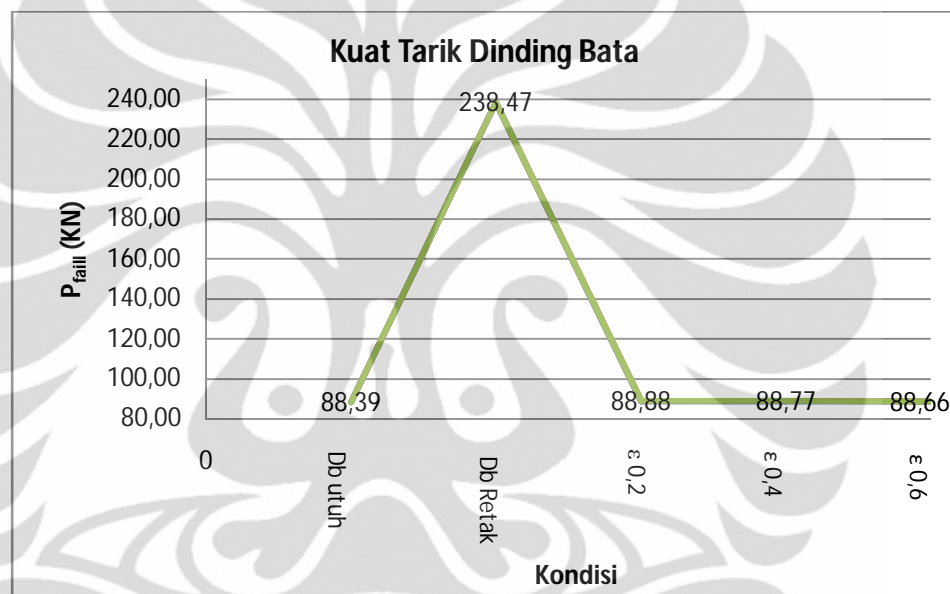


Gambar 4. 3 Strut Dan Ties Diagonal Pada Dinding Bata
 Sumber: Jurnal Teknik Sipil ITB, Edisi Vol. 12 / 4, Oktober 2005

Pada saat terjadi retak diagonal pada dinding bata akibat gaya inplane, maka gaya tarik pada ties akan berkurang akibat tidak ada dinding bata yang menahan tarik yang terjadi pada daerah retak, hal ini

menyebabkan peningkatan kapasitas tarik pada dinding bata (kekakuan tarik bertambah), dikarenakan kapasitas tarik yang bertambah maka gaya yang dapat ditanggung oleh dinding bata untuk mencapai keruntuhan tarik semakin besar.

Pada saat dinding bata diberi kawat prategang, terjadi kenaikan gaya yang dapat diterima dibandingkan dinding bata utuh sebesar 0,29% (pada penambahan tegangan sebesar 0,2 P_{putus} dengan 2 grid kawat). Berikut adalah grafik perubahan gaya pada tiap kondisi dinding bata



Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Gaya Tarik Dan Kondisi Pada Dinding Bata

Jika dibandingkan gaya yang menyebabkan keruntuhan tarik akibat perbaikan dinding bata pada daerah tinjauan tarik maka didapatkan urutan sebagai berikut:

$$dB_{retak} > dB_{k+paku} > dB_{strain} > dB_{kawat} > dB_{plester} = dB_{utuh}$$

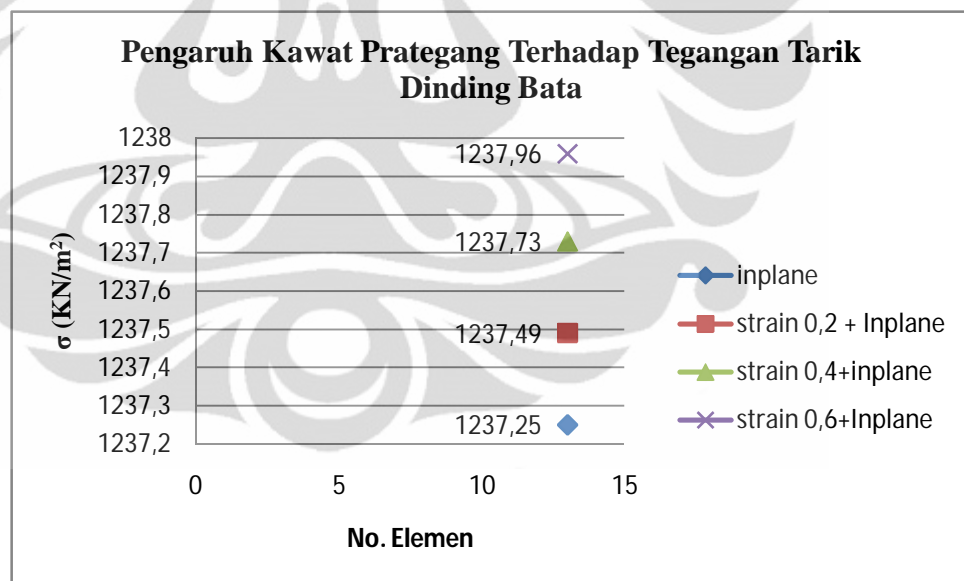
Berikut adalah persentase kenaikan kekuatan tarik dinding bata terhadap dinding bata utuh:

Tabel 4. 9 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tarik Tiap Kondisi Terhadap Dinding Bata Utuh

Kondisi	1 grid	3 grid	5 grid
Retrofit plester	0,00%	-0,08%	-0,08%
Retrofit kawat	0,09%	0,17%	0,33%

Kondisi	1 grid	3 grid	5 grid
Retrofit kawat dan paku	0,31%	0,57%	0,68%
Retrofit Var 1	0,29%	0,51%	0,56%
Retrofit Var 2	0,27%	0,44%	0,43%
Retrofit Var 3	0,25%	0,37%	0,31%

Dari data tabel 4.09, terlihat bahwa akibat penambahan tegangan pada kawat, maka kekuatan tarik berkurang. Penurunan kekuatan tarik tersebut pun terjadi pada tiap variasi tegangan yang diberikan pada kawat. Pada pemakaian 1 grid kawat, terjadi penurunan besar kekuatan dinding bata terhadap kuat tarik akibat penambahan tegangan $0,2 P_{\text{putus}}$ pada kawat dari 0,31% menjadi 0,29%. Hal ini terjadi karena tegangan tarik pada dinding bata akibat tegangan kawat bertambah besar yang menyebabkan dinding bata lebih mudah runtuh akibat tarik dibandingkan jika kawat tidak diberikan tegangan. Berikut adalah grafik yang menunjukkan kenaikan tegangan tarik pada dinding bata akibat kawat prategang:



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Kawat Prategang Terhadap Tegangan Tarik Dinding Bata

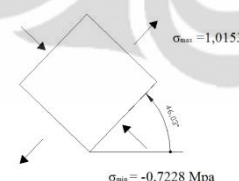
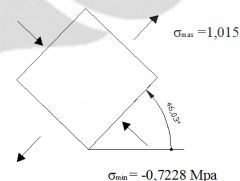
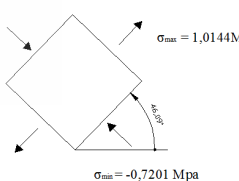
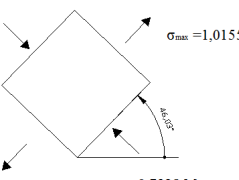
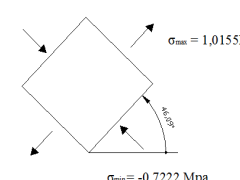
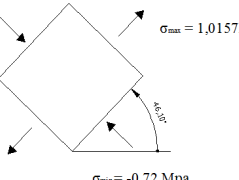
Jika dilihat dari segi penambahan grid, terlihat bahwa terjadi pengurangan kekuatan tarik dinding bata tiap penambahan tegangan pada kawat, akan tetapi penurunan ini semakin besar tiap penambahan grid kawat. Pada pemakaian 1 grid dengan penambahan strain $0,2 P_{\text{putus}}$, terjadi penurunan kekuatan tarik yang lebih kecil dibandingkan penurunan

kekuatan tarik diakibatkan pemakaian 3 dan 5 grid jika dibandingkan dengan kekuatan tarik dinding bata akibat kawat dan paku pada grid yang sama. Penurunan kekuatan tarik ini terjadi akibat penambahan tegangan tarik akibat penambahan tegangan kawat yang dan jumlah grid kawat yang digunakan.

Hal ini menandakan bahwa terjadi penambahan kekuatan tarik dinding bata akibat penambahan tegangan jika dibandingkan dengan kekuatan tarik dinding bata utuh dan Retrofit lainnya, tetapi tidak melebihi kekuatan tarik akibat penambahan kawat dan paku. Peningkatan kekuatan tarik tersebut diiringi dengan meningkatnya kekakuan pada dinding bata. Hal ini sesuai dengan persamaan kekakuan sekan dari portal isi pada saat beban puncak, yakni:

$$K = \frac{P}{\Delta_h} \quad (4.3.3.1)$$

dimana kekakuan berbanding lurus dengan gaya, yang berarti semakin besar kekakuan maka semakin besar gaya yang dapat diterima. Dikarenakan terjadi kenaikan kekuatan serta kekakuan pada dinding bata maka perbaikan dinding bata yang ditinjau dianggap bekerja.

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 1			
Var 2			

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 3			

Gambar 4. 6 Vektor Tegangan Pada Elemen Tarik Dinding Bata

➤ Keruntuhan Tekan Dinding Bata

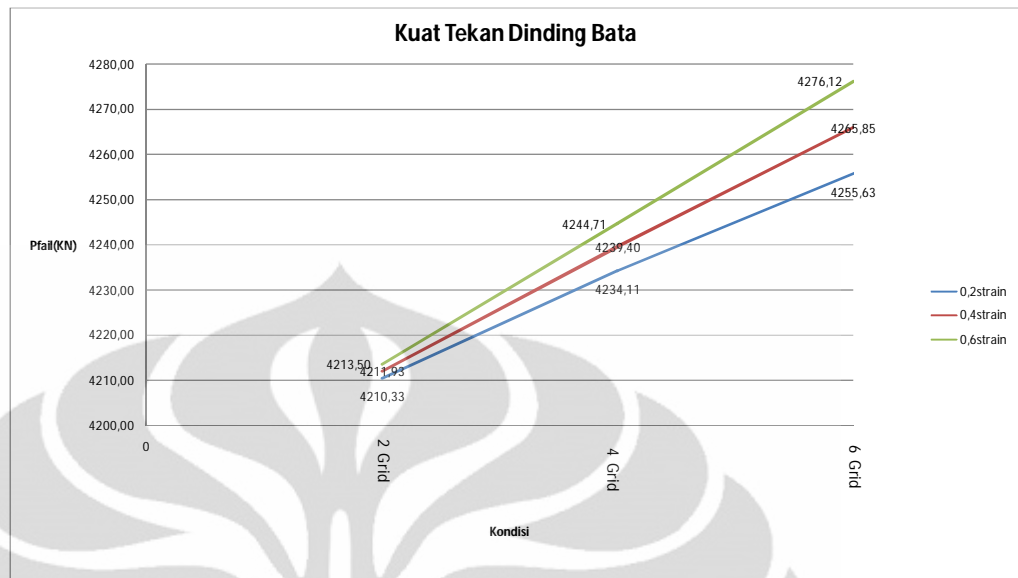
Berdasarkan perbandingan tiap perbaikan dinding bata pada dinding bata, gaya yang menyebabkan keruntuhan tekan pada daerah tinjauan tekan jika diurutkan didapatkan hasil sebagai berikut:

$$dB_{\varepsilon 0,6} > dB_{\varepsilon 0,4} > dB_{\varepsilon 0,2}$$

Pada saat dinding bata diberi kawat prategang, terjadi kenaikan gaya yang dapat diterima dibandingkan dinding bata utuh sebesar $\pm 0,67\%$ (pada penambahan tegangan kawat sebesar 0,2 dari tegangan putus kawat pada 1 grid kawat). Peningkatan gaya tersebut terjadi diakibatkan pengurangan tekanan pada bagian tinjauan akibat adanya material kawat yang menahan tarik sepanjang daerah diagonal strut. Berikut adalah peningkatan gaya akibat strain pada kawat pada tiap penambahan strain dan grid kawat:

Tabel 4. 10 Tabel Peningkatan Gaya Penyebab Keruntuhan Tekan Akibat Penambahan Strain Pada Kawat Terhadap Dinding Bata Utuh

Kondisi	1grid	3grid	5grid
Var 1	0,67%	1,24%	1,75%
Var 2	0,71%	1,36%	1,99%
Var 3	0,74%	1,49%	2,24%



Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Kuat tekan Dinding Bata Terhadap Strain Pada Kawat

Jika dibandingkan dengan perbaikan dinding bata lainnya, gaya yang menyebabkan keruntuhan tekan pada daerah tinjauan tekan jika diurutkan didapatkan hasil sebagai berikut:

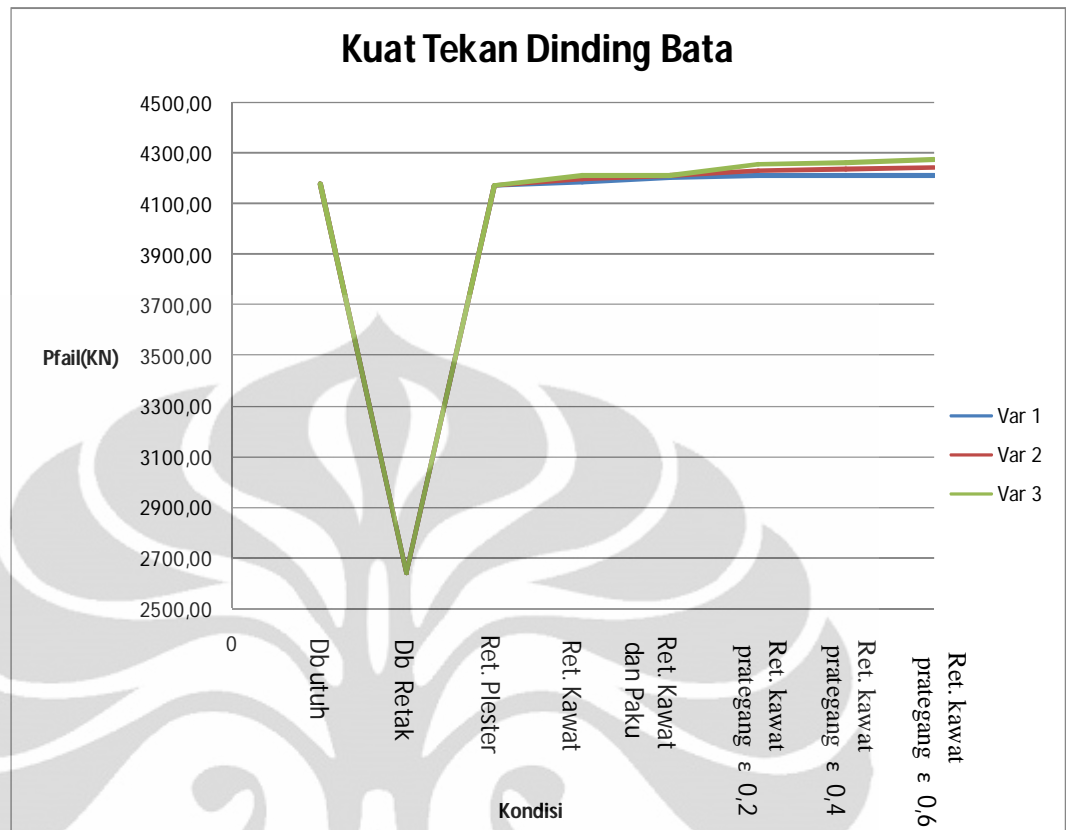
$$dB_{\text{strain}} > dB_{\text{k+paku}} > dB_{\text{kawat}} > dB_{\text{plester}} = dB_{\text{utuh}} > dB_{\text{retak}}$$

Berikut adalah persentase kenaikan kekuatan tekan dinding bata terhadap dinding bata utuh:

Tabel 4. 11 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tekan Tiap Kondisi Dinding Bata

Kondisi	1 Grid	3 Grid	5 Grid
Bata retak	-36,88%	-36,88%	-36,88%
Retrofit plester	-0,30%	-0,23%	-0,15%
Retrofit kawat	0,08%	0,38%	0,76%
Retrofit kawat+paku	0,61%	0,69%	0,76%
Retrofit Var 1	0,67%	1,24%	1,75%
Retrofit Var 2	0,71%	1,36%	1,99%
Retrofit Var 3	0,74%	1,49%	2,24%

Dari tabel 4.11, terlihat bahwa semakin besar strain yang diberikan pada kawat dan semakin banyak grid yang digunakan, maka semakin besar gaya yang dapat diterima untuk mencapai keruntuhan tekan. Berikut adalah grafik perbandingan kekuatan tekan pada dinding bata pada tiap kondisinya,

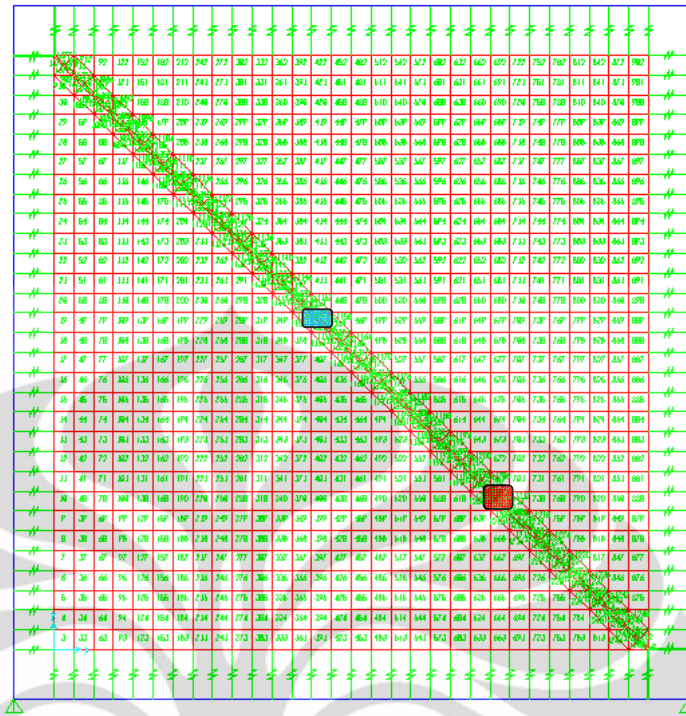


Gambar 4. 8 Grafik Perbedaan Kuat Tekan Dinding Bata Tiap Perbaikan Dinding Bata

Peningkatan kekuatan tekan yang terjadi menandakan bahwa kekakuan dinding bata bertambah, seperti yang telah dijelaskan pada analisa keruntuhan tarik dinding bata. Dikarenakan terjadi kenaikan kekuatan serta kekakuan pada dinding bata maka perbaikan dinding bata yang ditinjau dianggap bekerja.

b. Plester

Berikut adalah gambar letak elemen yang ditinjau:

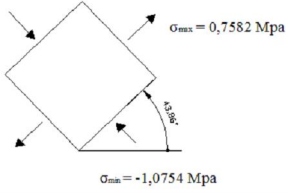
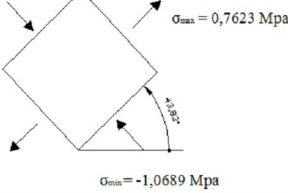
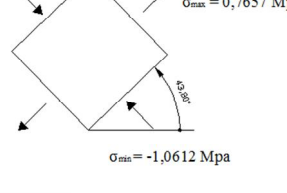


- → Daerah Tinjauan Tekan (elemen 379)
- → Daerah Tinjauan Tarik (elemen 671)

Gambar 4. 9 Daerah Tinjauan Tegangan Tarik Dan Tekan Plester

Bagian plester yang ditinjau adalah bagian plester yang berada pada wilayah retak. analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbaikan dinding bata terhadap plester.

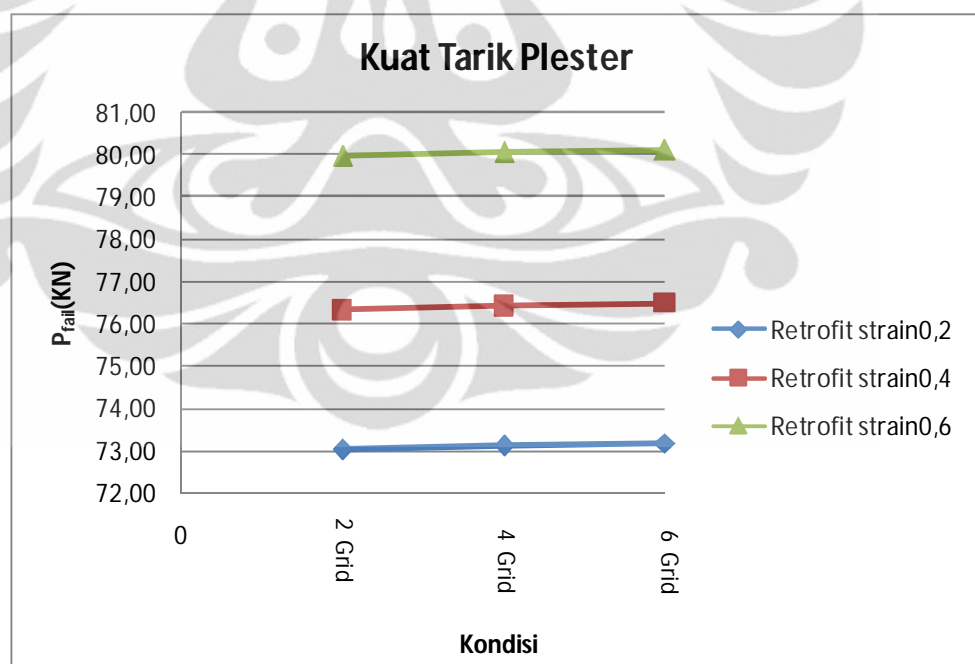
Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 1			
Var 2			

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 3			

Gambar 4. 10 Vektor Tegangan Pada Elemen Tekan Dinding Bata

➤ Keruntuhan Tarik Pada Plester

Dikarenakan plester tinjauan berada pada daerah retak dan pemasangan perbaikan dinding bata tersebut menambah kekakuan tarik pada daerah retak, maka terjadi peningkatan kekuatan tarik plester untuk menahan gaya tarik pada ties. Hal ini dikarenakan gaya selalu tersalurkan ke tempat/bagian struktur dengan kekakuan yang lebih tinggi, sehingga gaya tarik yang terjadi pada daerah retak ditahan oleh kawat prategang. Hal tersebut menyebabkan gaya tarik yang harus ditahan oleh plester bertambah kecil. Peningkatan tersebut diperlihatkan oleh grafik berikut ini:



Gambar 4. 11 Grafik Hubungan Kuat Tarik Plester Terhadap Tegangan Pada Kawat

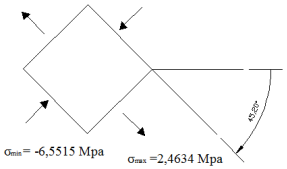
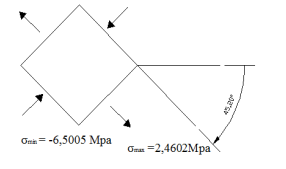
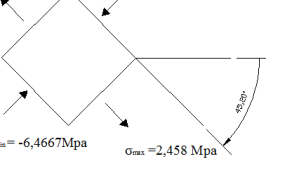
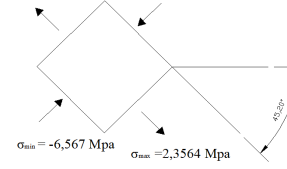
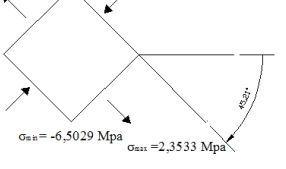
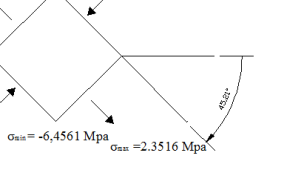
Dari grafik 4.11, terlihat bahwa semakin besar tegangan yang diberikan pada kawat maka semakin besar gaya yang dapat ditahan oleh

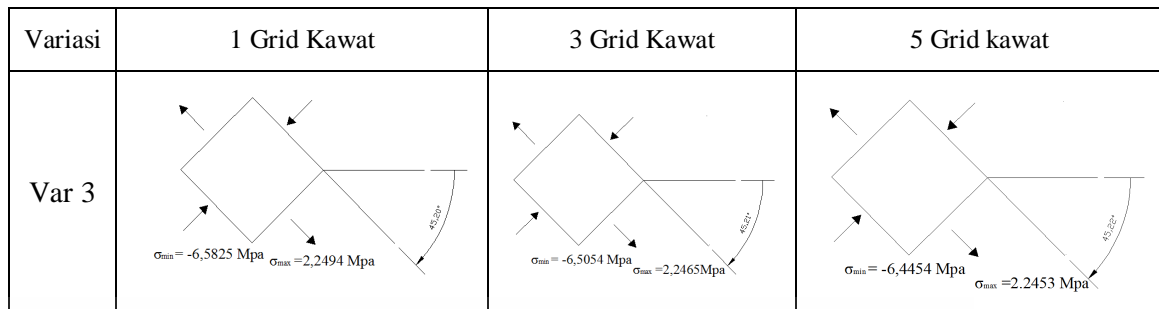
plester hingga mencapai keruntuhan tarik. Akan tetapi, jika kita membandingkan efek pemakaian kawat prategang dengan kondisi bata utuh dan perbaikan dinding bata lainnya, gaya yang dapat diterima untuk mencapai keruntuhan tarik pada plester akibat pemberian kawat prategang tidak sebesar gaya yang dapat ditanggung oleh dinding bata utuh. Berikut adalah persentase kenaikan kekuatan tarik plester akibat perbaikan dinding bata terhadap kekuatan tarik plester pada dinding bata utuh:

Tabel 4. 12. Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tarik Tiap Kondisi Plester

Arti Kondisi	1 Grid	3 Grid	5 Grid
Retrofit plester	54,67%	54,67%	54,67%
Retrofit kawat	56,50%	56,58%	56,65%
Retrofit kawat+paku	57,98%	58,05%	58,12%
Retrofit Var 1	60,49%	60,57%	60,63%
Retrofit Var 2	63,24%	63,32%	63,37%
Retrofit Var 3	66,24%	66,33%	66,36%

Meskipun gaya yang dapat ditahan tidak sebesar pada dinding bata utuh, tetapi penambahan tegangan pada kawat sebesar $0,6 P_{putus}$, dengan menggunakan 5 grid kawat memberikan kontribusi peningkatan kekuatan tarik terbesar dibandingkan perbaikan dinding bata lainnya, yakni sebesar 66,36% dari kekuatan tarik plester pada dinding bata utuh. Dikarenakan terjadi kenaikan kekuatan serta kekakuan tarik pada plester maka perbaikan dinding bata yang ditinjau dianggap bekerja.

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 1	 <p>$\sigma_{min} = -6,5515 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,4634 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,5005 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,4602 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4667 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,458 \text{ Mpa}$</p>
Var 2	 <p>$\sigma_{min} = -6,567 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,3564 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,5029 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,3533 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4561 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,3516 \text{ Mpa}$</p>



Gambar 4. 12 Vektor Tegangan Pada Elemen Tarik Plester

➤ Keruntuhan Tekan Pada Plester

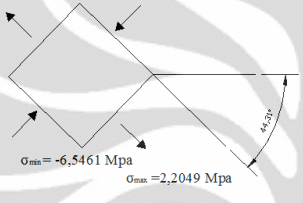
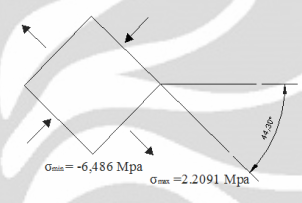
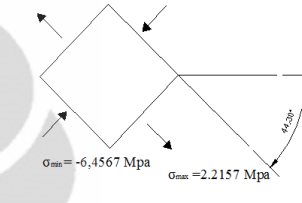
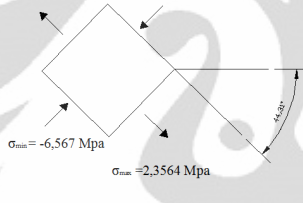
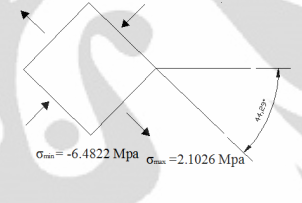
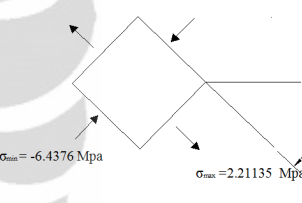
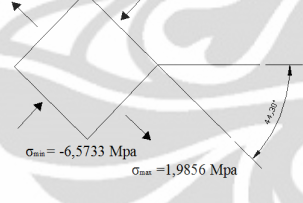
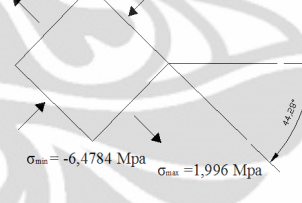
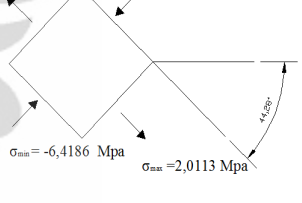
Pada peninjauan kekuatan tekan pada plester, terjadi pengurangan kekuatan tekan plester akibat penambahan kawat prategang, khususnya pada pemakaian 1 grid kawat. Berikut adalah persentase penambahan maupun pengurangan kekuatan tekan plester:

Tabel 4. 13 Perbandingan Peningkatan Kekuatan Tekan Tiap Retrofit Terhadap Dinding Bata Utuh

Kondisi	1 Grid	3 Grid	5 Grid
Retrofit plester	115,63%	115,63%	115,63%
Retrofit kawat	113,33%	113,98%	114,63%
Retrofit kawat+paku	24,35%	24,50%	24,56%
Retrofit Var 1	24,30%	24,52%	24,63%
Retrofit Var 2	24,25%	24,54%	24,71%
Retrofit Var 3	24,21%	24,56%	24,79%

Dari data tabel 4.13, terlihat bahwa terjadi penurunan tiap penambahan tegangan pada kawat dengan pemakaian 1 grid, sedangkan pada pemakaian 3 dan 5 grid, terjadi peningkatan kekuatan tekan pada plester jika disertai peningkatan tegangan pada kawat. Hal tersebut dikarenakan pada pemakaian 1 grid kawat, area pemasangan kawat dominan berada pada daerah plester yang terdapat di daerah retak, sehingga tegangan yang diberikan pada kawat terdistribusi lebih banyak pada daerah plester. Dominasi tekanan akibat tegangan pada kawat tersebut menyebabkan kekuatan tekan plester semakin mengecil sebelum beban inplane bekerja. Sedangkan pada pemakaian 3 dan 5 grid, area pemasangan kawat berada sebagian besar pada dinding bata, sehingga tegangan yang diberikan pada kawat tidak sepenuhnya disalurkan kepada plester, hal ini menyebabkan kekuatan tekan plester tidak terlalu berkurang. Selain dikarenakan

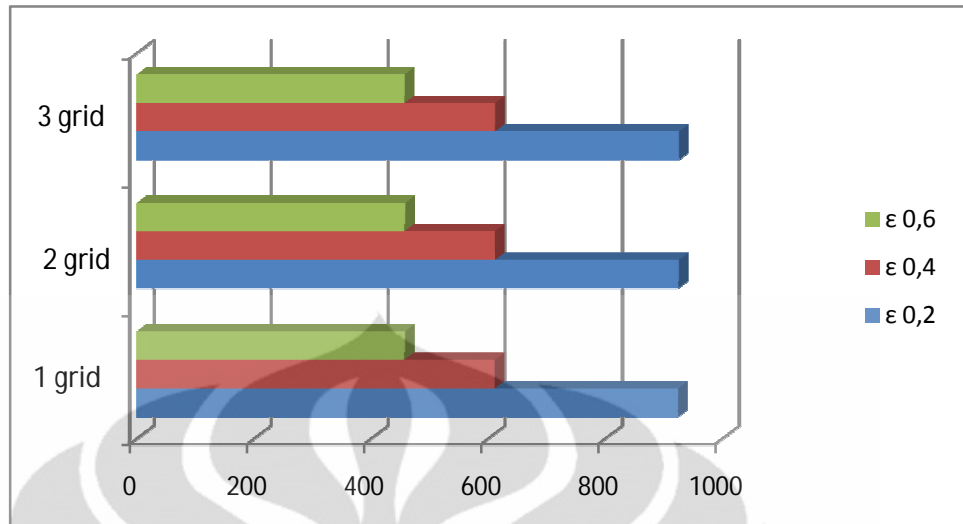
penambahan grid, besar tegangan yang diberikan pada kawat memperbesar kekuatan tekan plester. Hal tersebut terjadi karena adanya peningkatan kekakuan tarik pada daerah retak yang menahan terjadinya regangan pada plester yang pada akhirnya akan meningkatkan kekuatan tekan pada plester akibat gaya tekan sesuai dengan prinsip tegangan utama. Dikarenakan terjadi perubahan kekuatan tekan perbaikan dinding bata yang ditinjau dianggap bekerja.

Variasi	1 Grid Kawat	3 Grid Kawat	5 Grid kawat
Var 1	 <p>$\sigma_{min} = -6,5461 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,2049 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,486 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,2091 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4567 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,2157 \text{ Mpa}$</p>
Var 2	 <p>$\sigma_{min} = -6,567 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,3564 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4822 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,1026 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4376 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,21135 \text{ Mpa}$</p>
Var 3	 <p>$\sigma_{min} = -6,5733 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 1,9856 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4784 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 1,996 \text{ Mpa}$</p>	 <p>$\sigma_{min} = -6,4186 \text{ Mpa}$ $\sigma_{max} = 2,0113 \text{ Mpa}$</p>

Gambar 4. 13 Vektor Tegangan Pada Elemen Tekan Plester

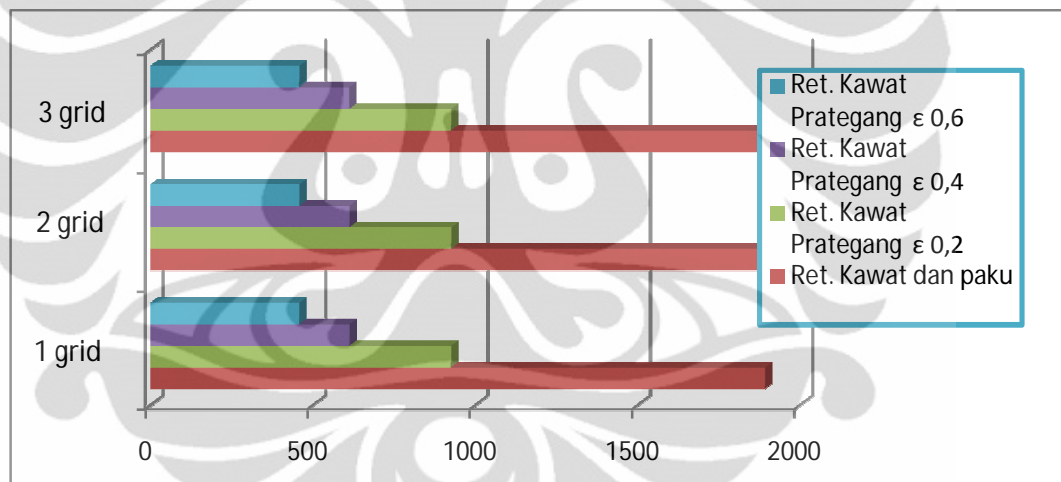
c. Kawat Anyam

Pada kawat anyam, akibat penambahan tegangan maka terjadi penurunan kekuatan tarik pada kawat. Hal ini terjadi dikarenakan kawat mengalami tegangan tarik sebelum diberikan gaya inplane, sehingga menyebabkan kawat lebih mudah putus dibandingkan dengan kawat anyam yang tidak diberi tegangan. Berikut adalah grafik perbandingan kekuatan tarik kawat pada tiap penambahan tegangan :



Gambar 4. 14 Grafik Perubahan Kuat Tarik Kawat Anyam Akibat Penambahan Tegangan

Penurunan tersebut pun terlihat jelas jika dibandingkan dengan perbaikan dinding bata yang menggunakan kawat anyam dan paku.



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Kuat Tarik Kawat Anyam Pada Perbaikan Dinding Bata Yang Menggunakan Kawat Dan Paku Dengan Perbaikan Dinding Bata Menggunakan Kawat Prategang

Penurunan kekuatan tarik pada kawat anyam menandakan bahwa perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat prategang bekerja, ditandai dengan berkurangnya kekuatan tarik.

4.3.1.2 Analisis Distribusi Tegangan pada Sisi Panel

Dalam analisa Distribusi Tegangan pada Sisi Panel akan dibahas pengaruh pelepasan link penghubung antara dinding bata dan portal terhadap

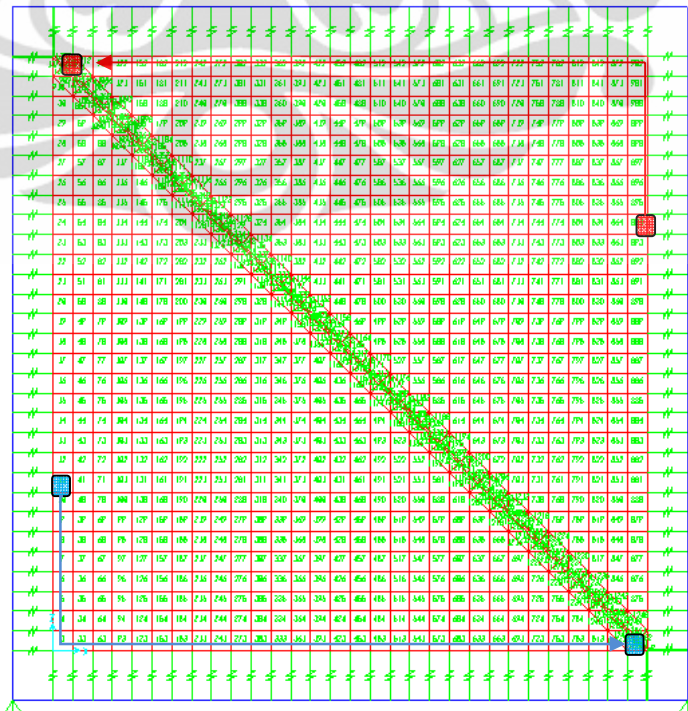
tegangan pada dinding bata Pelepasan link ini dilakukan untuk mensimulasikan separasi yang ada antara dinding bata dan portal pada bagian tarik dinding bata.

Untuk melihat pengaruh pelepasan link pada daerah tarik, maka dilakukan peninjauan tegangan pada panel dinding bata pada pemakaian 1 grid kawat dengan penambahan strain sebesar $0,2 P_{\text{putus}}$. Hal ini dikarenakan nomor elemen yang mengalami tegangan maksimum baik tarik maupun tekan relatif sama pada tiap tegangan kawat, seperti yang ditunjukkan tabel 4.14

Tabel 4. 14 Nomor Elemen Dinding Bata Yang Mengalami Tegangan Maksimum

Unlink	Tegangan Tarik			Tegangan Tekan		
	Var 1	Var 2	Var 3	Var 1	Var 2	Var 3
0	13	13	13	883	883	883
1	3	3	3	902	902	902
2	63	63	64	901	901	902
3	93	93	93	900	900	900
4	123	123	123	7	7	7
5	153	153	153	8	8	8

Pada pemodelan ini, pada tiap pelepasan link terjadi perubahan lokasi tegangan maksimum baik tegangan tarik maupun tekan dengan alur sebagai berikut:

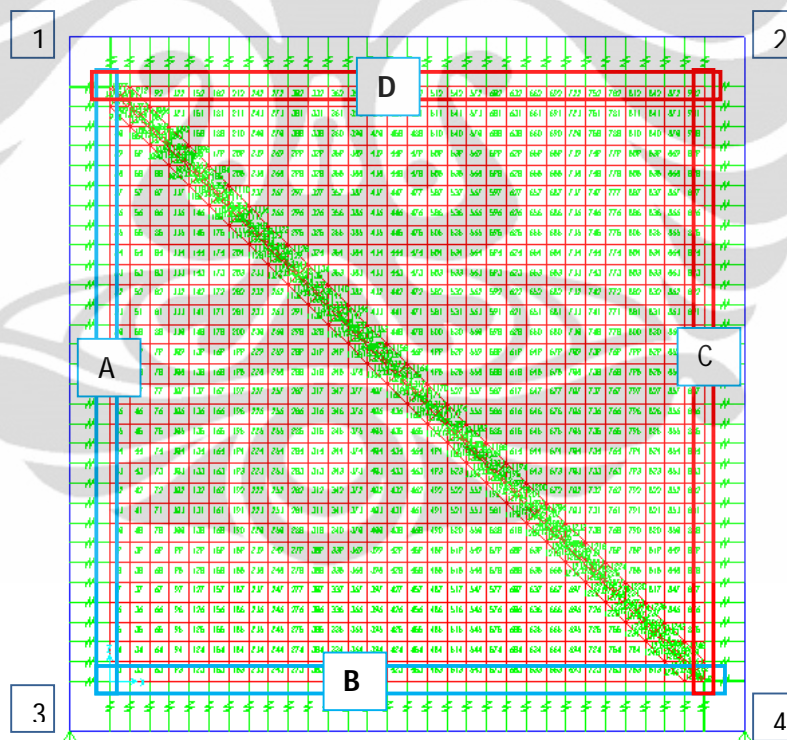


- → Daerah Tinjauan Tekan
- → Daerah Tinjauan Tarik

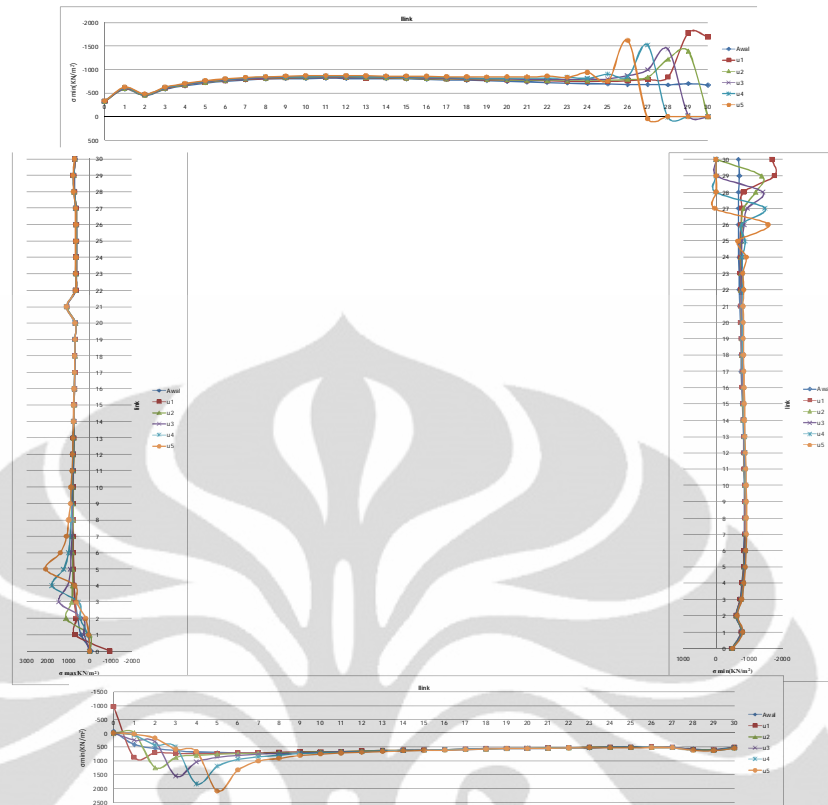
Gambar 4. 16 Alur Perubahan Letak Tegangan Tarik Dan Tekan Maksimum Dinding Bata

Jika dilihat dari alur perpindahan elemen dinding bata yang mengalami tegangan tekan maupun tarik maksimum, perpindahan mengarah ke daerah diagonal strut dinding bata.

Selain mendapatkan perubahan letak tegangan maksimum, dari pelepasan unlinik ini pun bisa didapatkan perilaku dinding bata dengan parameter tegangan. Berikut adalah grafik perubahan tegangan dimana dinding dinding bata yang ditinjau adalah tegangan pada joint penghubung link dengan dinding bata, dengan pembagian tinjauan daerah A dan B sebagai daerah tinjauan tegangan tarik dan daerah C dan D, sebagai daerah tinjauan tegangan tekan:



Gambar 4. 17 Pembagian Wilayah Tinjauan Tegangan



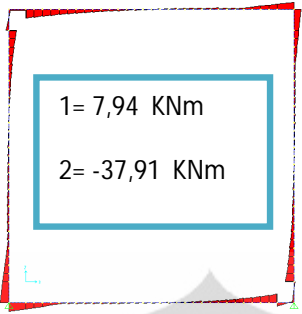
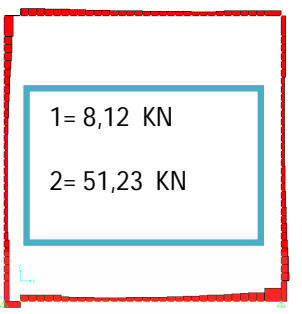
Gambar 4. 18 Perubahan Tegangan Dinding Bata Tiap Unlink

Jika dilihat dari besar tegangan yang terjadi akibat pelepasan link, tegangan tekan maupun tarik semakin meningkat tiap pelepasan unlink, dengan nilai tegangan maksimum terjadi pelepasan 5 link (pelepasan link yang terbanyak yang dilakukan), Kenaikan tegangan ini terjadi akibat semakin kecilnya luasan elemen yang menerima gaya tarik yang memperbesar tegangan yang terjadi, hal ini sesuai dengan rumus tegangan yang berbanding terbalik dengan luasan. Selain terjadi peningkatan tegangan maksimum, terjadi pula pergeseran elemen yang mengalami tegangan maksimum, dimana pergeseran tegangan maksimum searah pemutusan unlink yang terjadi. Pergeseran ini terjadi karena pemutusan unlink membuat pergeseran area yang dikenai gaya tarik yang cenderung mengarah ke elemen yang memiliki kekakuan tarik lebih besar, yakni daerah yang dihubungkan dengan link.

Tabel 4. 15 Perubahan Momen Dan Gaya Geser Pada Frame Akibat Pelepasan Link (Unlink)

Kondisi	Momen	Gaya Geser
---------	-------	------------

Kondisi	Momen	Gaya Geser
Awal	<p>1= 7,94 KNm 2= 0 KNm</p>	<p>1= 8,12 KN 2= 0 KN</p>
Unlink 1	<p>1= 7,94 KNm 2= -25,26 KNm</p>	<p>1= 8,12 KN 2= 30,82 KN</p>
Unlink 2	<p>1= 7,94 KNm 2= -29,18 KNm</p>	<p>1= 8,12 KN 2= 39,88 KN</p>
Unlink 3	<p>1= 7,94 KNm 2= -32,43 KNm</p>	<p>1= 8,12 KN 2= 45,38 KN</p>
Unlink 4	<p>1= 7,94 KNm 2= -35,32 KNm</p>	<p>1= 8,12 KN 2= 48,96 KN</p>

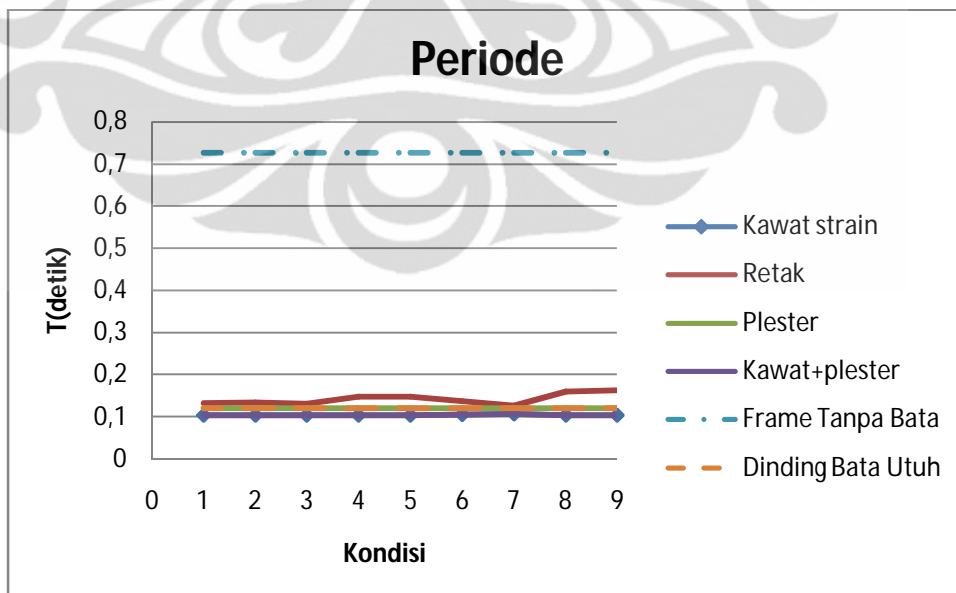
Kondisi	Momen	Gaya Geser
Unlink 5	 <p>1= 7,94 KNm 2= -37,91 KNm</p>	 <p>1= 8,12 KN 2= 51,23 KN</p>

Jika ditinjau dari gaya dalam frame, terlihat terjadi peningkatan momen pada bagian frame yang di unlink (pojok kanan atas dan kiri bawah) tiap pelepasan link. Dari Perubahan ini, terlihat bahwa perlu diperhatikan hubungan antara dinding bata dan frame untuk mengurangi momen yang terjadi pada frame.

4.3.2 Pemodelan 3 Bay-3 Story

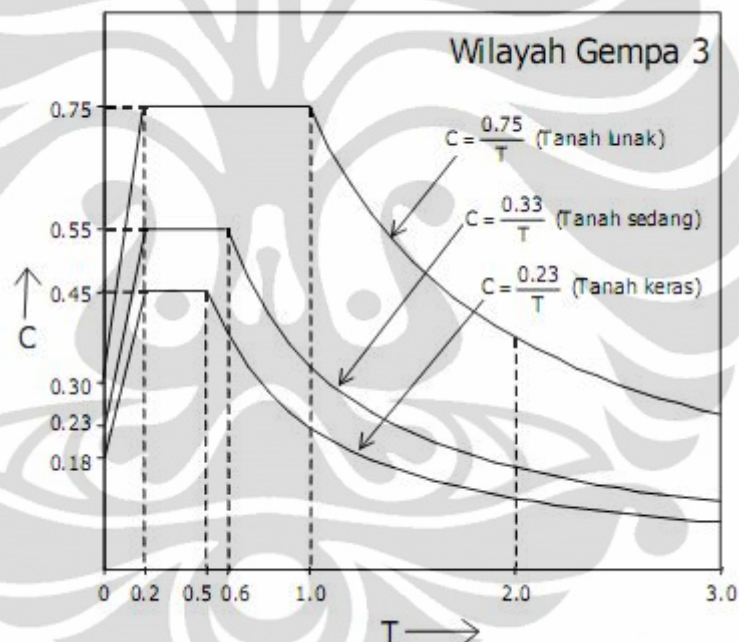
4.3.2.1 Periode

Dalam pembahasan ini, akan dikemukakan bagaimana pengaruh dinding bata, letak retak, dan variasi perbaikan dinding bata terhadap periode alami struktur. Nilai periode alami didapatkan melalui *Modal Analysis* dengan menggunakan bantuan software SAP2000 v.14.



Gambar 4. 19 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Pada Tiap Kondisi Tinjauan

Dari grafik diatas terlihat bahwa dinding bata selain memberikan beban tambahan kepada struktur, dinding bata pun memiliki peranan untuk memperkecil periode alami struktur, yakni dari 0,73 detik menjadi 0,12 detik. Jika periode tersebut diplot pada grafik Respon Spectrum Gempa Rencana (SNI 1726-2002) pada wilayah gempa 3 (tanah lunak), maka penurunan periode tersebut menyebabkan penurunan besar gempa yang akan mengenai struktur tersebut, yang pada akhirnya dapat mengurangi kemungkinan keruntuhan struktur akibat gempa. Akan tetapi jika terjadi retak pada dinding bata, maka terjadi peningkatan periode alami struktur sehingga perlu ditinjau pengaruh letak retak terhadap periode alami.



Gambar 4. 20 Respon Spectrum Gempa Rencana
sumber : SNI 1726-2002

Untuk melihat pengaruh letak retak terhadap periode alami, maka dilakukan variasi letak retak, berikut adalah persentase penurunan periode alami terhadap periode alami dinding bata utuh:

Tabel 4. 16 Persentase Kenaikan Periode Alami Akibat Variasi Retak

Kondisi		% Kenaikan Periode Alami
Retak B-1	1	10,50%
Retak B-2	2	11,48%
Retak B-3	3	8,05%

Kondisi		% Kenaikan Periode Alami
Retak B-1,2	4	23,01%
Retak S-1	5	23,00%
Retak S-2	6	14,11%
Retak S-3	7	5,02%
Retak S-1,2	8	32,38%
Retak Seluruh	9	35,41%

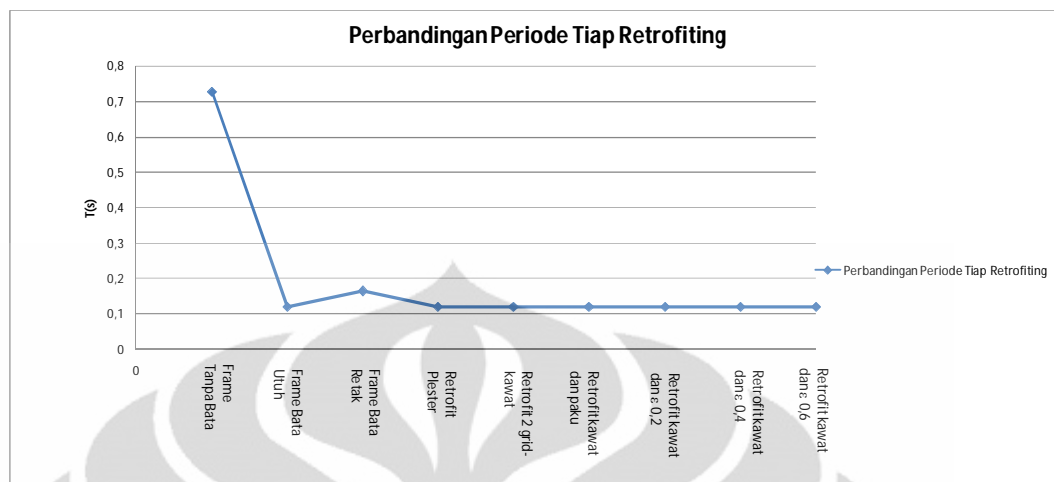
Dari tabel 4.16, terlihat bahwa terjadi peningkatan periode seiring dengan bertambah kenaikan jumlah panel dinding bata yang mengalami retak. Hal ini menandakan bahwa periode dipengaruhi oleh jumlah panel dinding bata yang mengalami retak. Selain dipengaruhi jumlah panel yang mengalami retak, letak retak pun memberi pengaruh yang berbeda terhadap besar periode alami yang dihasilkan.

Untuk melihat pengaruh letak retak, maka dilakukan perbandingan penambahan periode alami pada tiap kondisi dimana pada frame terdapat 3 panel dinding bata yang mengalami retak yakni pada kondisi 1,2,3,5,6, dan 7. Pada tabel diatas, terlihat bahwa retak pada kondisi 5 (retak seluruh *bay* pada lantai dasar) memberikan kontribusi pada peningkatan periode alami terbesar dibandingkan dengan kondisi lainnya, dimana persentase kenaikan periode alami semakin mengecil seiring bertambah tingginya panel yang mengalami retak. Hal ini ditandai oleh penurunan kenaikan periode alami pada kondisi 6 dan 7. Berikut adalah urutan pengaruh letak retak dinding bata terhadap periode:

- Frame dinding bata dengan 3 panel dinding bata retak
kondisi 5 > 6 > 2 > 1 > 3 > 7
- Frame dinding bata dengan 6 panel dinding bata retak
kondisi 8 > 4

Hal tersebut terjadi karena retak pada dinding bata berpengaruh terhadap peningkatan periode alami dengan peningkatan terbesar terjadi jika seluruh dinding bata pada frame tersebut retak dengan periode alami struktur sebesar 0,163 atau terjadi peningkatan periode alami sebesar 35,41% terhadap dinding bata utuh seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21, sehingga dirasa perlu untuk mengembalikan peranan dinding bata kembali salah satu caranya adalah

melakukan perbaikan dinding bata pada dinding bata.



Gambar 4. 21 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Tiap Perbaikan Dinding Bata Pada Kondisi Seluruh Panel Dinding Bata Retak

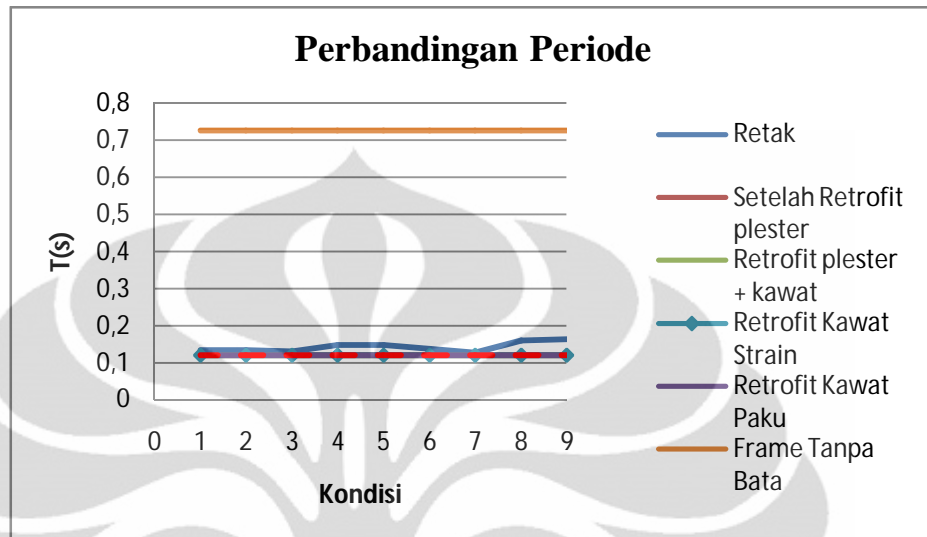
Berikut adalah persentase penurunan periode alami tiap perbaikan dinding bata terhadap dinding bata retak:

Tabel 4. 17 Persentase Penurunan Periode Alami Tiap Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Retak

Kondisi	Plester	kawat	Kawat dan paku	Kawat prategang
1	9,48%	9,49%	9,32%	9,32%
2	10,27%	10,33%	10,15%	10,15%
3	7,42%	7,45%	7,27%	7,27%
4	18,65%	18,72%	18,64%	18,64%
5	18,65%	18,83%	18,60%	18,60%
6	12,33%	12,16%	12,20%	12,20%
7	4,79%	4,63%	4,54%	4,54%
8	24,39%	24,60%	24,46%	24,46%
9	26,08%	26,17%	26,18%	26,18%

Berdasarkan Tabel 4.17, terlihat bahwa pemberian perbaikan dinding bata memberikan penurunan periode alami struktur, dengan penurunan terbesar diberikan oleh perbaikan dinding bata kawat serta paku dan perbaikan dinding bata kawat prategang, sebesar 26,18%, yakni pada kondisi dimana seluruh dinding bata retak, akan tetapi karena perbedaan persentase penurunan tiap perbaikan dinding bata tidak terlalu signifikan sehingga tidak dapat disimpulkan bahwa perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat dan paku serta kawat prategang memberikan kontribusi menurunkan periode alami terbesar

dibandingkan dengan perbaikan dinding bata dengan plester dan kawat seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.17. Berikut adalah grafik yang memperlihatkan penurunan periode alami.



Gambar 4. 22 Perbandingan Periode Frame Dinding Bata Pada Tiap Variasi Retak

Dikarenakan semakin kecil periode alami frame (dengan kisaran periode alami 0-0,75 detik) maka gaya gempa yang diterima oleh frame semakin kecil, sehingga mengurangi kemungkinan keruntuhan struktur akibat gempa, dengan penurunan yang hampir sama untuk tiap jenis perbaikan dinding bata.

4.3.2.2 Kekakuan Lateral

Pada pembahasan ini akan dilakukan analisis pengaruh kekakuan portal akibat perbaikan dinding bata. Sebagai parameter dalam analisis ini digunakan nilai-nilai dari gaya geser dasar dan simpangan puncak, kemudian untuk melihat pengaruhnya terhadap kekakuan tiap tingkat maka digunakan parameter drift dan gaya geser tiap lantai.

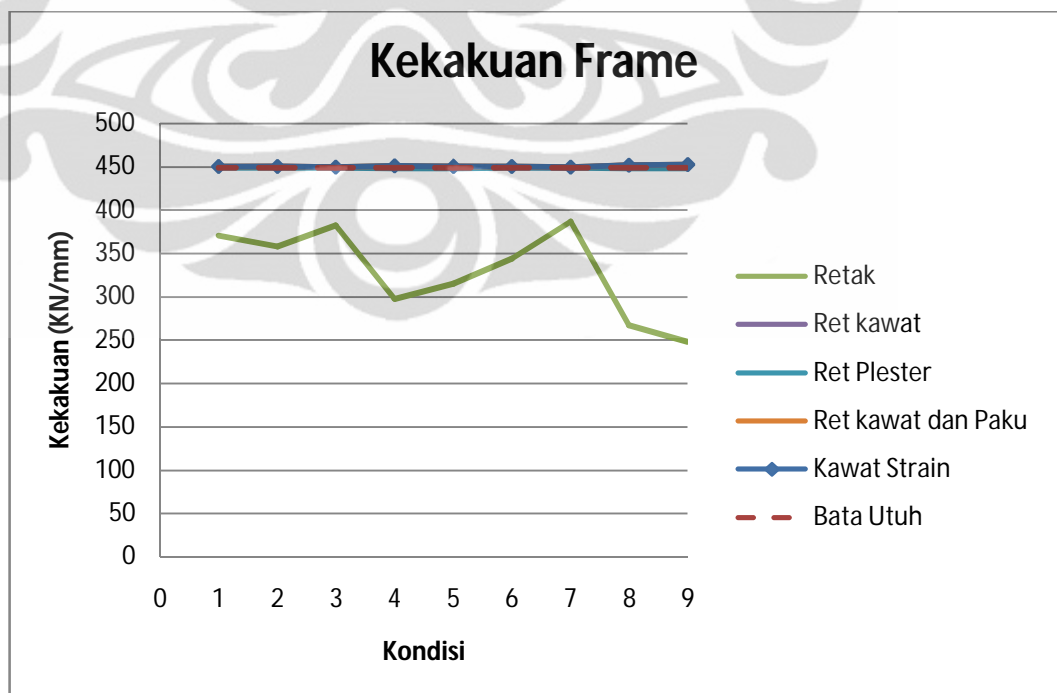
Pada peninjauan kekakuan seluruh frame, simpangan puncak yang digunakan adalah simpangan puncak pada arah x, dikarenakan gaya statik ekuivalen yang diberikan searah gaya begitupula arah drift yang ditinjau. Pada bagian ini tidak akan dianalisis perubahan simpangan puncak akibat perbaikan dinding bata, akibat simpangan yang terjadi didapatkan karena beban masing-

masing statik ekuivalennya yang berasal dari periode naturalnya dan bukan dari besar gaya yang sama, sehingga tidak dapat dibandingkan.

Untuk mendapatkan nilai kekakuan seluruh frame dari masing-masing retrofit pada tiap variasi retak maka digunakan rumus kekakuan sebagai karakteristik statik struktur:

$$K = \frac{P}{\Delta_h} \quad (4.3.3.1)$$

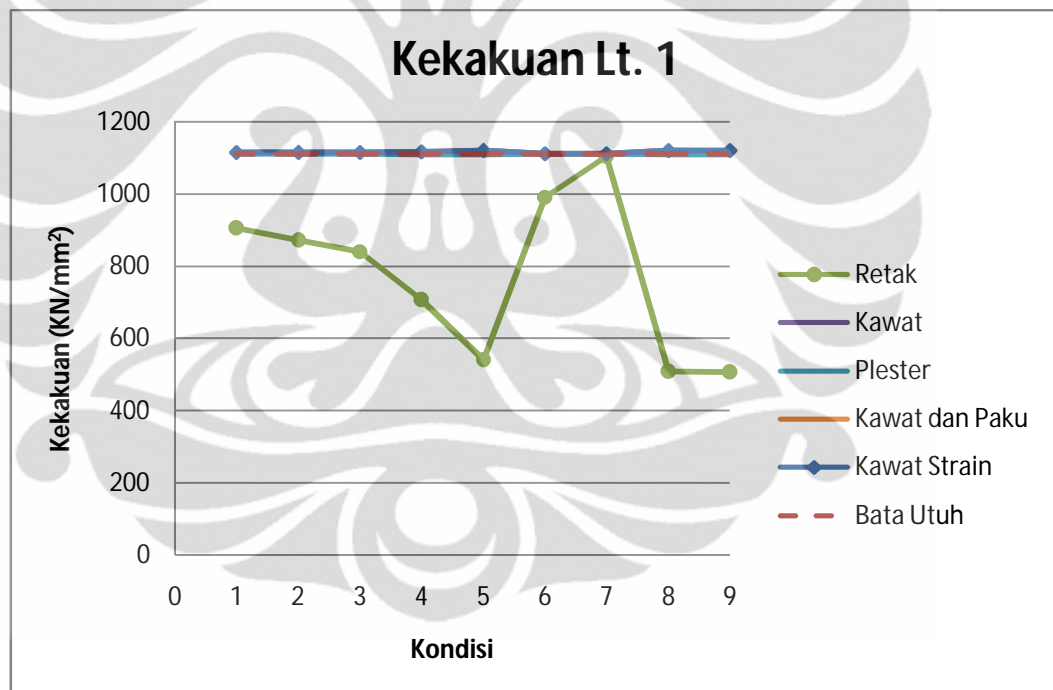
Dimana P adalah gaya geser dasar (KN) dan Δ_h adalah simpangan puncak horizontal searah sb-x (mm). Dari Grafik dibawah ini terlihat bahwa pemodelan dinding bata sebagai elemen struktural, maka terjadi peningkatan kekakuan dibandingkan hanya menjadikan dinding bata sebagai beban. Pada saat kondisi bata retak, terjadi penurunan kekakuan, dengan penurunan yang cukup besar terjadi pada kondisi 4 (retak *bay* 1 dan 2), kondisi 8 (retak *story* 1 dan 2), dan penurunan kekakuan terbesar terjadi pada kondisi 9 (semua dinding bata retak). Hal ini menandakan bahwa besar penurunan kekakuan sejalan dengan jumlah panel yang retak, dengan kata lain semakin banyak panel yang retak, maka semakin besar pula pengurangan kekakuannya.



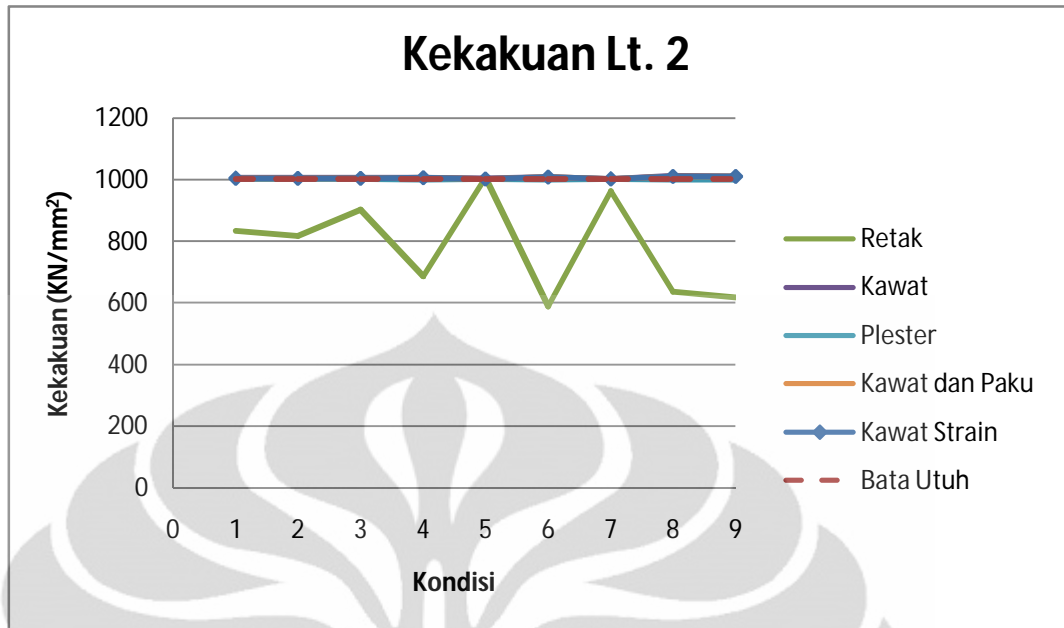
Gambar 4. 23 Perbandingan Kekakuan Frame Dinding Bata Pada Tiap Variasi Retak

Jika dilihat dari pengaruh perbaikan dinding bata terhadap dinding bata retak, seluruh perbaikan dinding bata memberikan peningkatan kekakuan frame dinding bata, dimana tiap perbaikan dinding bata menggunakan plester mengembalikan kondisi frame bata seperti semula, kemudian terjadi penambahan kekakuan struktur akibat perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat, menggunakan kawat dan paku serta kawat prategang, dimana perbedaan peningkatan kekakuan tidak signifikan antara perbaikan dinding bata tersebut.

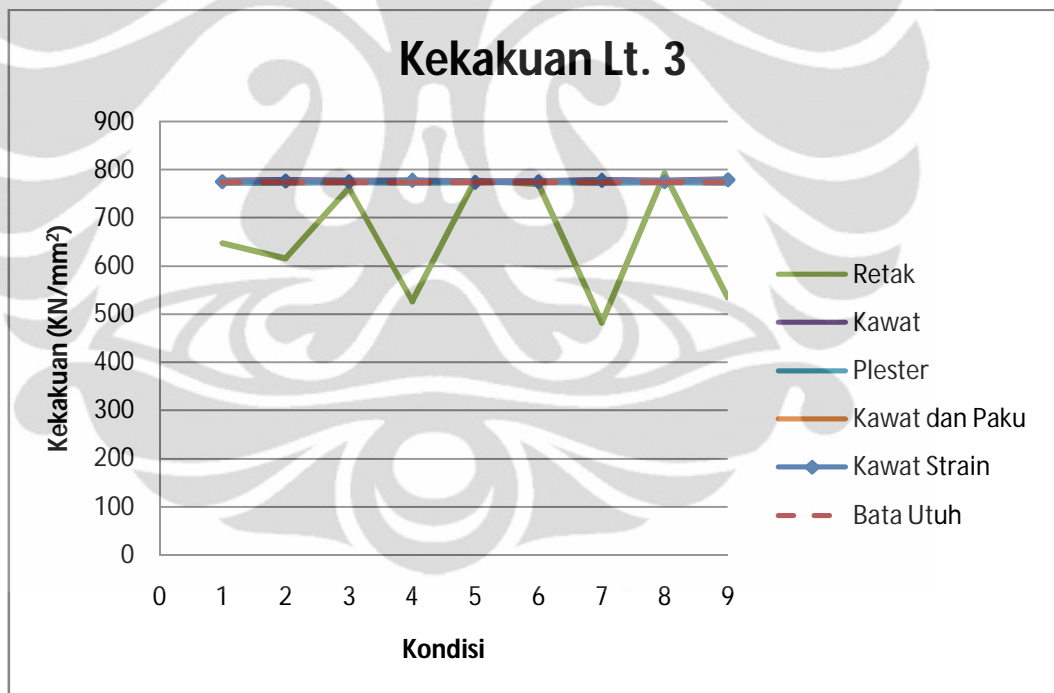
Untuk melihat pengaruh retak dan perbaikan dinding bata terhadap kekakuan tiap lantai, maka digunakan parameter drift dan gaya geser tiap lantai, dengan menggunakan rumus kekakuan frame, dimana P adalah gaya geser kolom (KN) dan Δ_h adalah drift tiap lantai (mm) (sb-x). Berikut adalah grafik nilai kekakuan tiap lantai dengan berbagai variasi retak :



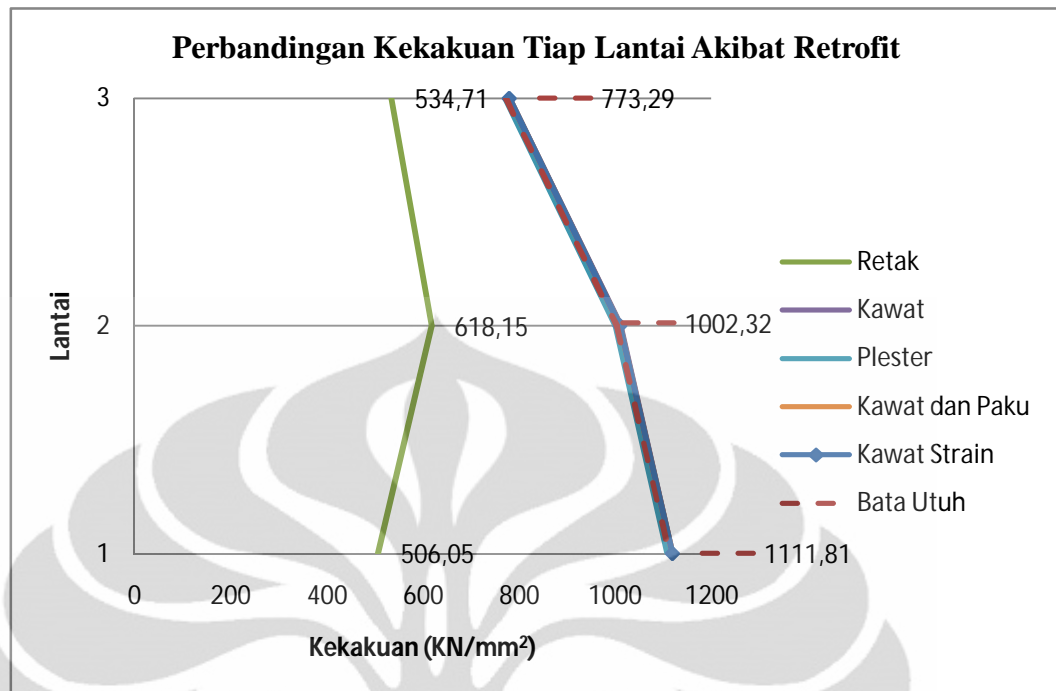
Gambar 4. 24 Perbandingan Kekakuan Lantai 1 Pada Tiap Variasi Retak



Gambar 4. 25 Perbandingan Kekakuan Lantai 2 Pada Tiap Variasi Retak



Gambar 4. 26 Perbandingan Kekakuan Lantai 3 Pada Tiap Variasi Retak



Gambar 4. 27 Perbandingan Kekakuan Tiap Lantai Pada Saat Dinding Bata Pada Tiap Panel Retak

Dari grafik diatas terlihat bahwa letak retak memberi pengaruh pada perubahan kekakuan pada tiap lantai, hal ini ditandai dengan banyaknya kekakuan yang mendekati nilai kekakuannya pada lantai tersebut jika dinding bata tidak retak. Berdasarkan grafik 4.24, terlihat bahwa retak memberi penurunan kekakuan terbesar pada lantai 1, diman penurunan tersebut berkurang tiap naiknya lantai(semakin tingginya kekakuan yang ditinjau). Hal ini diperlihatkan oleh banyaknya nilai yang mendekati kekakuan dinding bata utuh, dimana pada kekakuan lantai 1, hanya satu nilai yang mendekati nilai kekakuan dinding bata, yakni jika retak terjadi pada sepanjang lantai 3. Kemudian pada nilai kekakuan pada lantai 2 berdasarkan grafik 4.25, terdapat dua variasi retak yang nilai kekakuannya mendekati nilai kekakuan dinding bata utuh, yakni jika retak terjadi pada sepanjang lantai 1 dan lantai 3. Lalu pada nilai kekakuan pada lantai 3 berdasarkan berdasarkan grafik 4.26, terdapat empat variasi retak yang nilai kekakuannya mendekati nilai kekakuan dinding bata utuh, yakni jika retak terjadi pada sepanjang lantai 1, sepanjang lantai 2, lantai 1 serta lantai 2, dan sepanjang bay 3. Hal tersebut memperlihatkan bahwa perbaikan dinding bata memberikan pengaruh terbesar untuk mengembalikan/meningkatkan nilai kekakuan pada lantai 1 dan peningkatan kekakuan terbesar terjadi jika seluruh panel dinding bata retak,

yakni sebesar 54% pada lantai 1, 38 % pada lantai 2, dan 31% pada lantai 3. Berikut adalah persentase penurunan kekakuan tiap lantai akibat retak terhadap dinding bata utuh:

Tabel 4. 18 Persentase Penurunan Nilai Kekakuan Akibat Variasi Retak Terhadap Dinding Bata Utuh

Kondisi	Lt. 1	Lt. 2	Lt. 3
1	19%	17%	16%
2	22%	18%	20%
3	24%	10%	2%
4	37%	32%	32%
5	51%	0%	-1%
6	11%	41%	1%
7	1%	4%	38%
8	54%	36%	-2%
9	54%	38%	31%

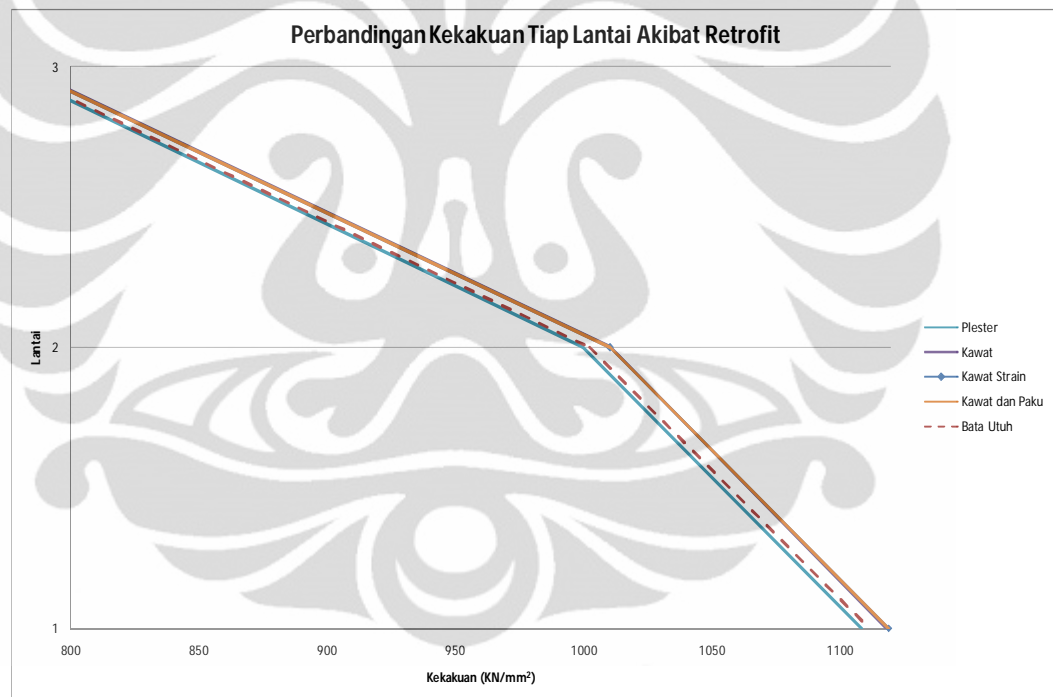
Dari grafik 4.27, terlihat bahwa retrofit memberikan nilai kekakuan terbesar pada lantai 1 kemudian menurun seiring naiknya lantai, dengan nilai kekakuan terkecil pada lantai 3, sesuai nilai kekakuan frame dinding bata yang semakin menurun tiap kenaikan lantai/tingkat. Jika dilihat dari pengaruh perbaikan dinding bata terhadap kekakuan dinding bata utuh, kenaikan kekakuan pada tiap lantai tidak terlalu signifikan, terutama peningkatan kekakuan akibat penambahan kawat, kawat dan paku, maupun kawat prategang dan paku.

Dikarenakan pengaruh retak yang beragam terhadap kekakuan tiap lantai, maka untuk melihat pengaruh perbaikan dinding bata maka tiap nilai kekakuan akibat perbaikan dinding bata dibandingkan dengan nilai kekakuan jika dinding bata tidak mengalami retak.

Tabel 4. 19 Persentase Penurunan Nilai Kekakuan Akibat Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Utuh

kondisi	Lt.1				Lt.2				Lt.3			
	Ret. Plester	Ret. Kawat	Ret. Kawat dan Paku	Ret. Kawat Prategang	Ret. Plester	Ret. Kawat	Ret. Kawat dan Paku	Ret. Kawat Prategang	Ret. Plester	Ret. Kawat	Ret. Kawat dan Paku	Ret. Kawat
1	-0,084%	0,218%	0,220%	0,220%	-0,079%	0,393%	0,232%	0,232%	-0,077%	0,622%	0,228%	0,228%
2	-0,101%	0,245%	0,263%	0,263%	-0,096%	0,471%	0,283%	0,283%	-0,100%	0,751%	0,314%	0,314%
3	-0,104%	0,217%	0,213%	0,213%	-0,072%	0,423%	0,226%	0,226%	-0,028%	0,571%	0,221%	0,221%
4	-0,185%	0,210%	0,459%	0,459%	-0,174%	0,416%	0,507%	0,507%	-0,176%	0,564%	0,580%	0,580%
5	-0,269%	0,716%	0,725%	0,725%	-0,019%	0,259%	0,060%	0,060%	-0,007%	0,418%	-0,016%	-0,016%
6	-0,020%	-0,067%	-0,030%	-0,030%	-0,222%	0,693%	0,695%	0,695%	-0,030%	0,340%	0,115%	0,115%
7	0,001%	-0,040%	0,005%	0,005%	-0,006%	-0,013%	-0,011%	-0,011%	-0,169%	0,720%	0,564%	0,564%
8	-0,289%	0,686%	0,669%	0,669%	-0,240%	0,949%	0,815%	0,815%	-0,036%	0,553%	0,134%	0,134%
9	-0,288%	0,588%	0,648%	0,648%	-0,246%	0,837%	0,794%	0,794%	-0,204%	0,834%	0,736%	0,736%

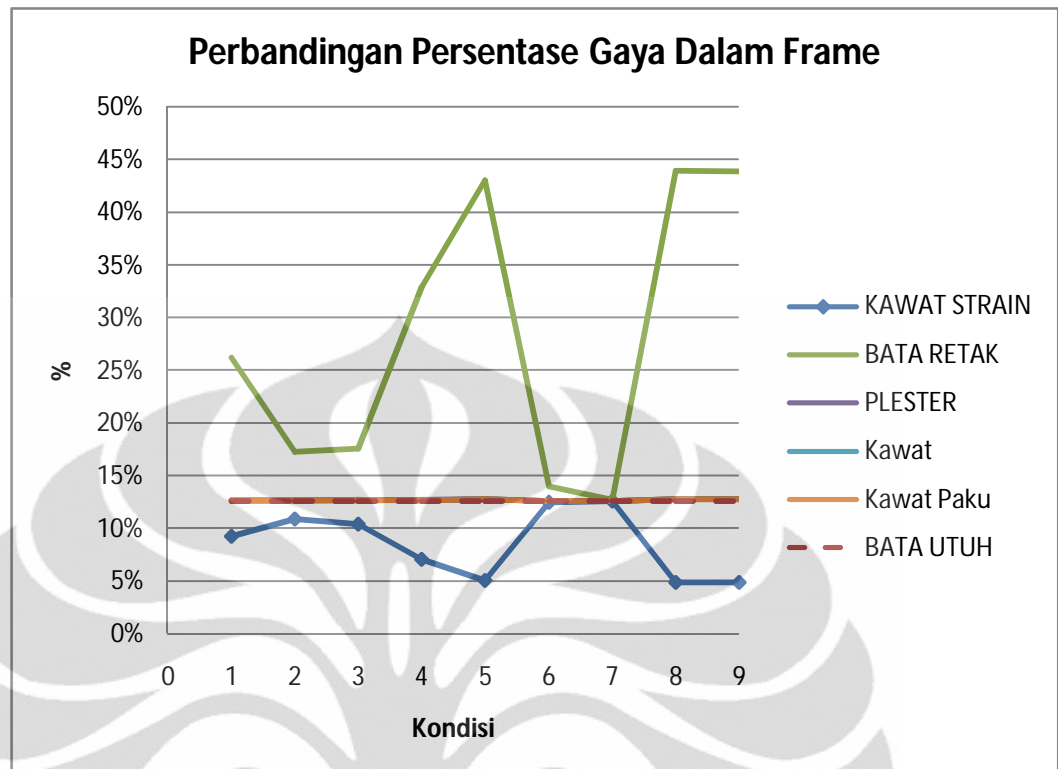
Dari tabel 4.19, terlihat bahwa perbaikan dinding bata plester memberikan peningkatan kekakuan terhadap dinding bata yang retak, tetapi tidak mengembalikan sepenuhnya kekakuan seperti sediakala, kemudian akibat penambahan kawat nilai kekakuan meningkat melebihi kekakuan dinding bata, lalu peningkatan bertambah lagi akibat penambahan paku dengan persentase kenaikan yang sama dengan penambahan kawat prategang dan paku. Akan tetapi perbedaan peningkatan kekakuan antara perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat, kawat dan paku, serta kawat prategang tidak terlalu signifikan, hal ini menandakan bahwa penambahan paku dan tegangan pada kawat memberikan peningkatan kekakuan pada dinding bata tetapi tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan perbaikan dinding bata menggunakan kawat.



Gambar 4. 28 Perbandingan Kekakuan Tiap Lantai Tiap Jenis Perbaikan Dinding Bata Pada Saat Dinding Bata Pada Tiap Panel Retak

4.3.2.3 Gaya Dalam Frame

Pada bagian ini akan dibahas tentang pengaruh retak pada dinding bata dan perbaikan dinding bata pada berbagai variasi retak terhadap gaya dalam frame, guna melihat penyerapan gaya oleh dinding bata. Sebagai parameter digunakan gaya geser dasar dan gaya geser pada kolom lantai 1.



Gambar 4. 29 Perbandingan Persentase Gaya Dalam Frame Pada Tiap Variasi Retak

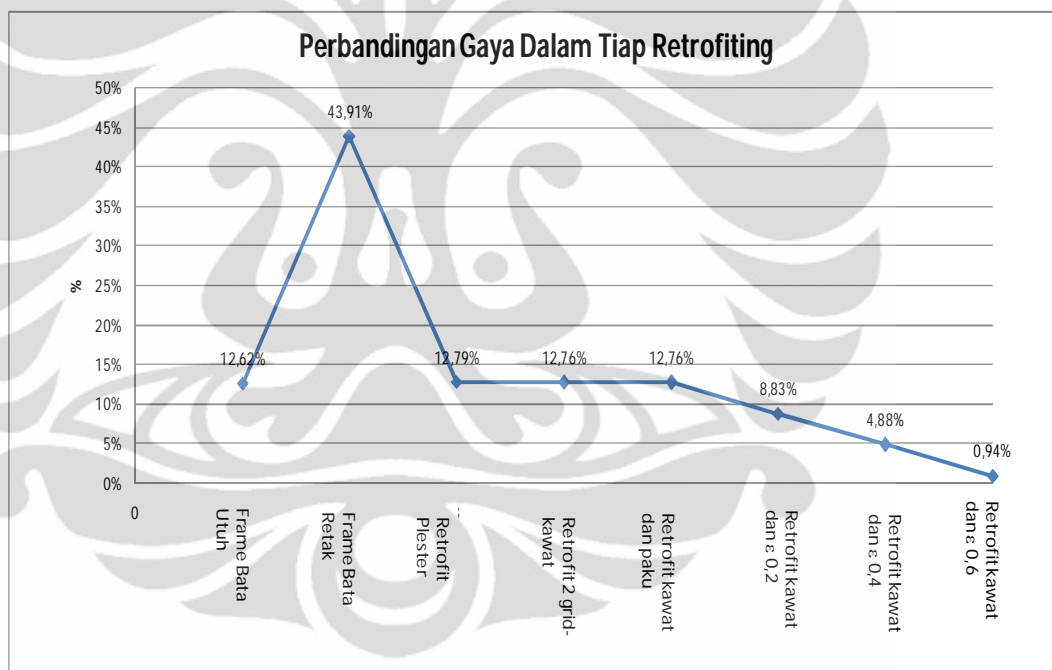
Dari grafik 4.29 terlihat terjadi peningkatan gaya dalam frame akibat retak pada dinding bata, dimana peningkatan terbesar terjadi pada kondisi 4(bay 1 dan 2), 5 (lantai 1), 8 (lantai 1 dan 2), dan 9 (seluruh panel dinding bata). Hal ini memperlihatkan semakin banyak panel dinding bata yang retak maka semakin besar pula gaya yang harus ditanggung kolom, hal ini menyebabkan gaya yang dapat diterima kolom hingga terjadi keruntuhan bertambah kecil dengan kata lain terjadi penurunan kekuatan kolom dalam menahan gaya, dalam hal ini gaya statik ekuivalen. Jika dilihat dari pengaruh perbaikan dinding bata, maka dari grafik 4.29 terlihat bahwa akibat perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat prategang terjadi penurunan gaya dalam frame yang cukup besar, dengan peningkatan penurunan terbesar 61,36% pada kondisi retak pada seluruh panel dinding bata, dimana tegangan kawat yang diberikan sebesar $0,4 P_{\text{putus}}$ kawat.

Tabel 4. 20 Persentase Penurunan Gaya Dalam Frame Akibat Perbaikan Dinding Bata Terhadap Dinding Bata Utuh

Kondisi	Ret. Plester	Ret. Kawat	Ret. Kawat Dan Paku	Ret. Kawat Prategang
1	-0,49%	-0,11%	-0,13%	26,50%

Kondisi	Ret. Plester	Ret. Kawat	Ret. Kawat Dan Paku	Ret. Kawat Prategang
2	-0,40%	-0,36%	-0,40%	13,84%
3	-0,47%	-0,61%	-0,62%	17,32%
4	-0,89%	-0,47%	-0,51%	43,90%
5	-1,36%	-1,08%	-1,11%	60,04%
6	-0,02%	-0,01%	-0,02%	1,11%
7	0,00%	-0,01%	0,40%	0,13%
8	-1,37%	-1,08%	-1,10%	61,20%
9	-1,34%	-1,08%	-1,10%	61,36%

Untuk melihat pengaruh variasi tegangan yang diberikan pada kawat, maka dilakukan perbandingan pengaruh tiap perbaikan dinding bata pada saat seluruh panel dinding bata retak, seperti yang ditunjukkan grafik dibawah ini:



Gambar 4. 30 Perbandingan Persentase Gaya Dalam Frame Pada Saat Seluruh Panel Dinding Bata Retak

Dari grafik 4.30 terlihat terjadinya penurunan gaya dalam frame tiap penambahan tegangan, dengan penurunan gaya dalam terbesar diakibatkan penambahan tegangan sebesar $0,6P_{\text{putus}}$ kawat. Akibat penurunan gaya dalam frame, maka kekuatan frame bertambah besar, dimana perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat prategang menyebabkan penurunan gaya dalam terbesar. Sehingga dapat dikatakan penambahan tegangan pada kawat meningkatkan kekuatan frame.

4.3.2.4 Tegangan Elemen Dinding Bata

Pada bagian ini akan dibahas tentang tegangan elemen dinding bata, yakni dinding bata, plester, dan kawat yang digunakan dalam perbaikan dinding bata. Peninjauan tegangan elemen dinding bata dilakukan untuk mengetahui peningkatan kinerja dinding bata akibat perbaikan dinding bata menggunakan kawat prategang terpaku. Untuk melihat peningkatan kinerja dinding bata, maka dilakukan peninjauan apakah terjadi retak pada dinding bata yang berada pada bagian retak dan plester yang telah diperbaiki dengan kawat prategang terpaku akibat gaya gempa statik ekuivalen, dengan kondisi awal dinding bata retak. Untuk melihat seberapa besar peningkatan kinerja dinding bata maka digunakan persamaan:

$$\alpha = \frac{\sigma_{\text{aktual}}}{\sigma_{\text{izin}}}$$

dimana jika nilai $\alpha > 1$, maka terjadi peningkatan kekuatan dinding bata, tetapi jika $\alpha < 1$, maka hal ini menandakan terjadi retak pada elemen dinding bata akibat gempa statik ekuivalen.

Tabel 4. 21 Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Tekan Dinding Bata Akibat Perbaikan Dinding Bata

Kondisi	Tarik	Tekan
k1	2,1509	96,087
k2	2,4377	87,0079
k3	2,7086	85,6589
k4	1,5671	8,34592
k5	2,3591	91,3223
k6	3,3753	96,9298
k7	5,6255	111,616
k8	2,3094	92,8571
k9	1,994	90,574
k10	2,285	92,083
k11	2,676	83,083

Jika ditinjau pada elemen dinding bata, maka dari tabel diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan yang sangat besar pada kekuatan tekan dinding bata dibandingkan dengan kekuatan tarik untuk seluruh variasi retak. Jika dibandingkan pengaruh variasi tegangan yang diberikan pada kawat, terlihat bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik tiap peningkatan tegangan yang

diberikan pada kawat, sedangkan untuk kekuatan tekan, peningkatan terbesar terjadi akibat pemberian tegangan sebesar $0,4 P_{\text{putus}}$ kawat(k10).

Jika ditinjau pada elemen plester, terjadi peningkatan kekuatan tarik plester pada variasi retak sepanjang *bay 2*, *bay 3*, dan *story 3*, sedangkan untuk kekuatan tekan plester terjadi peningkatan kekuatan tekan pada setiap variasi retak, dimana terjadi peningkatan kekuatan tiap penambahan tegangan pada kawat, baik kekuatan tekan maupun tarik.

Tabel 4. 22 Peningkatan Kekuatan Tarik Dan Tekan Plester Akibat Perbaikan Dinding Bata

Kondisi	Tarik	Tekan
k1	0,5561	8,886423
k2	1,6789	9,416276
k3	2,6488	6,323645
k4	0,572	8,877784
k5	0,587	6,774029
k6	0,7049	9,217397
k7	1,6627	8,833216
k8	0,5958	6,838464
k9	0,534	6,998
k10	0,594	6,874
k11	0,666	6,753

Jika ditinjau dari kekuatan elemen perbaikan dinding bata yakni kawat, terlihat bahwa kawat mampu menahan tegangan tarik yang terjadi akibat gaya statik ekuivalen, hal ini terlihat pada tabel di atas ini dimana nilai $\alpha > 1$ untuk tiap kondisi retak.

Tabel 4. 23 Kapasitas Kuat Tarik Kawat Akibat Gaya Statik Ekuivalen

Kondisi	Tarik
k1	1,696
k2	1,703
k3	1,718
k4	1,697
k5	1,702
k6	1,719
k7	1,741
k8	1,701
k9	3,235
k10	1,700
k11	1,151

Dari pembahasan diatas, terlihat bahwa akibat perbaikan dinding bata terjadi peningkatan kekuatan dinding bata baik tarik maupun tekan jika frame dinding bata dikenai gaya statik ekuivalen, dengan kata lain perbaikan dinding bata menggunakan kawat prategang terpaku dapat mencegah terjadinya retak untuk kedua kalinya pada dinding bata akibat gaya statik ekuivalen. Sehingga dapat dikatakan perbaikan dinding bata dengan menggunakan kawat prategang terpaku memiliki peran yang penting untuk meningkatkan kekuatan dinding bata.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan hasil penelitian ini adalah :

1. Penambahan kawat anyam prategang sebagai material perbaikan dinding bata yang retak dapat meningkatkan kinerja dinding dan efeknya lebih besar bila dibandingkan dengan perbaikan yang hanya menggunakan kawat anyam terpaku
2. Penambahan tegangan pada kawat anyam dapat mengembalikan kapasitas kuat tekan dinding bata dengan peningkatan yang relatif sama dengan dinding bata utuh
3. Penambahan tegangan pada kawat anyam memberikan peningkatan tegangan tarik pada elemen dinding bata sehingga menyebabkan penurunan kekuatan tarik dinding bata
4. Penambahan tegangan pada kawat anyam dapat mengembalikan kapasitas kuat tarik dinding bata dengan peningkatan yang relatif sama dengan dinding bata utuh
5. Pada elemen plester, perbaikan dengan kawat anyam prategang terpaku menurunkan tegangan tarik yang terjadi pada daerah plester (daerah retak) yang menyebabkan terjadinya kenaikan kekuatan tarik sebesar 66,36 % terhadap dinding bata utuh, lebih besar dibandingkan dengan perbaikan dinding bata menggunakan kawat terpaku yang meningkatkan 58,12 % terhadap dinding utuh
6. Penambahan tegangan pada kawat terpaku memberikan peningkatan kapasitas tekan semakin menurun pada pemakaian 1 grid kawat tiap penambahan tegangan, sedangkan pada pemakaian 3 dan 5 grid kawat terjadi peningkatan kapasitas tekan seiring dengan penambahan tegangan pada kawat.
7. Penambahan tegangan pada kawat terpaku memberikan peningkatan kekuatan tekan sebesar 24,79 %, lebih besar dibandingkan perbaikan dinding bata

8. menggunakan kawat terpaku yang meningkatkan 24,56 % terhadap dinding utuh pada pemakaian 3 dan 5 grid kawat
9. Penambahan tegangan pada kawat terpaku memberikan peningkatan kekuatan tekan sebesar 24,30 %, lebih kecil dibandingkan perbaikan dinding bata menggunakan kawat terpaku yang meningkatkan 24,35 % terhadap dinding utuh pada pemakaian 1 grid kawat.
10. Pelepasan elemen link pada ujung-ujung diagonal tarik mengakibatkan terjadinya pergeseran tegangan maksimum dan minimum serta perubahan distribusi tegangan pada sisi-sisi panel dinding yang berinteraksi dengan portal
11. Penambahan panel dinding dalam pemodelan struktur secara signifikan meningkatkan kekakuan struktur sehingga mengubah karakteristik dinamik dari struktur.
12. Penambahan panel dinding mereduksi besarnya gaya geser dasar akibat beban lateral statik ekuivalen yang diterima portal.
13. Terjadi penurunan kekakuan frame dinding bata akibat terjadinya retak, dengan penurunan terbesar terjadi akibat seluruh panel dinding bata retak.
14. Retak pada sepanjang lantai 1 memberikan kontribusi penurunan kekakuan terbesar dibandingkan dengan penurunan kekakuan pada lantai lainnya
15. Penambahan kawat prategang terpaku dalam perbaikan dinding bata pada struktur ruko merubah kekakuan struktur

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Menggunakan analisis non-liner terhadap kekuatan dari dinding bata karena perilaku runtuh portal beton bertulang dengan dinding pengisi akibat beban lateral (gempa), rumit dan berperilaku non-linier. Perilaku tersebut sangat tergantung dari hubungan elemen portal dengan dinding pengisi sehingga sulit untuk memprediksinya dengan metoda analitis elastis biasa
2. Melakukan penelitian mengenai bentuk kegagalan dan pola retak pada dinding bata akibat gaya lateral

3. Mengkaji interaksi antara portal dengan dinding serta melakukan pemodelan paku
4. Menganalisis pengaruh penambahan tegangan pada arah ortogonal kawat.
5. Melakukan pengetesan kuat leleh kawat anyam agar didapatkan hasil yang lebih akurat



DAFTAR REFERENSI

- Arief, Y. (2010). *Efek Dinding Pengisi Bata pada Respon Gempa Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Tesis Magister UI.
- Asteris, P. (2008). Finit Element Micro-Modeling of Infilled Frames. *Finite Element Micro-Modeling of Infilled Frames* .
- Basoenondo, E. A. (2008). *Lateral Load Response of Cikarang Brick wall Structures* (hal. 68). Queensland.
- Boen, T. a. (2010). *Retrofitting Simple Buildings Damage by Earthquakes* (hal. 34-37). Jakarta: UNCRD.
- Chopra, A. K. (1995). Dynamics of Structures. Dalam A. K. Chopra, *Dynamics of Structures* (hal. 365-383). New Jersey: Prentice Hall.
- Collins, M. P. (1991). *Prestressed Concrete Structures*. New Jersey: Prentice Hall.
- El Gawadi, M. L. (2004, 4-7 July). A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM. 13th International Brick and Block Masonry Conference. *A Review of Conventional Seismic Retrofitting Techniques for URM. 13th International Brick and Block Masonry Conference* , 2-4.
- Hartman, F., & Katz, C. (2007). *Structural Analysis with Finites Element Methode*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidel.
- Hibbeler, R. (2008). Mechanics of Material 8th Edition. Dalam R. Hibbeler, *Mechanics of Material 8th Edition* (hal. 439-478). New York: Pearson Prentice Hall.
- Hidalgo, P. A. & Luders, C. (1984). Earthquake-Resistant Design of Reinforced Masonry Buildings, Eighth World Conference on Earthquake Engineering Volume VI .Dalam B. Budiono, & Herwani, *Model Elemen Hingga Non Linier Untuk Karakterisasi Panel Dinding Bata Pengisi Terhadap Gaya Lateral Siklik(2003)* (hal. 131). Bandung: Proceeding ITB Sains & Teknik volume 35, No.2.
- Katili, I. (2008). *Metode Elemen Hingga Untuk Skeletal* (hal. 1-2). Bandung : Rajawali Pers.
- Lin, G. Q. (2003). The Finite Element Methode: A Practical Course. *The Finite Element Methode: A Practical Course* .
- MacGregor, J. G. (2006). *Reinforced Concrete Mechanics and Design* (hal. 60-63). Singapore: Pearson Prentice Hall.
- Nasional, B. S. (1991). *Bata Merah Pejal* . Jakarta: Ketua Panitia Teknik Bangunan dan Konstruksi .

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

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



Lampiran 1 Gaya Statik Ekuivalen Dan Lendutan Pada 3 Bay- 3 Story

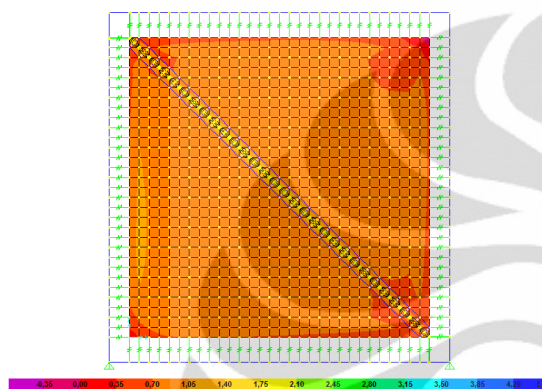
Gambar A1. 1 Gaya Geser Dasar Dan Gaya Statik Ekuivalen

Kondisi	T(detik)	C	V (KN)	F1 (KN)	F2 (KN)	F3 (KN)
1	0,120758	0,571706	185,86	36,17	74,36	75,34
2	0,120715	0,571609	185,83	36,16	74,34	75,32
3	0,120741	0,571667	185,85	36,16	74,35	75,33
4	0,1206	0,57135	185,74	36,14	74,31	75,29
5	0,120661	0,571487	185,79	36,15	74,33	75,31
6	0,120732	0,571647	185,84	36,16	74,35	75,33
7	0,120822	0,57185	185,91	36,17	74,38	75,35
8	0,12052	0,57117	185,68	36,13	74,29	75,27
9	0,120468	0,571053	185,65	36,12	74,27	75,25

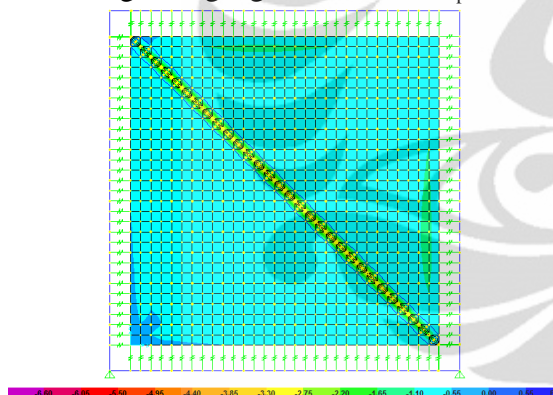
Gambar A1. 2 Lendutan Arah Sb-x

Kondisi	Lt 1 (mm)	Lt.2 (mm)	Lt.3 (mm)
1	0,1668	0,3158	0,413
2	0,1667	0,3156	0,4127
3	0,1668	0,3158	0,413
4	0,1663	0,3148	0,4116
5	0,1659	0,3151	0,4125
6	0,1672	0,3155	0,4128
7	0,1672	0,3166	0,4135
8	0,1659	0,3139	0,4111
9	0,1659	0,3139	0,4105

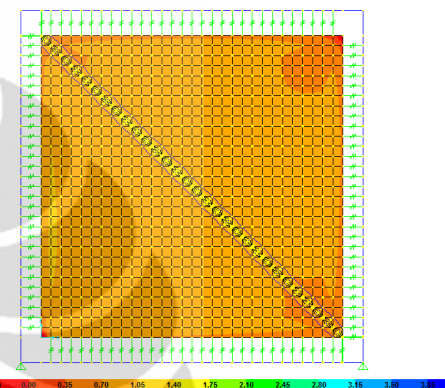
Lampiran 2 Kontur Dan Vektor Tegangan 1 Bay- 1 Story



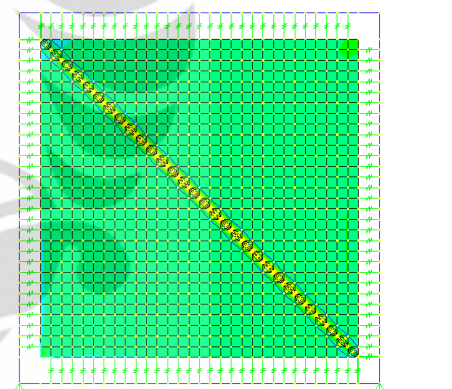
Gambar A2. 3 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



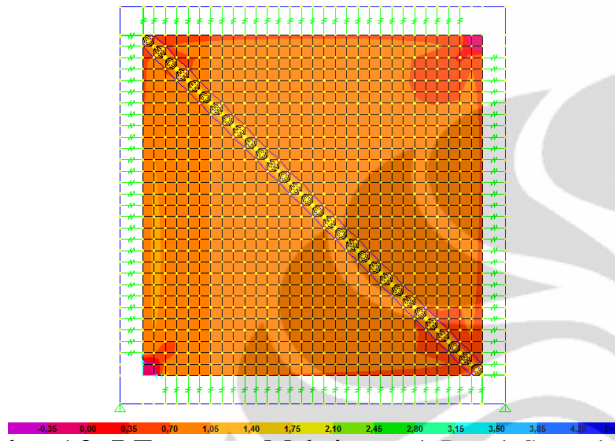
Gambar A2. 4 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



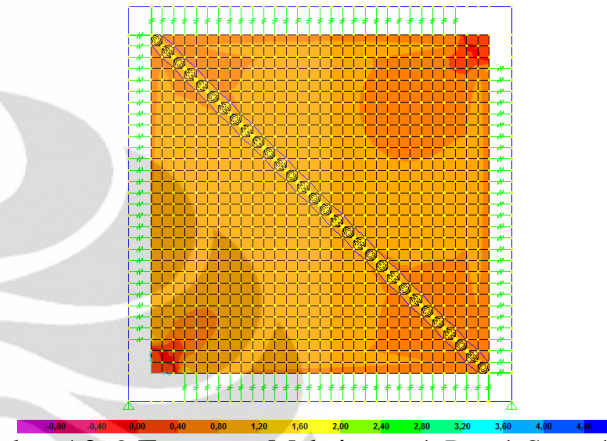
Gambar A2. 5 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 1



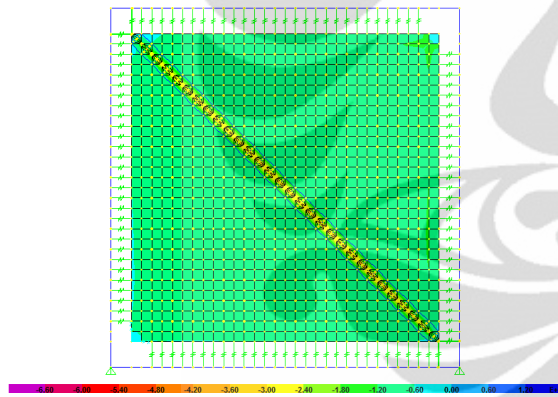
Gambar A2. 6 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 1



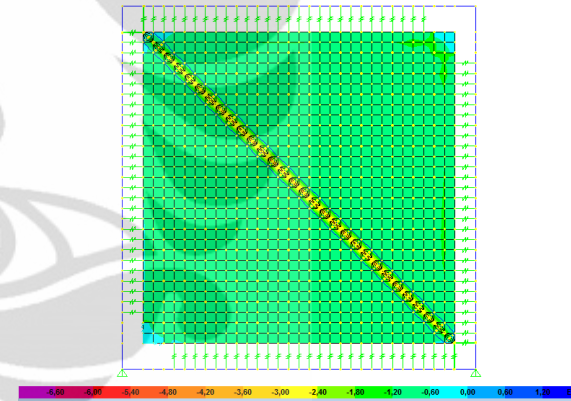
Gambar A2. 7 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 2



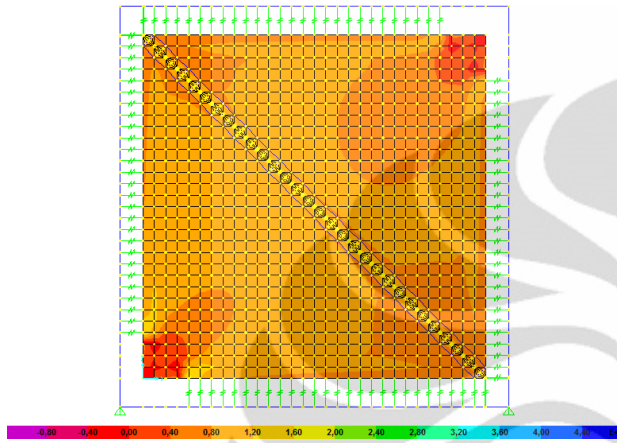
Gambar A2. 9 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 3



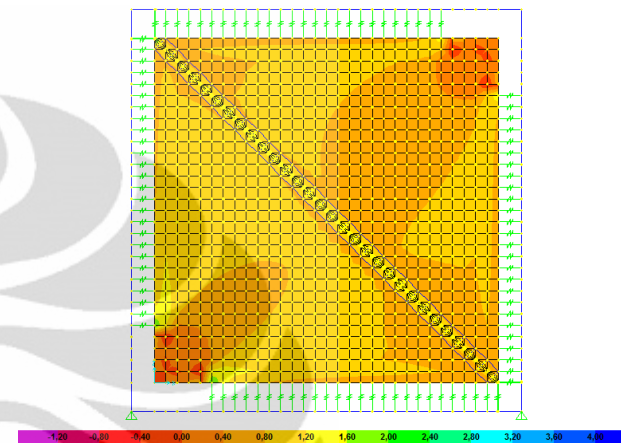
Gambar A2. 8 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 2



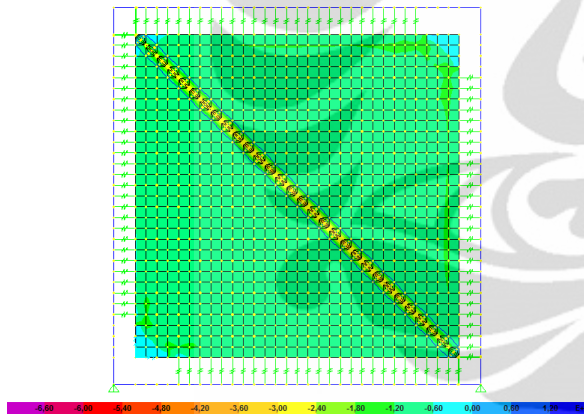
Gambar A2. 10 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 3



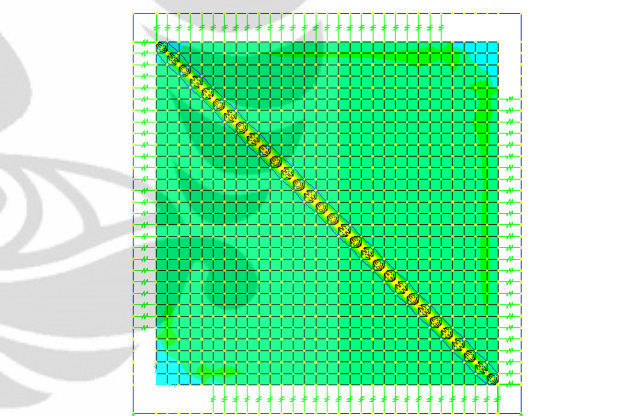
Gambar A2. 11 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 4



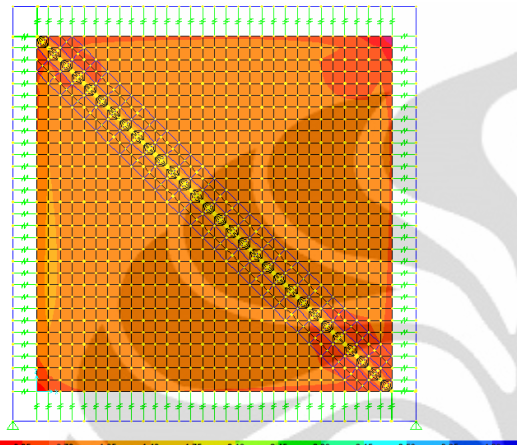
Gambar A2. 13 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 5



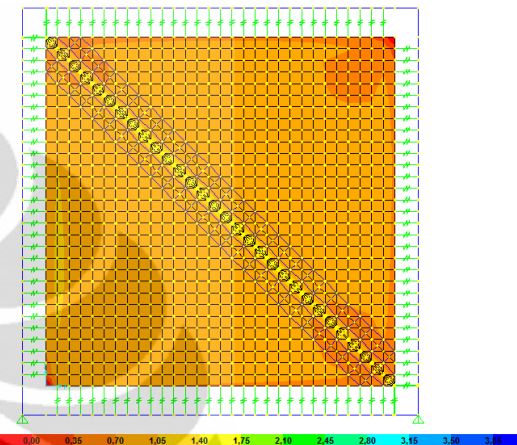
Gambar A2. 12 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 4



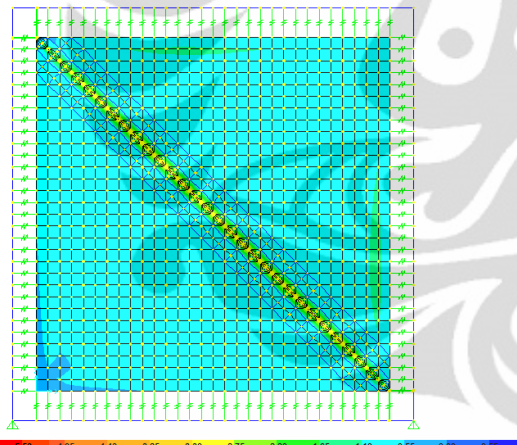
Gambar A2. 14 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat -Unlink 5



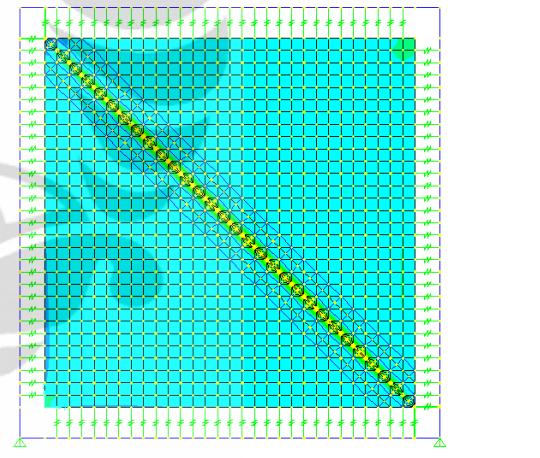
Gambar A2. 15 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



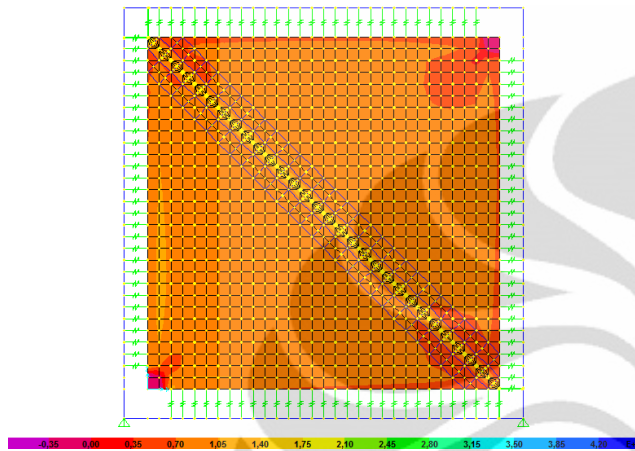
Gambar A2. 17 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat –Unlink 1



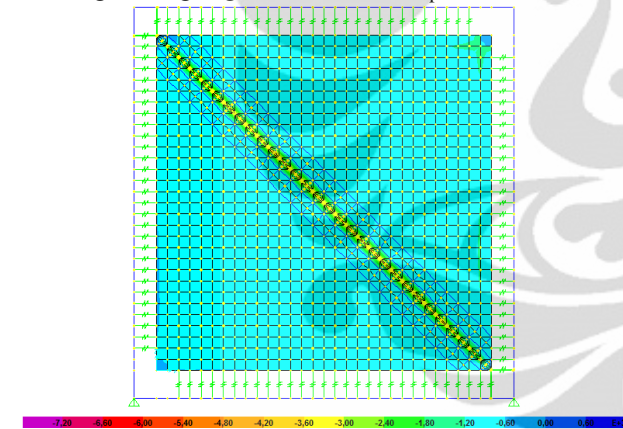
Gambar A2. 16 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



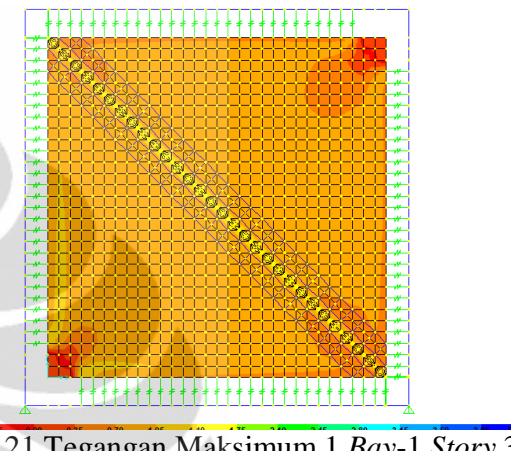
Gambar A2. 18 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat – Unlink 1



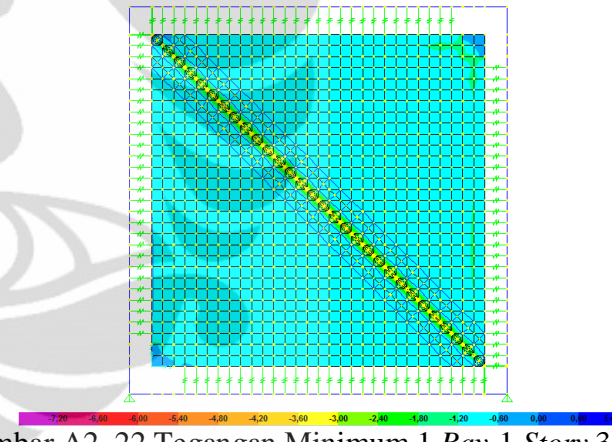
Gambar A2. 19 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat –Unlink 2



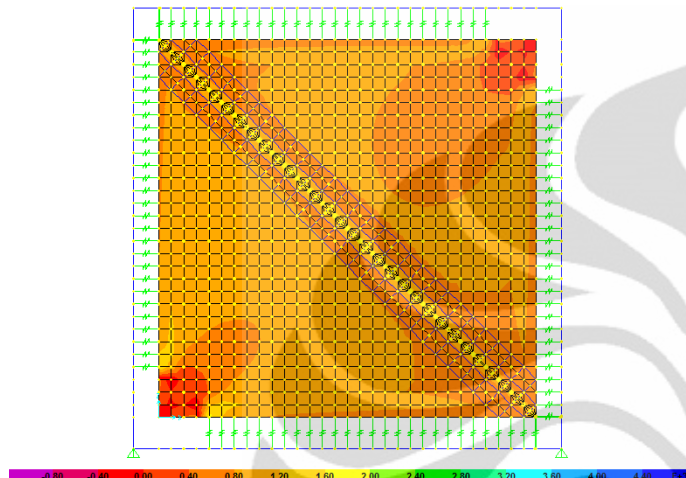
Gambar A2. 20 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat – Unlink 2



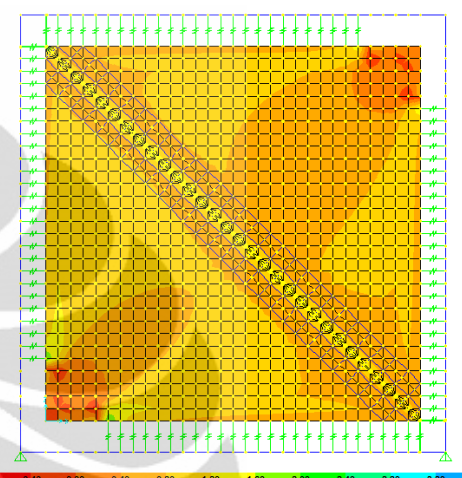
Gambar A2. 21 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat –Unlink 3



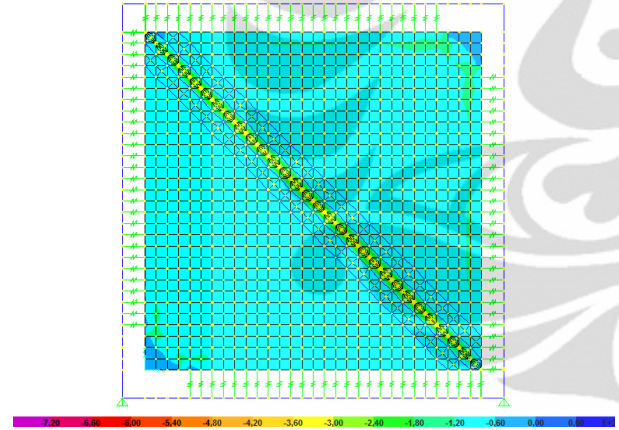
Gambar A2. 22 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat – Unlink 3



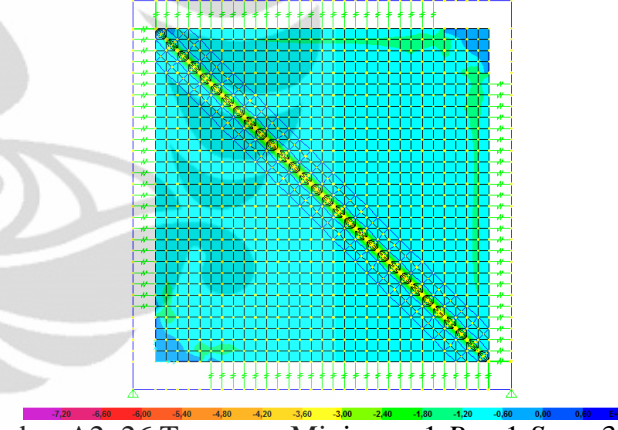
Gambar A2. 23 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat –Unlink 4



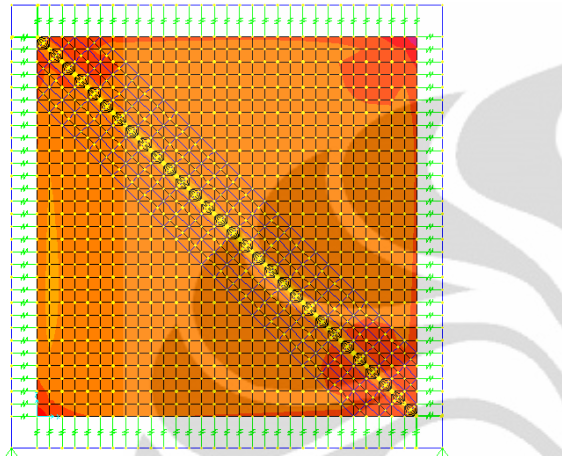
Gambar A2. 25 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat –Unlink 5



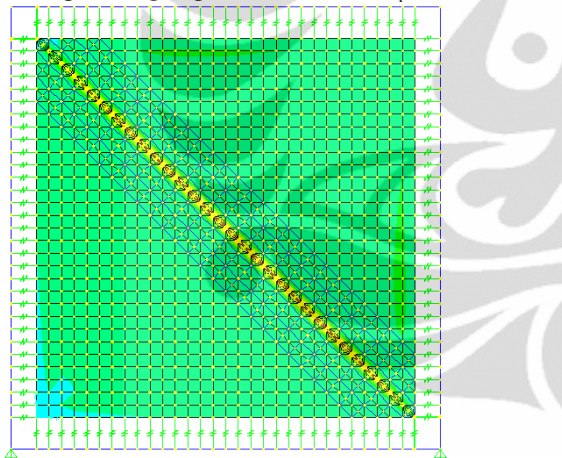
Gambar A2. 24 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat – Unlink 4



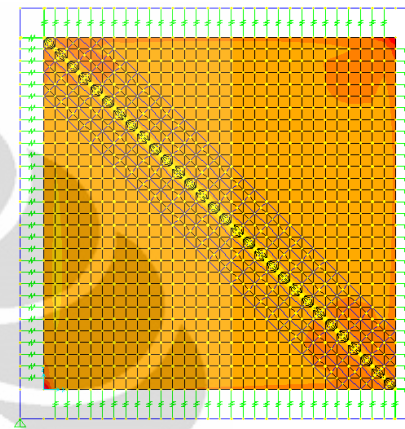
Gambar A2. 26 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat – Unlink 5



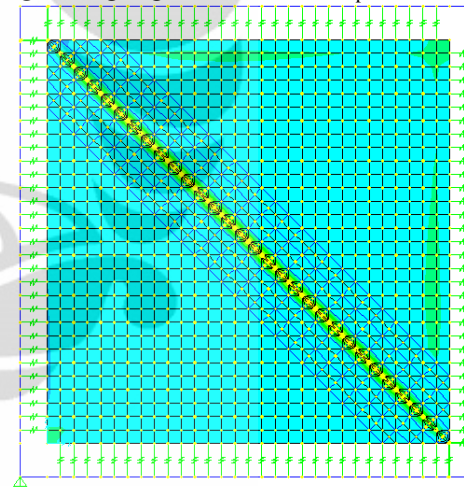
Gambar A2. 27 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



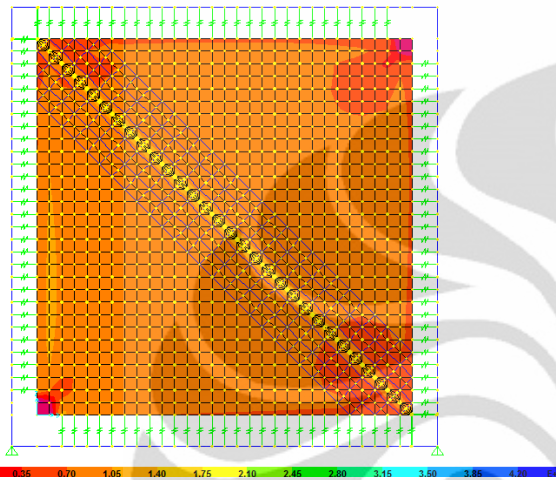
Gambar A2. 28 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



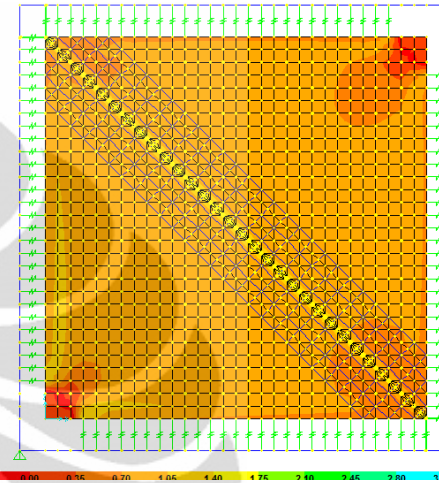
Gambar A2. 29 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 1



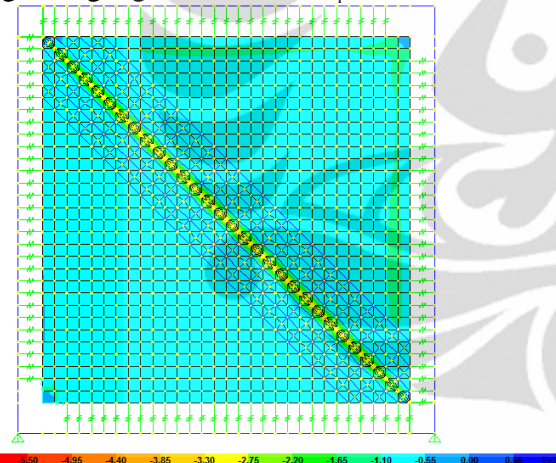
Gambar A2. 30 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 1



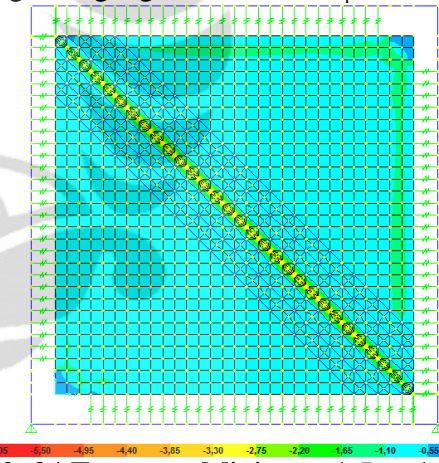
Gambar A2. 31 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,2 P_{putus}$ Kawat-Unlink 2



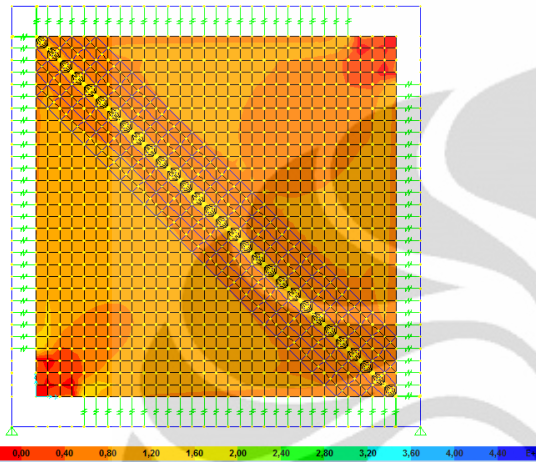
Gambar A2. 33 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,2 P_{putus}$ Kawat-Unlink 3



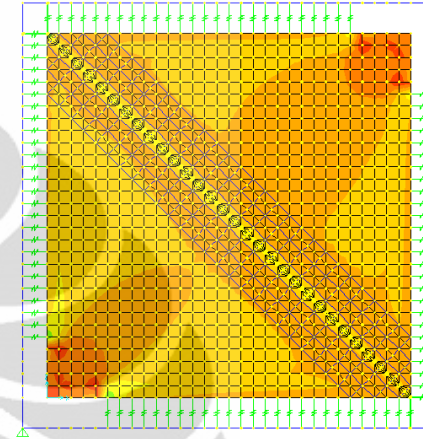
Gambar A2. 32 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,2 P_{putus}$ Kawat-Unlink 2



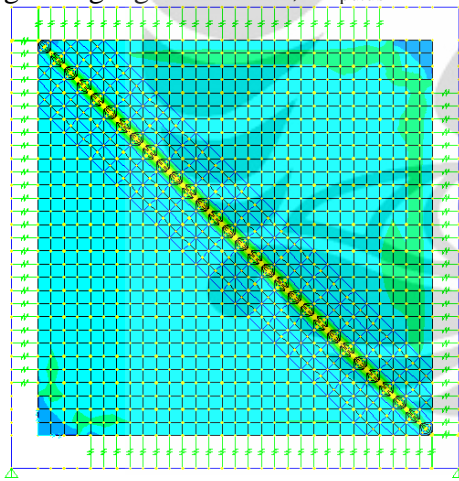
Gambar A2. 34 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,2 P_{putus}$ Kawat-Unlink 3



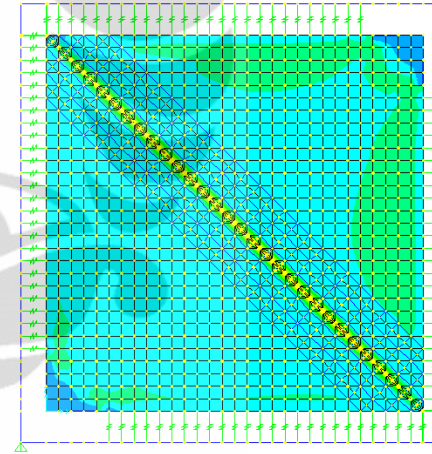
Gambar A2. 35 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 4



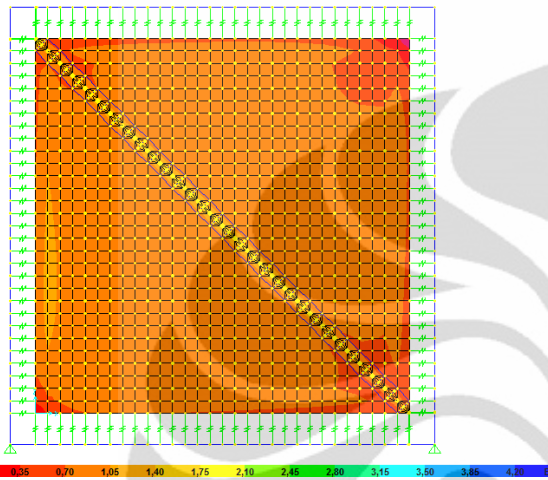
Gambar A2. 37 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 5



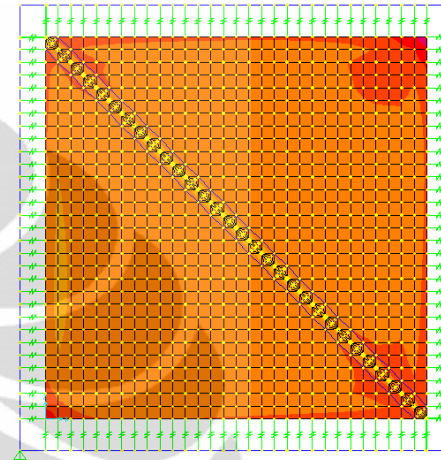
Gambar A2. 36 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 4



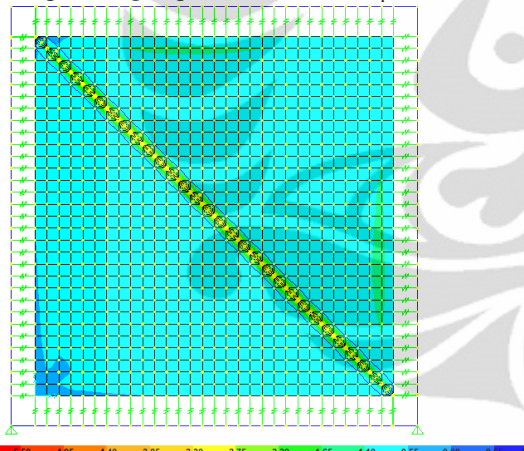
Gambar A2. 38 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat-Unlink 5



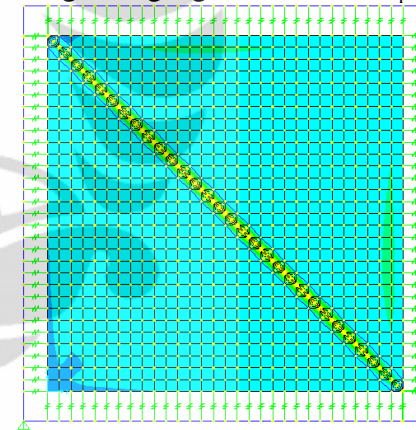
Gambar A2. 39 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,4 P_{\text{putus}}$ Kawat



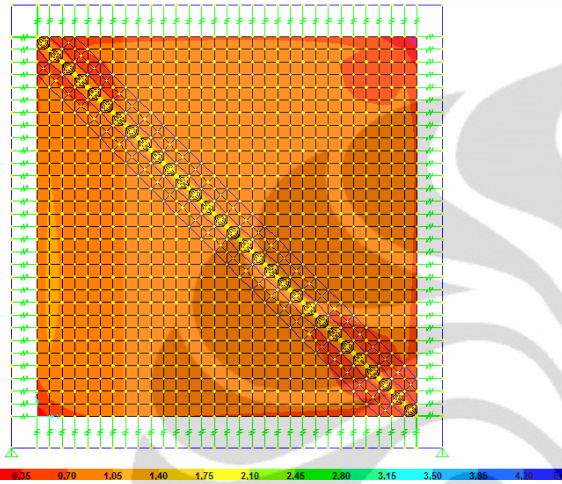
Gambar A2. 41 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,6 P_{\text{putus}}$ Kawat



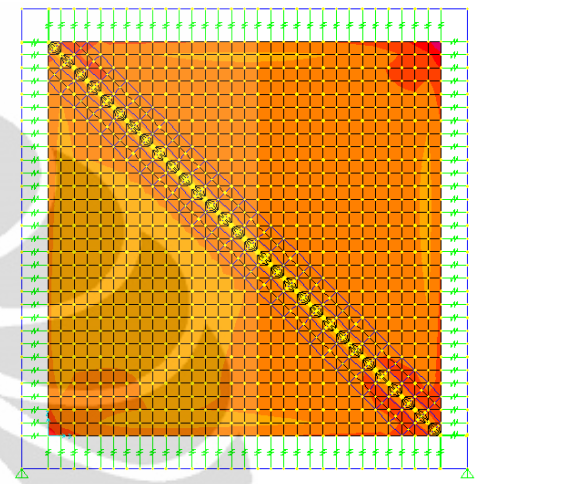
Gambar A2. 40 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,4 P_{\text{putus}}$ Kawat



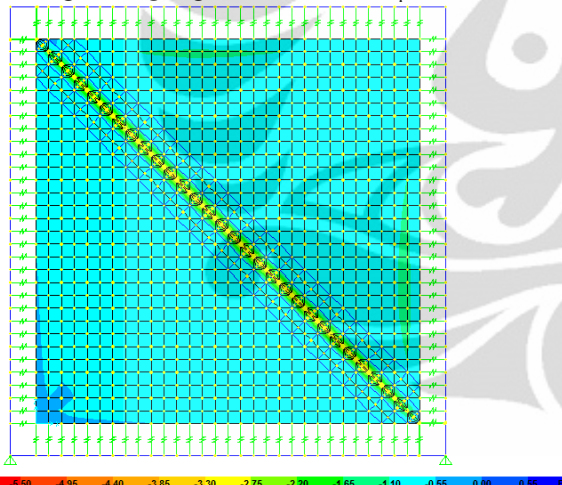
Gambar A2. 42 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,6 P_{\text{putus}}$ Kawat



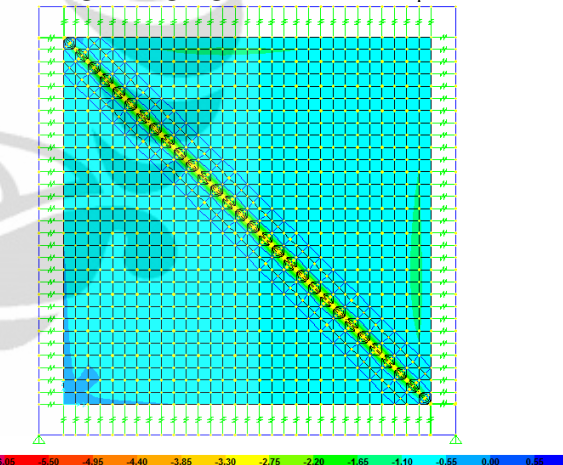
Gambar A2. 43 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,4 P_{putus} Kawat



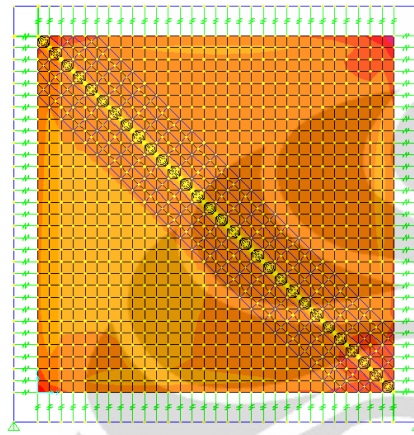
Gambar A2. 45 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,6 P_{putus} Kawat



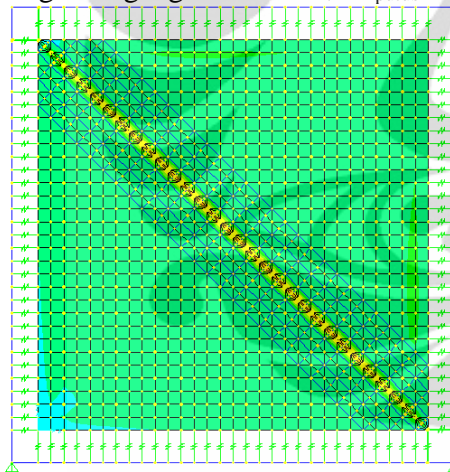
Gambar A2. 44 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,4 P_{putus} Kawat



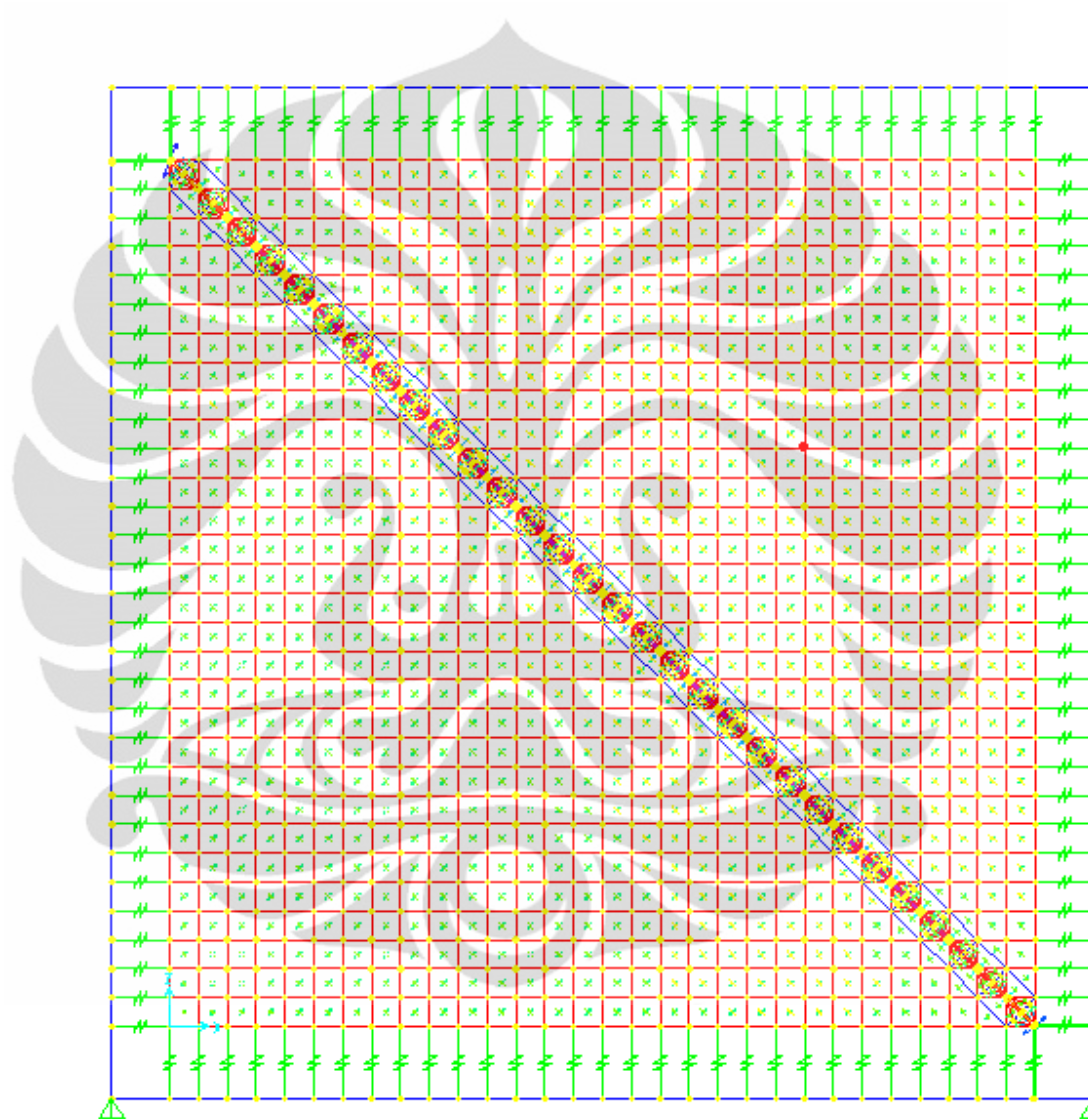
Gambar A2. 46 Tegangan Minimum 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,6 P_{putus} Kawat



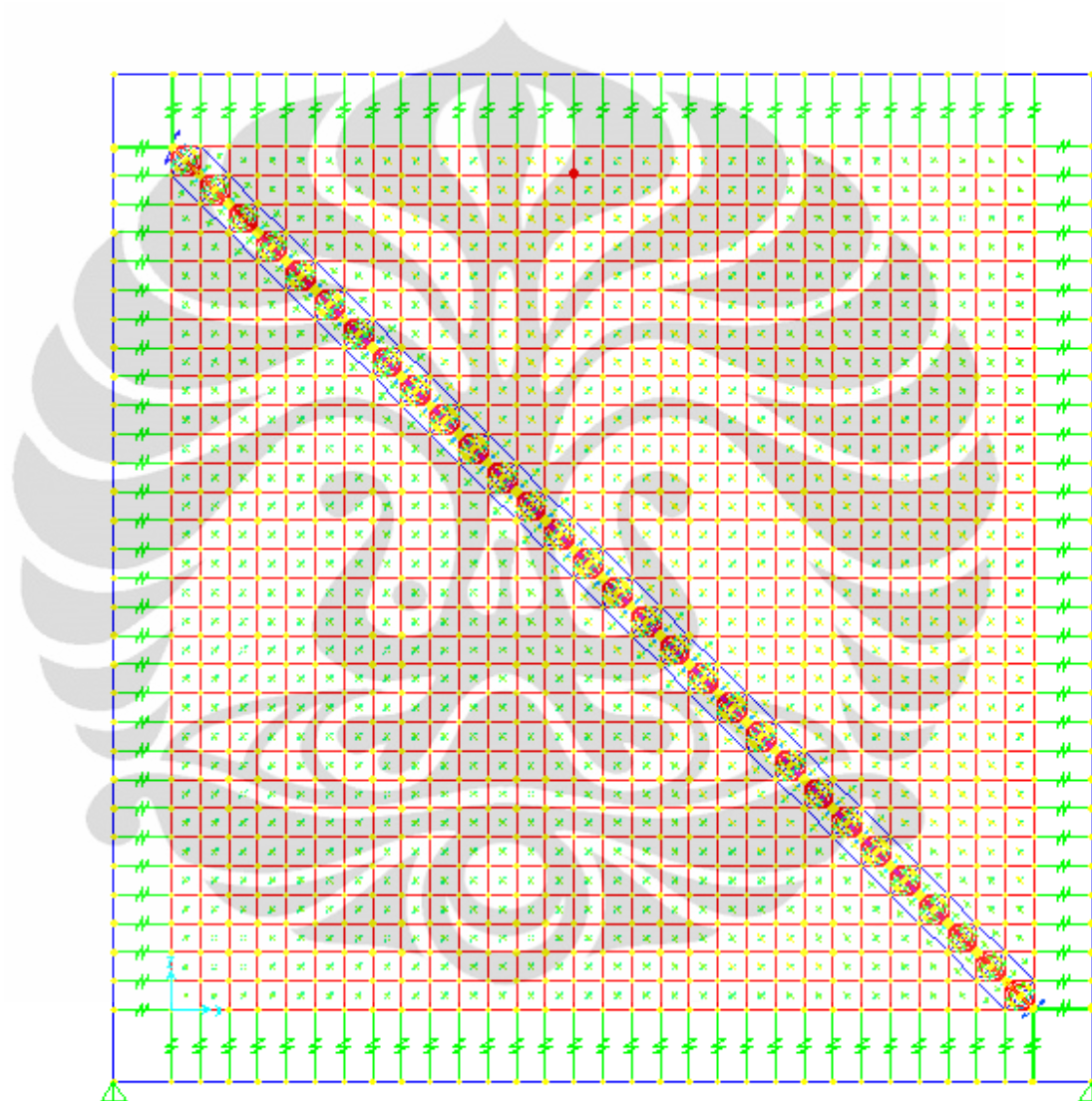
Gambar A2. 47 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5
Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,4 P_{\text{putus}}$ Kawat



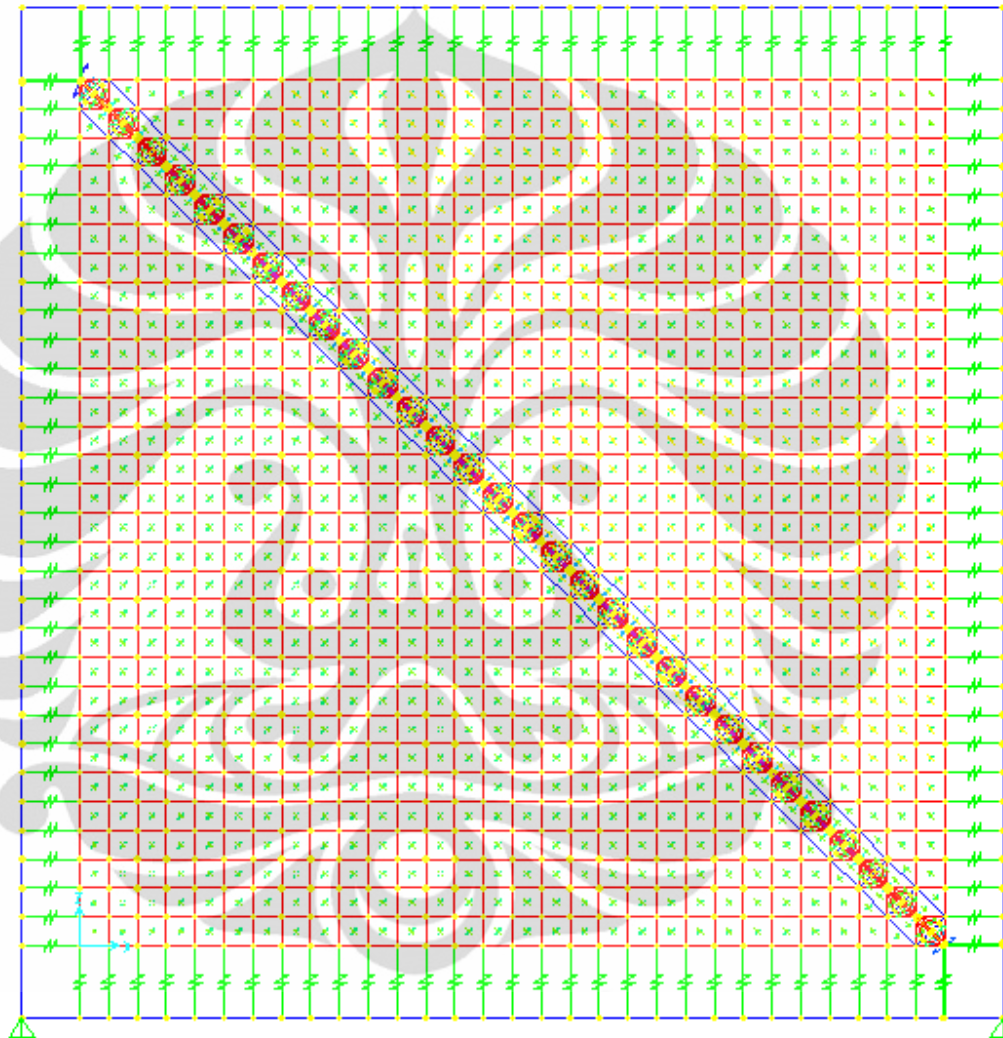
Gambar A2. 48 Tegangan Maksimum 1 Bay-1 Story 5
Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,6 P_{\text{putus}}$ Kawat



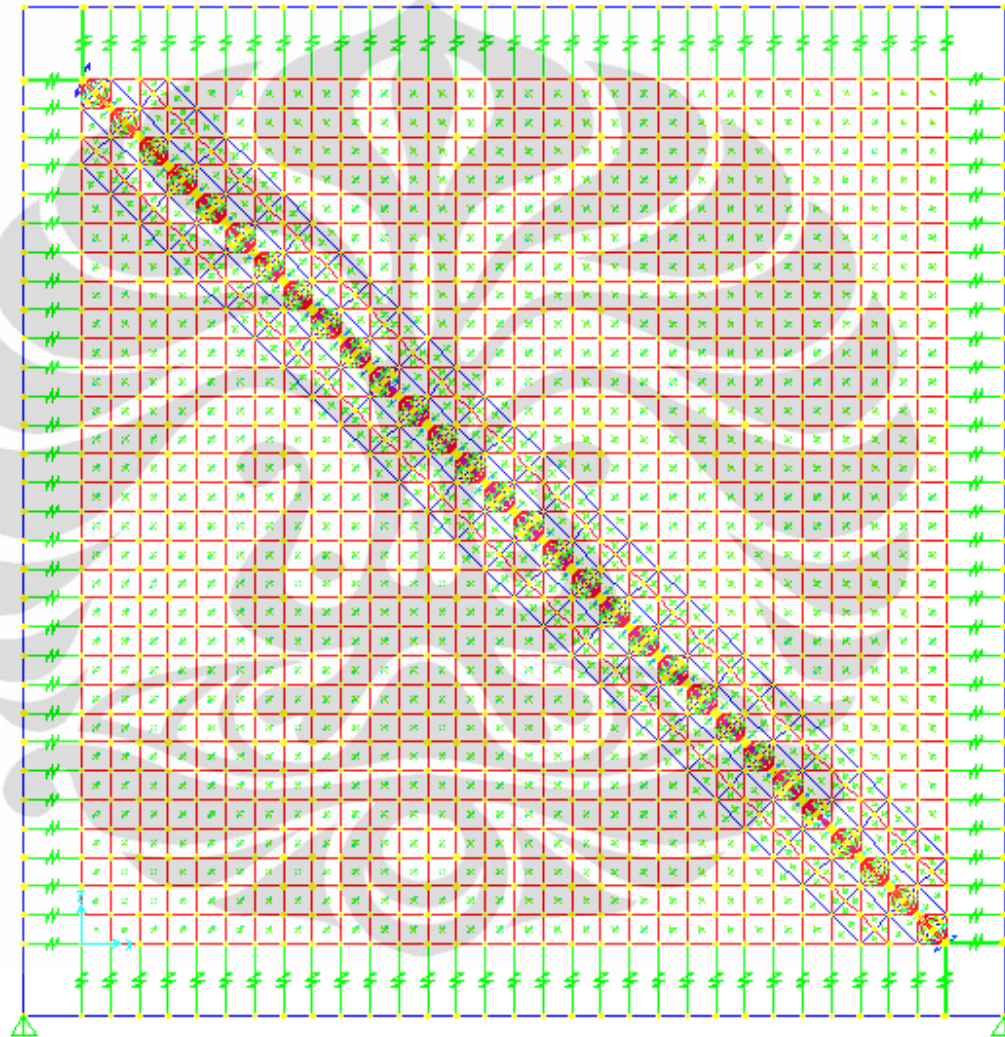
Gambar A2. 49 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat



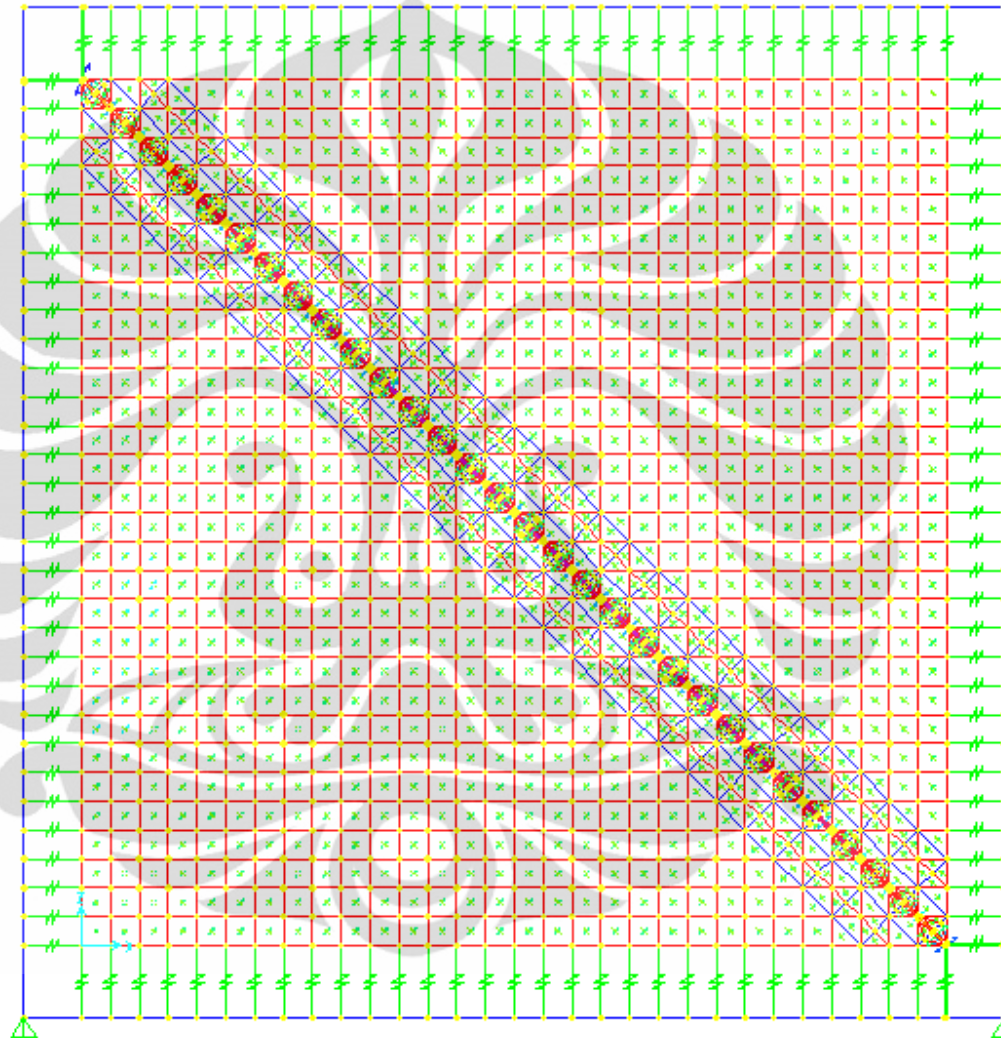
Gambar A2. 50 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,4 P_{putus} Kawat



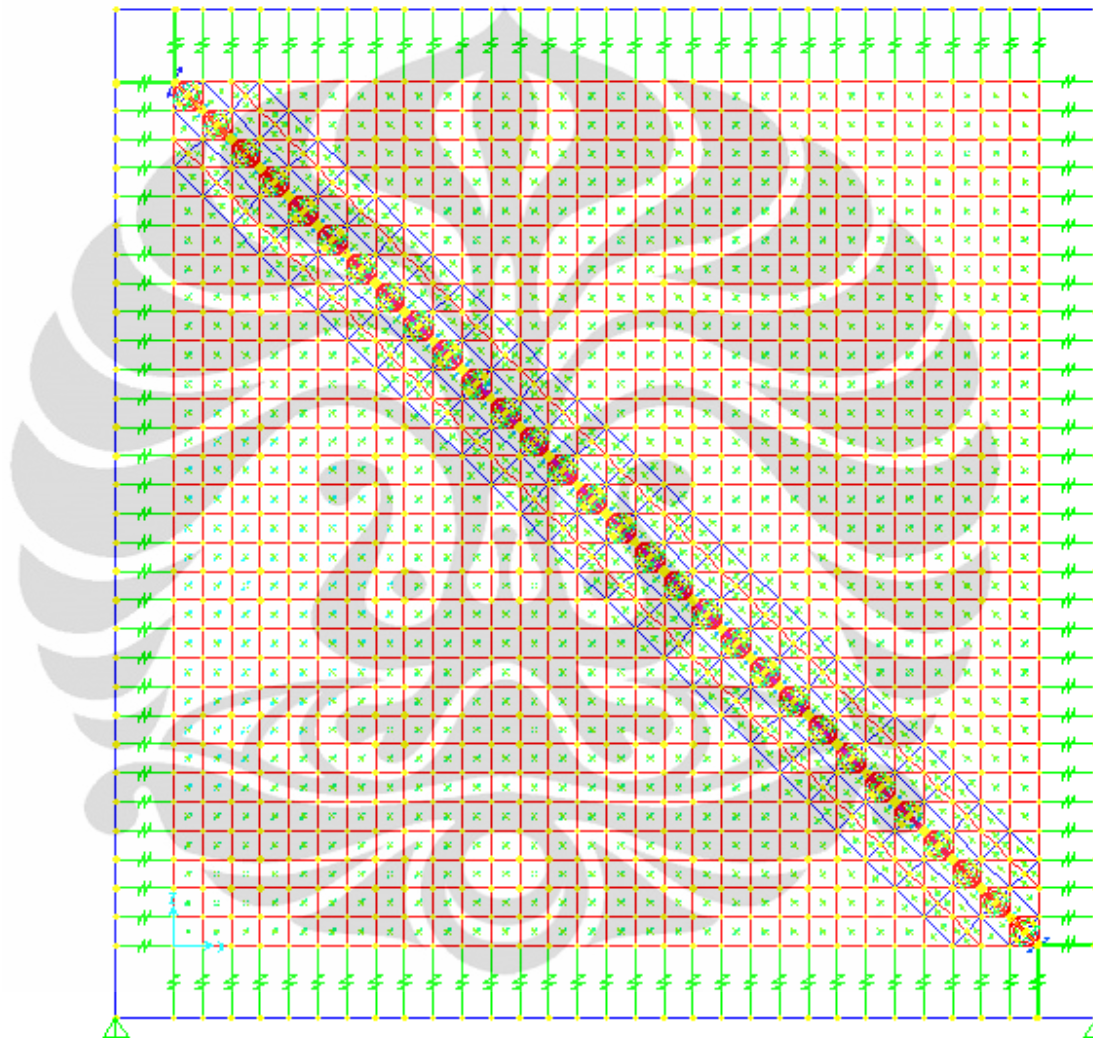
Gambar A2. 51 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 1 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,6 P_{putus} Kawat



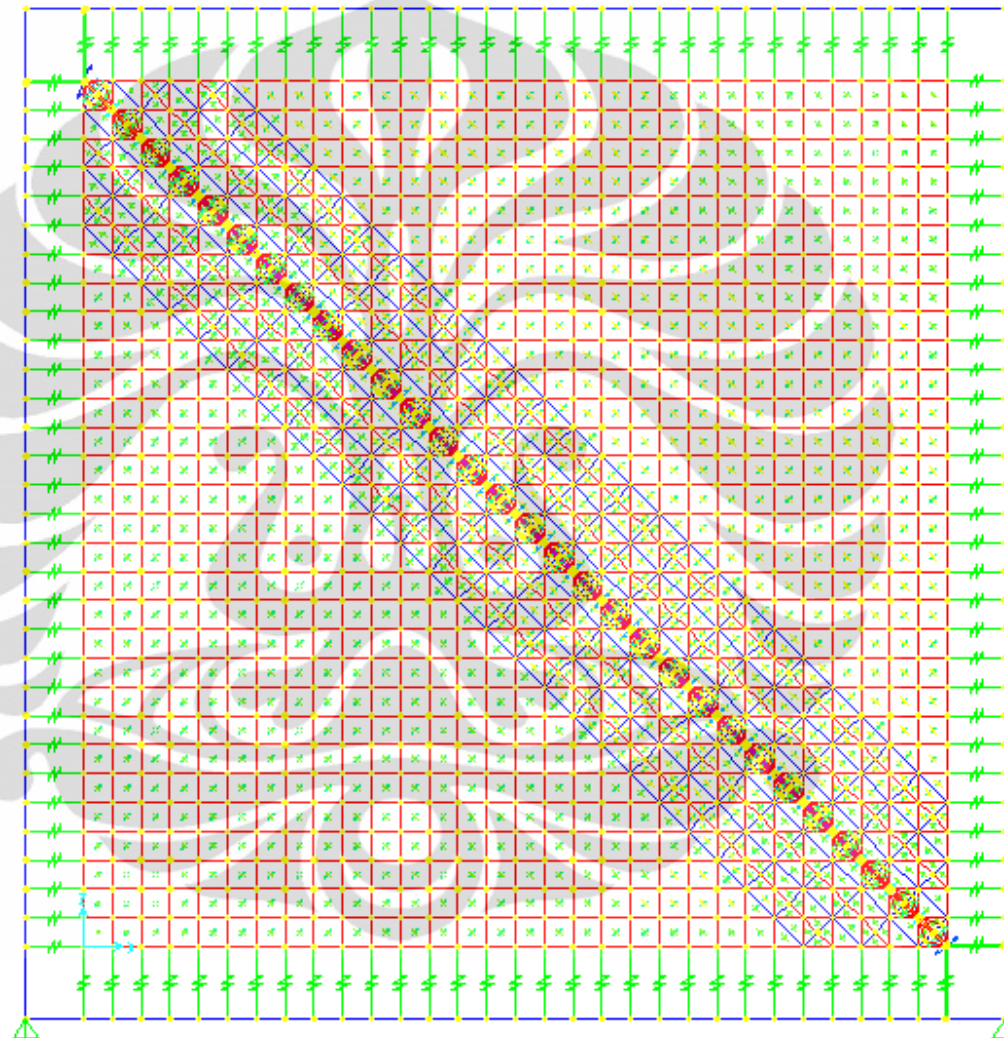
Gambar A2. 52 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,2 P_{\text{putus}}$ Kawat



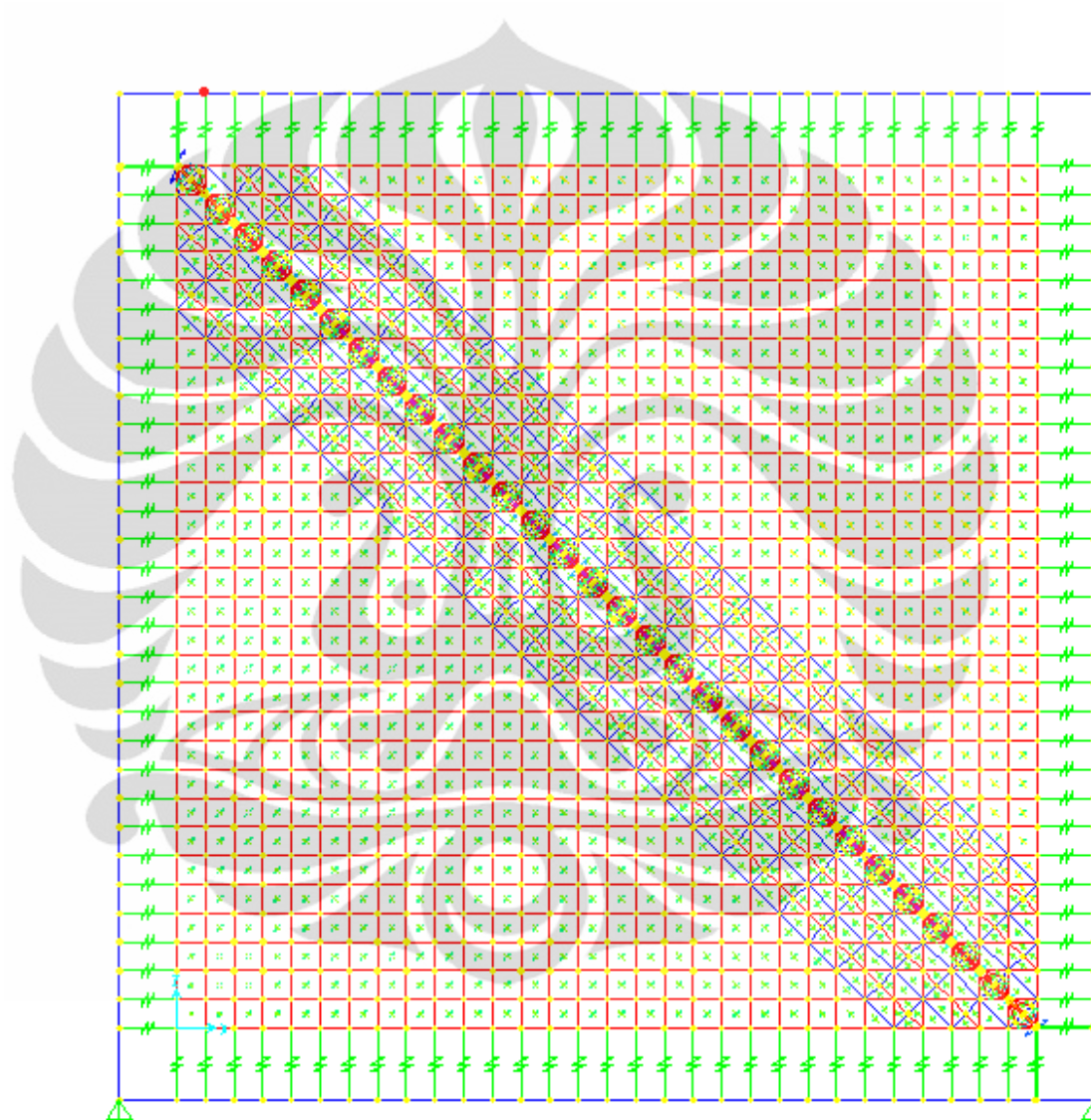
Gambar A2. 53 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,4 P_{\text{putus}}$ Kawat



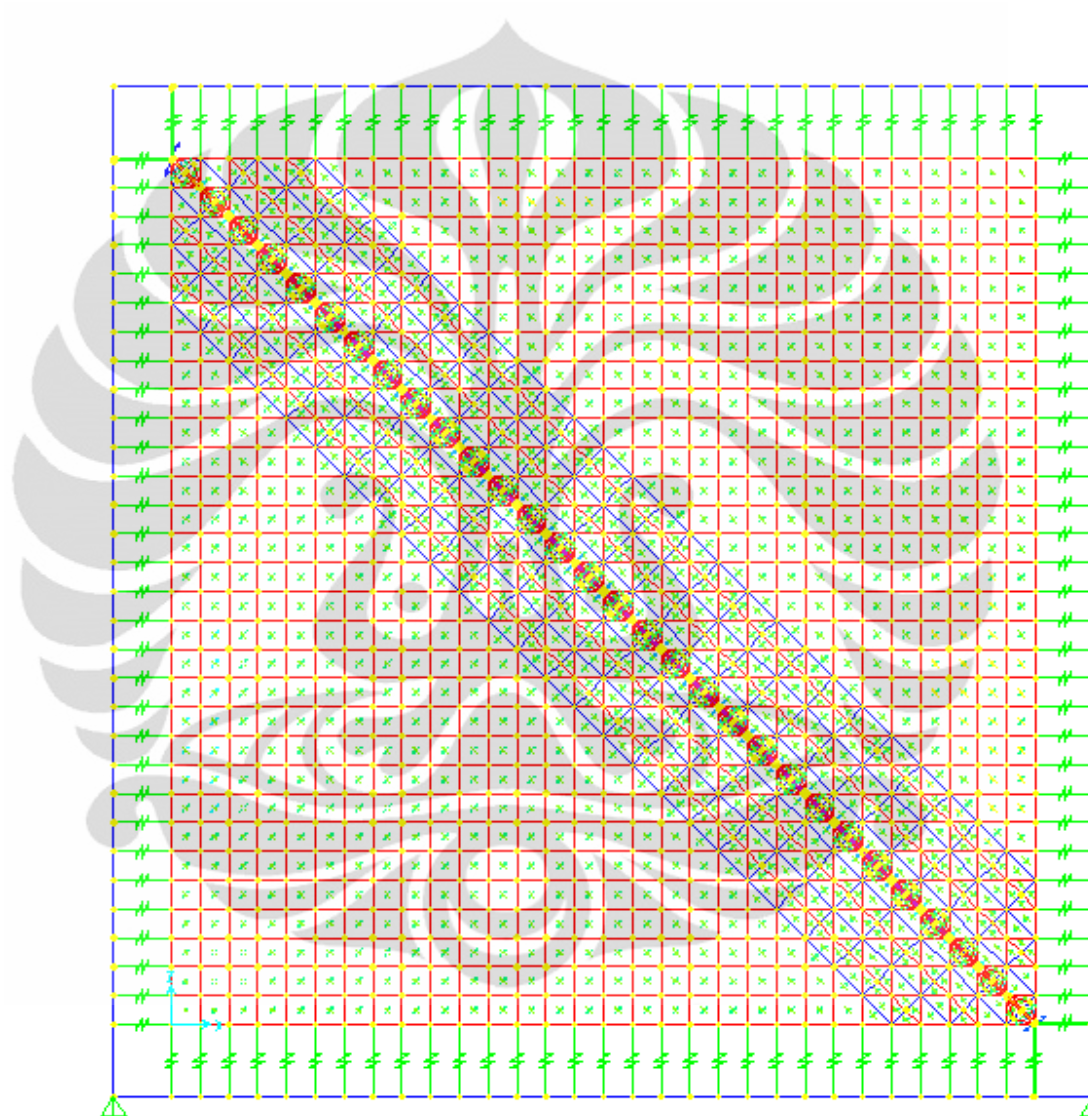
Gambar A2. 54 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 3 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,6 P_{\text{putus}}$ Kawat



Gambar A2. 55 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat 0,2 P_{putus} Kawat

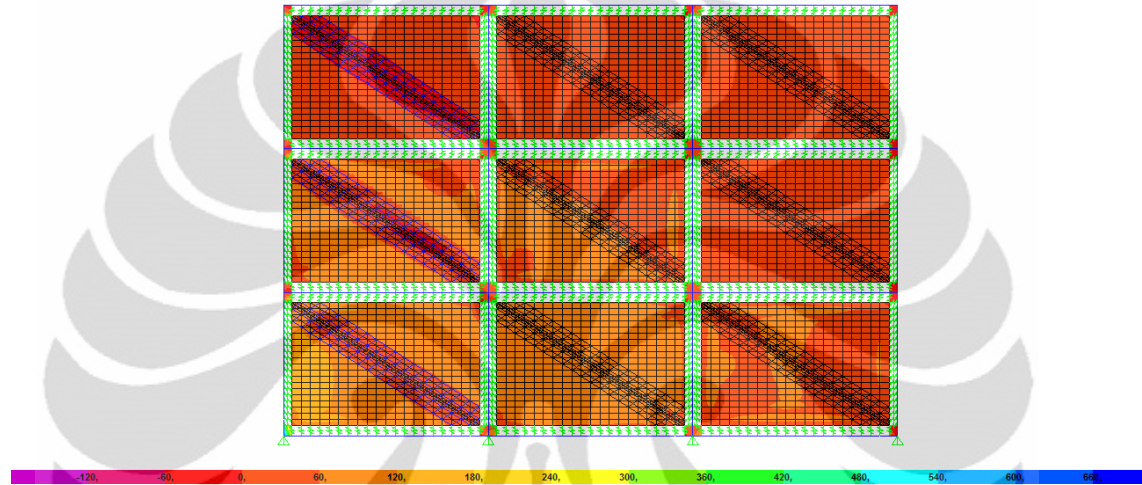


Gambar A2. 56 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,4 P_{\text{putus}}$ Kawat

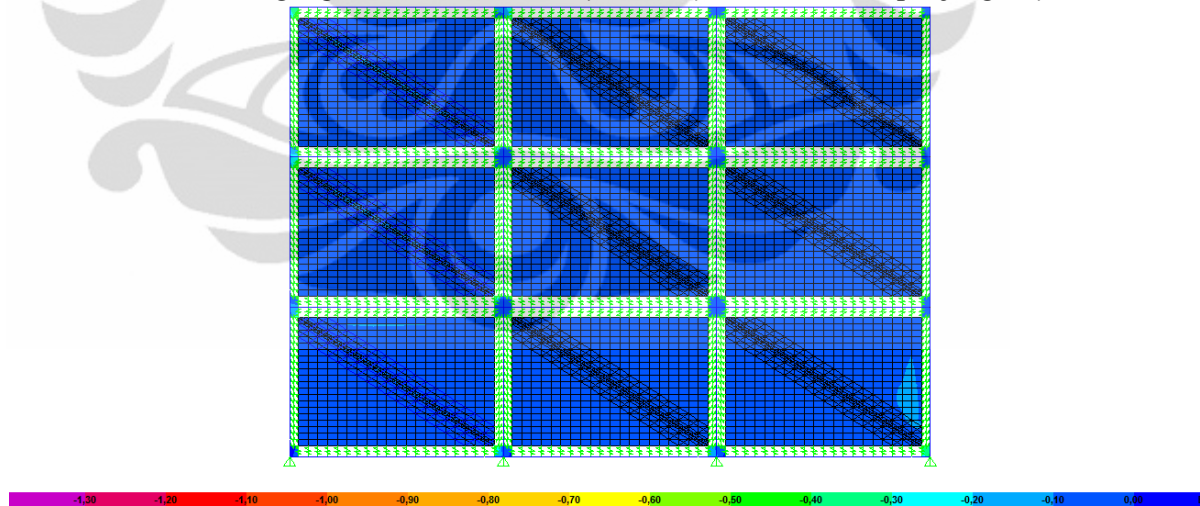


Gambar A2. 57 Vektor Tegangan 1 Bay-1 Story 5 Grid Kawat Dengan Tegangan Kawat $0,6 P_{\text{putus}}$ Kawat

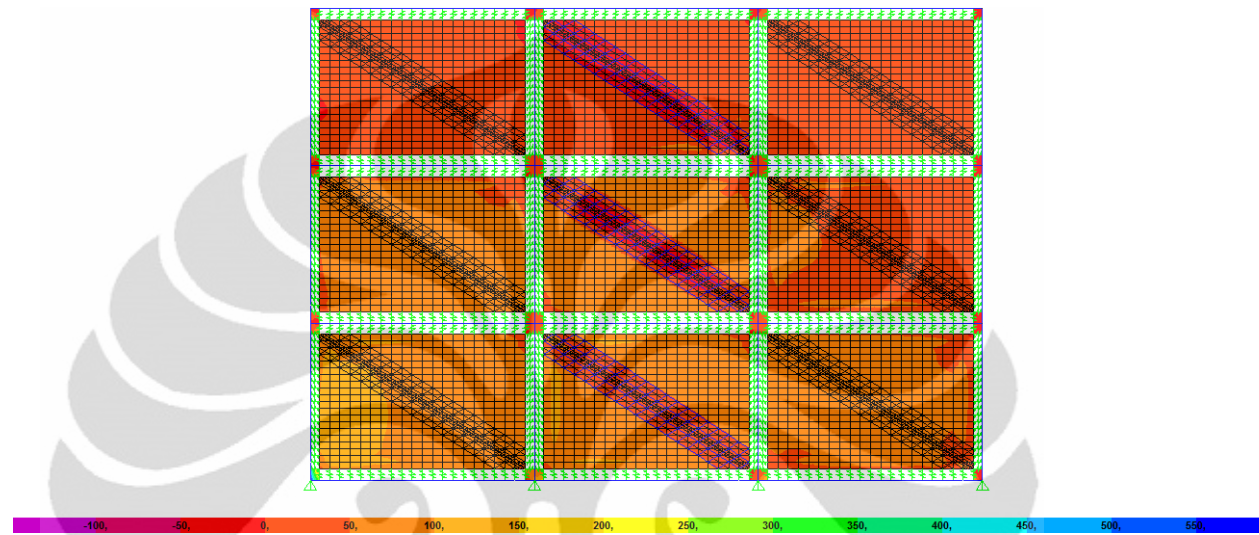
Lampiran 3 Kontur Dan Vektor Tegangan 3 Bay- 3 Story



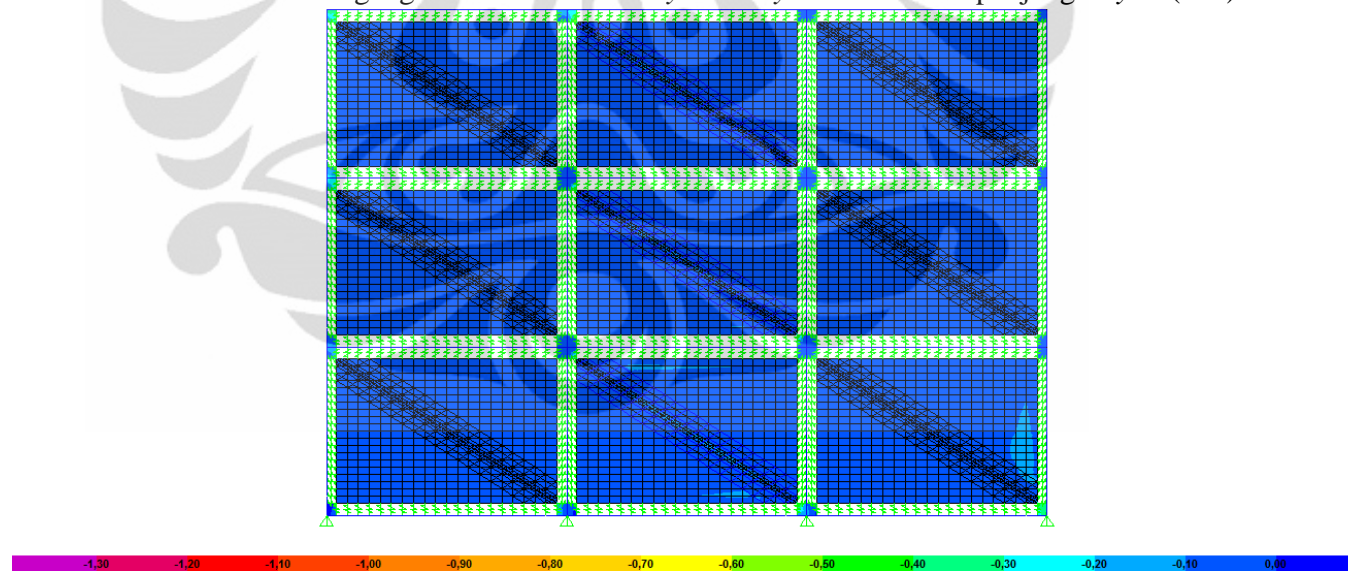
Gambar A3. 58 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 1 (K1)



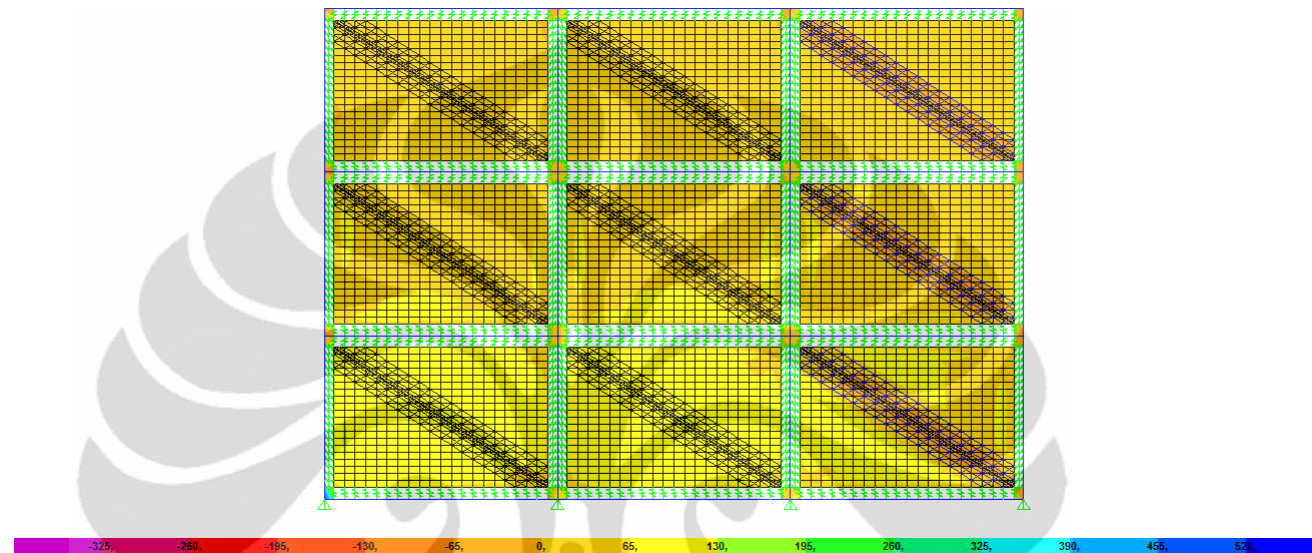
Gambar A3. 59 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 1 (K1)



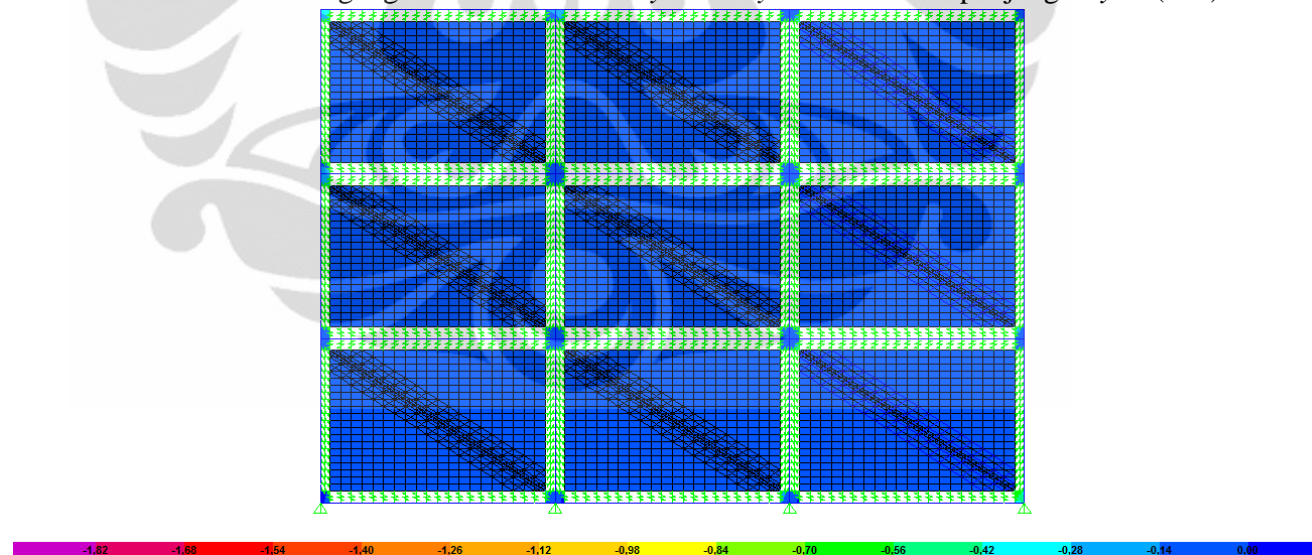
Gambar A3. 60 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 2 (K2)



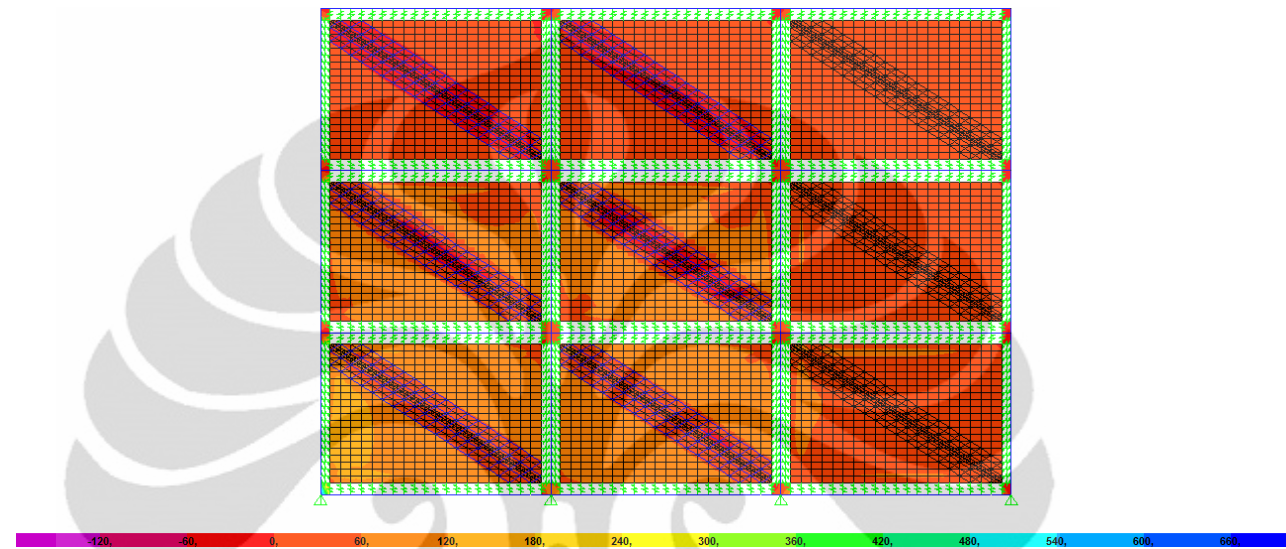
Gambar A3. 61 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 2 (K2)



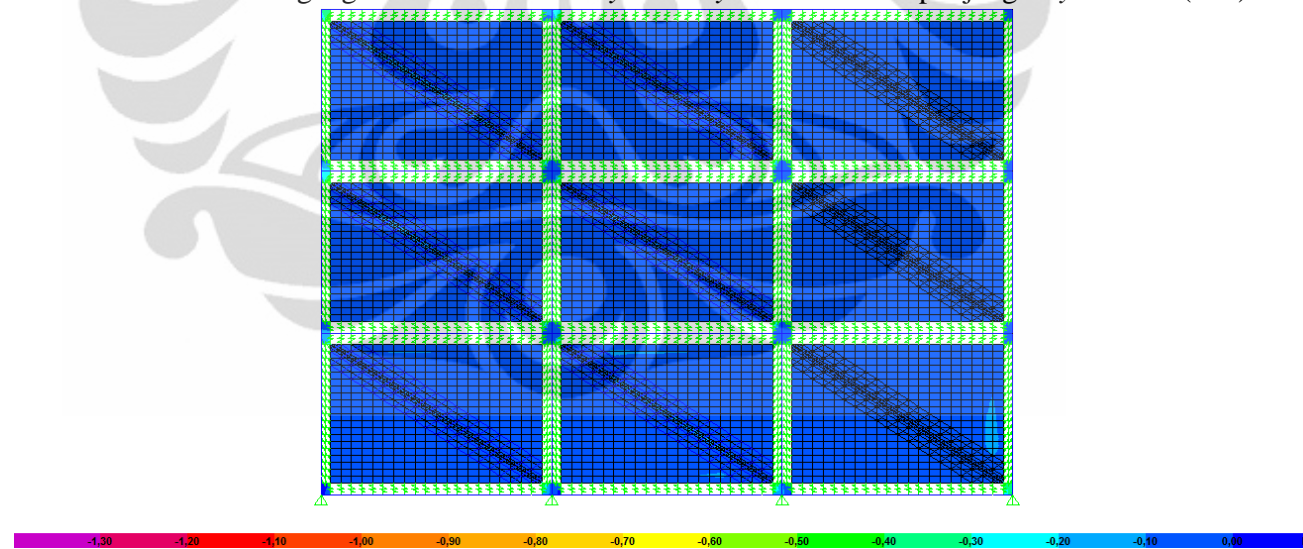
Gambar A3. 62 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 3 (K3)



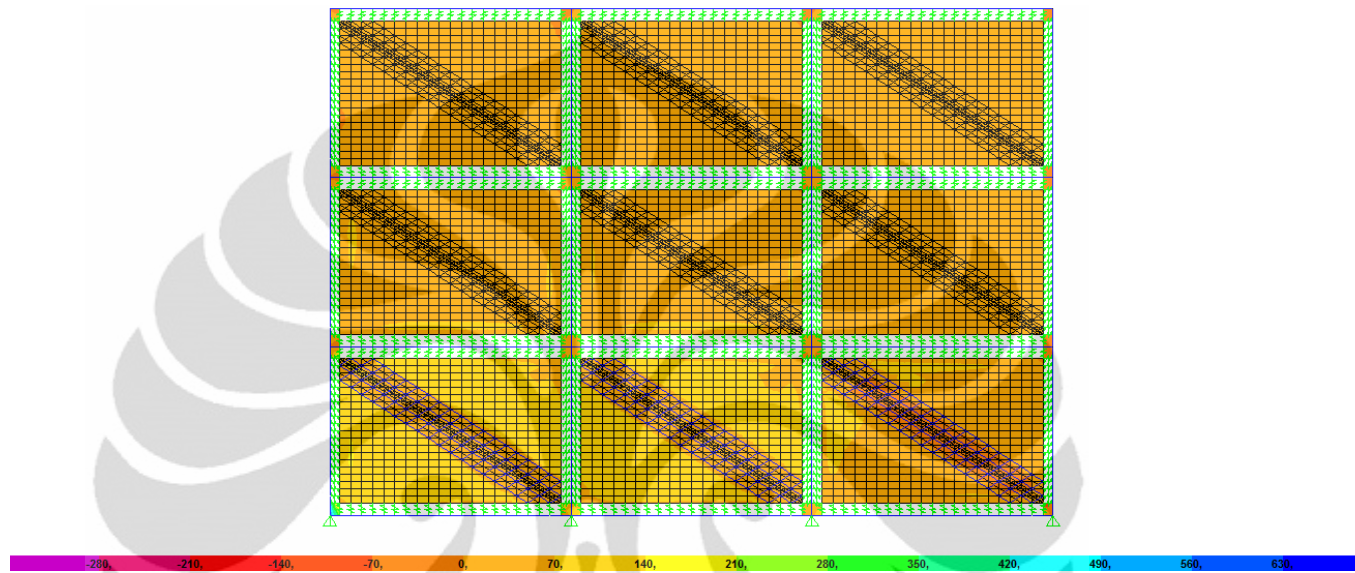
Gambar A3. 63 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 3 (K3)



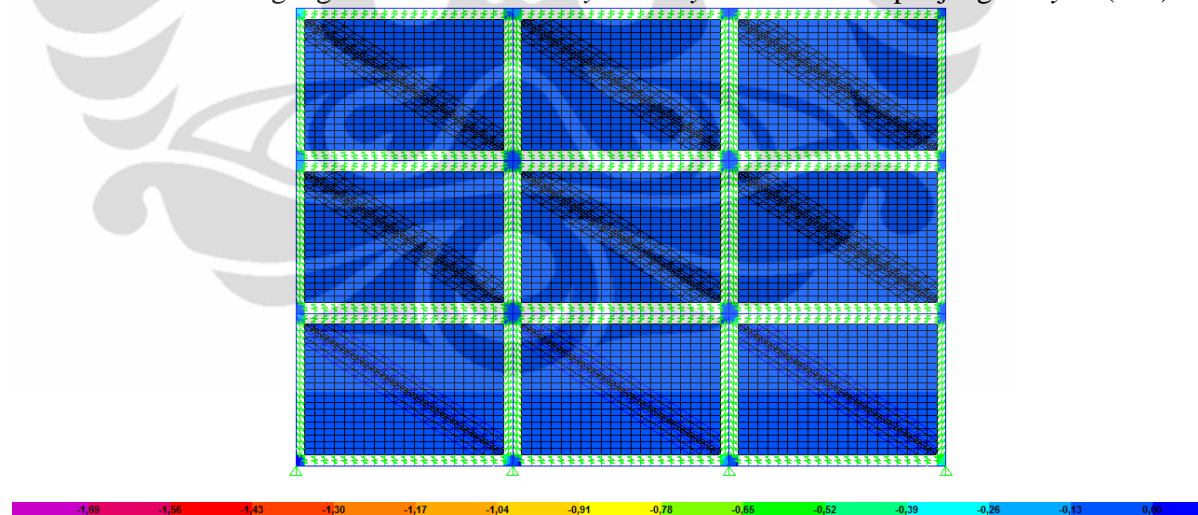
Gambar A3. 64 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay1 dan 2 (K4)



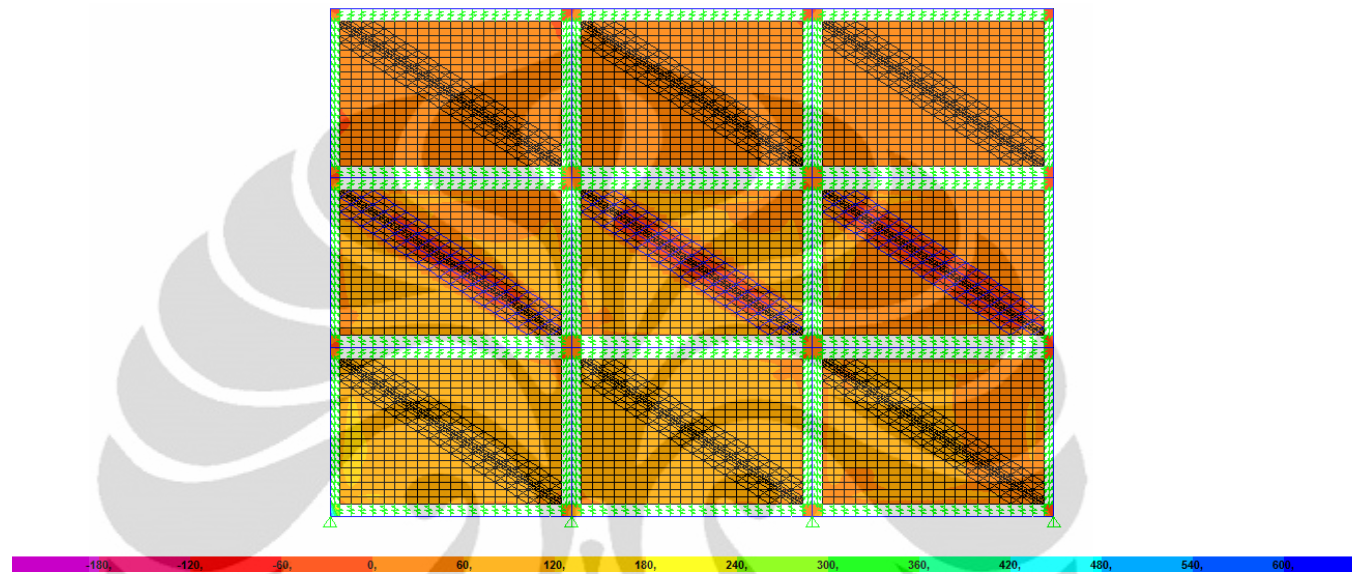
Gambar A3. 65 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Bay 1 dan 2 (K4)



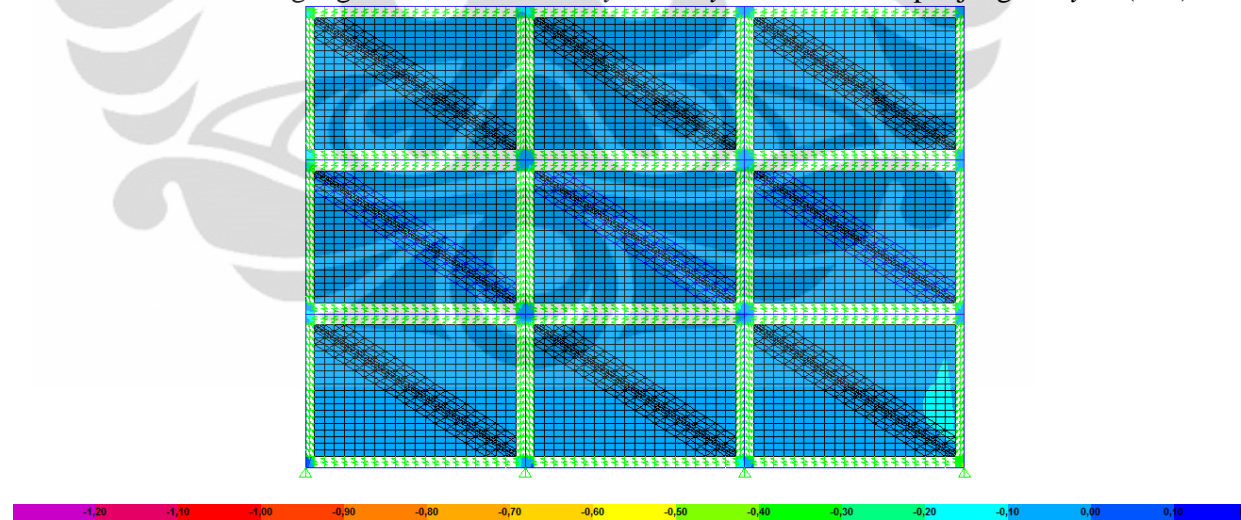
Gambar A3. 66 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 1 (K5)



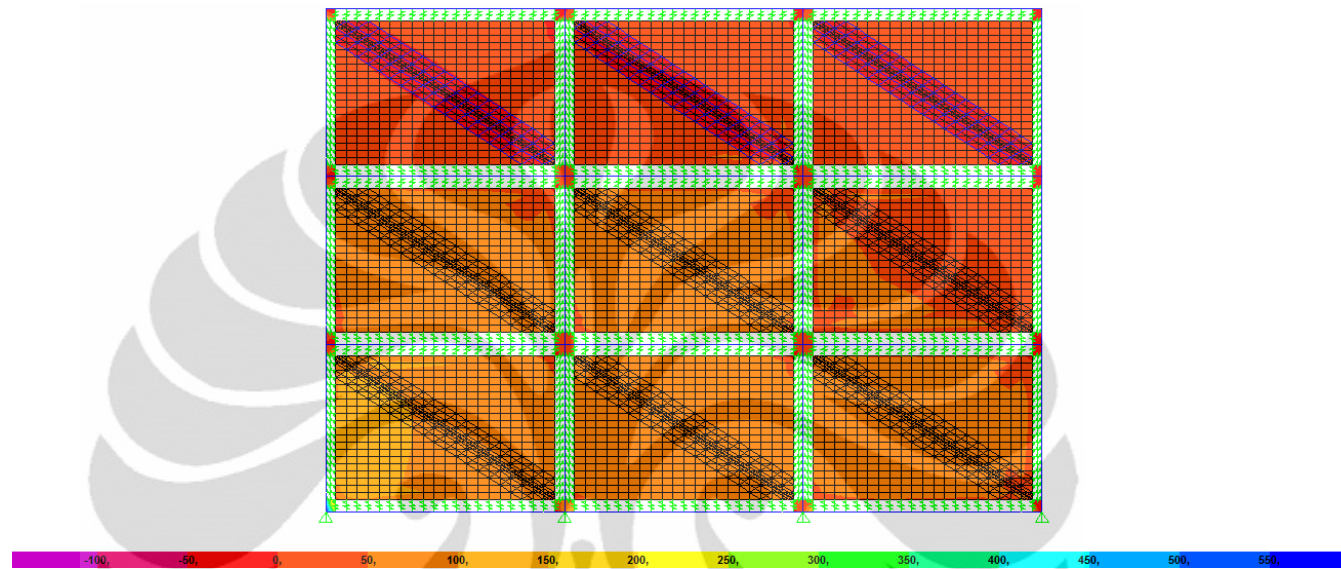
Gambar A3. 67 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 1 (K5)



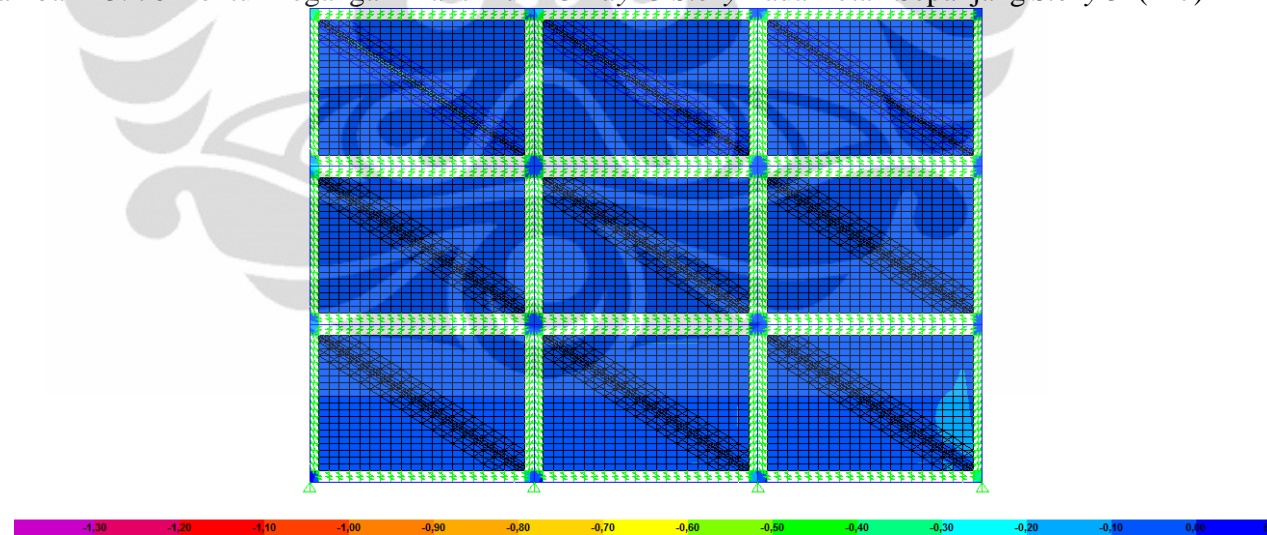
Gambar A3. 68 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 2 (K6)



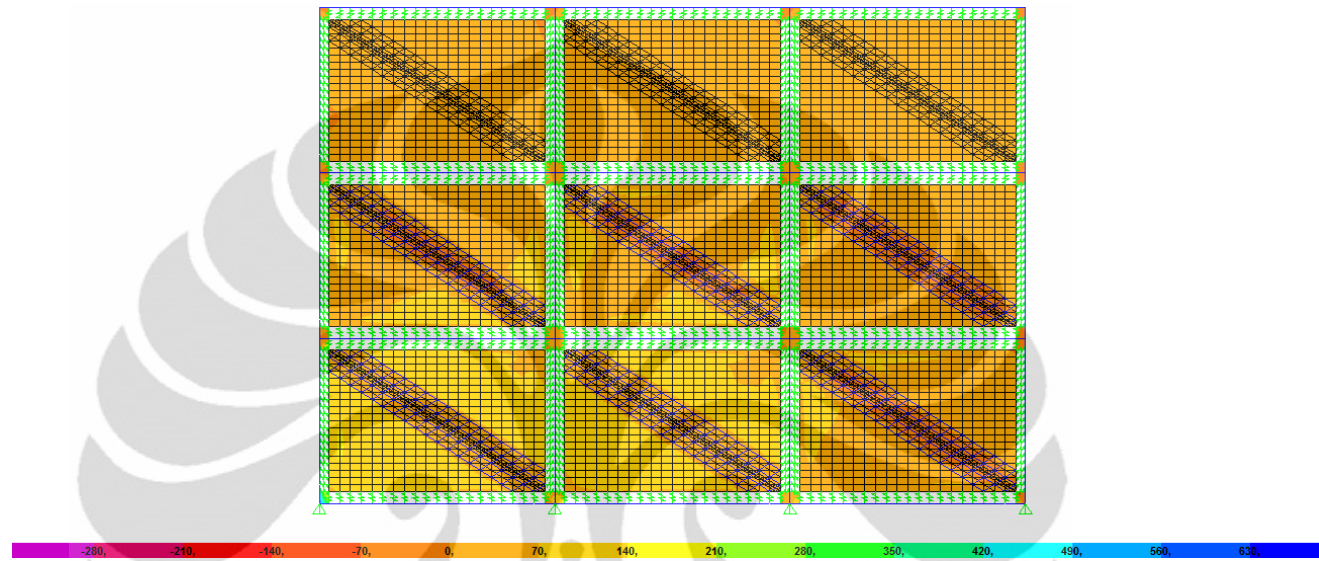
Gambar A3. 69 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 2 (K6)



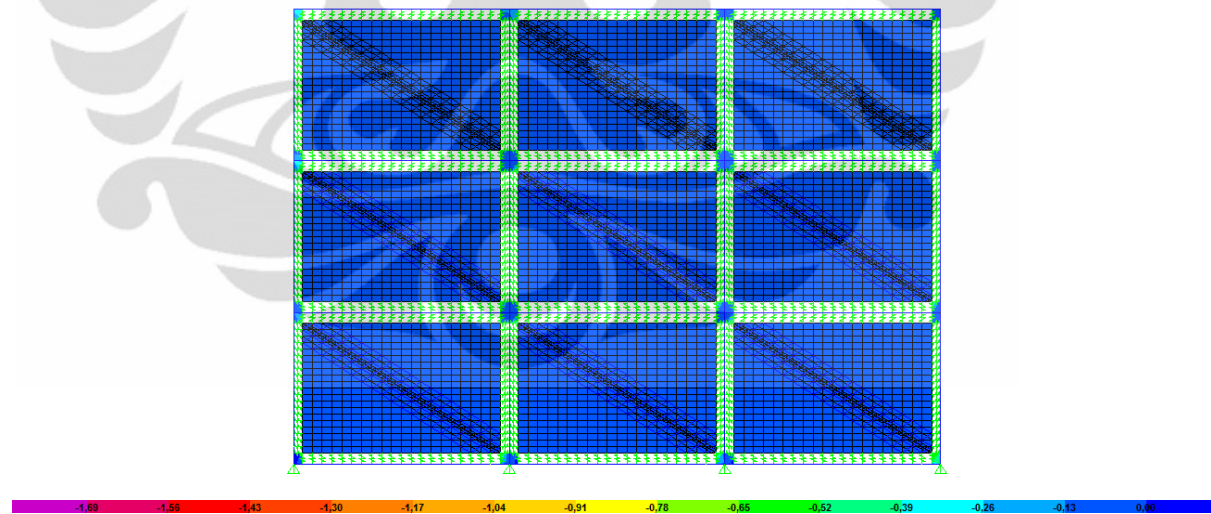
Gambar A3. 70 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 3 (K7)



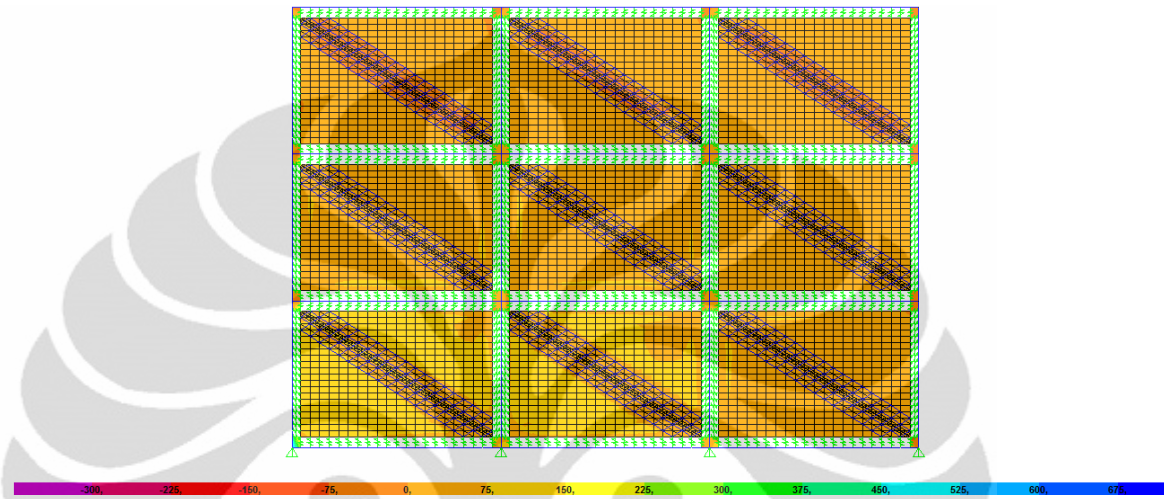
Gambar A3. 71 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 3 (K7)



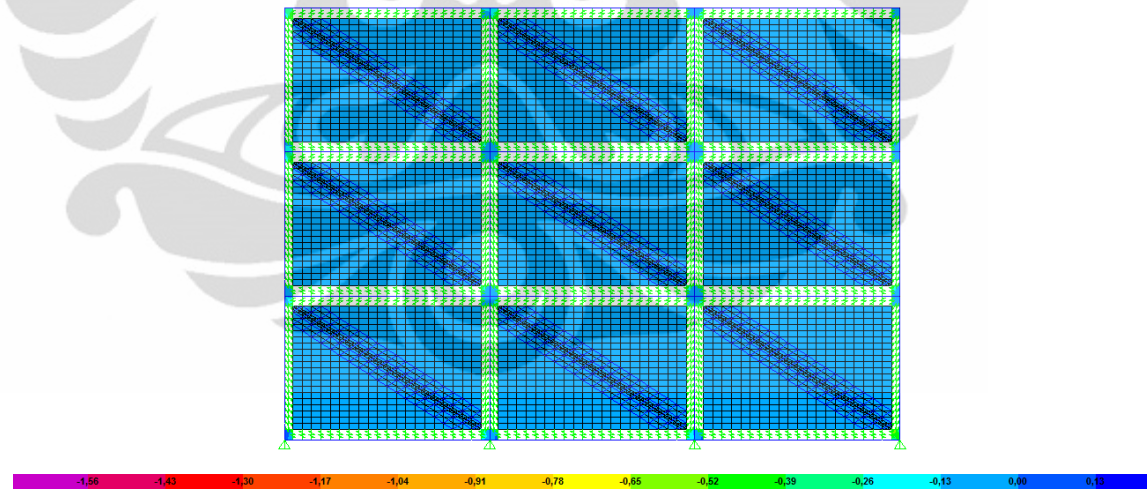
Gambar A3. 72 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 1 dan 2 (K8)



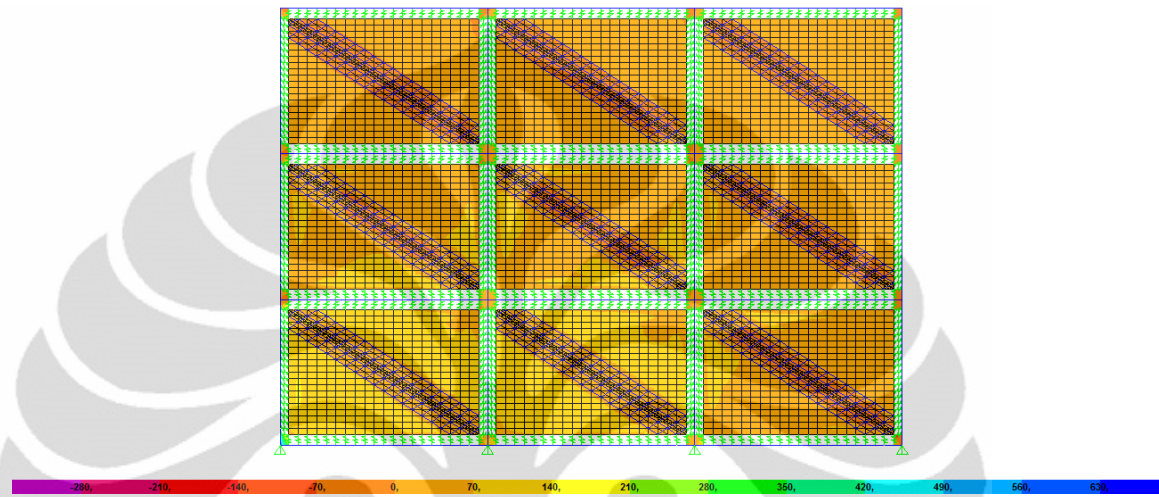
Gambar A3. 73 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Sepanjang Story 1 dan 2 (K8)



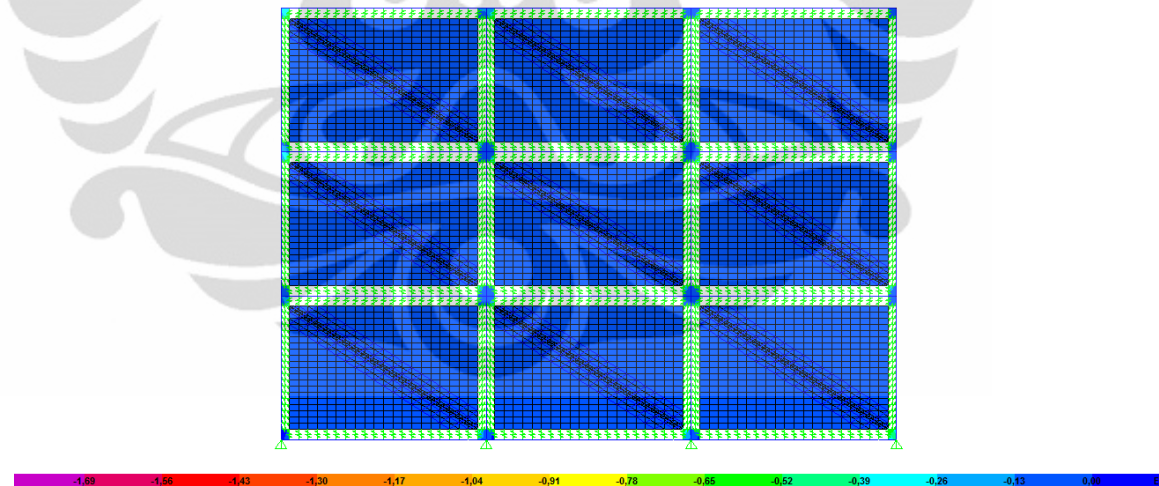
Gambar A3. 74 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,2P_{\text{putus}} (K9)$



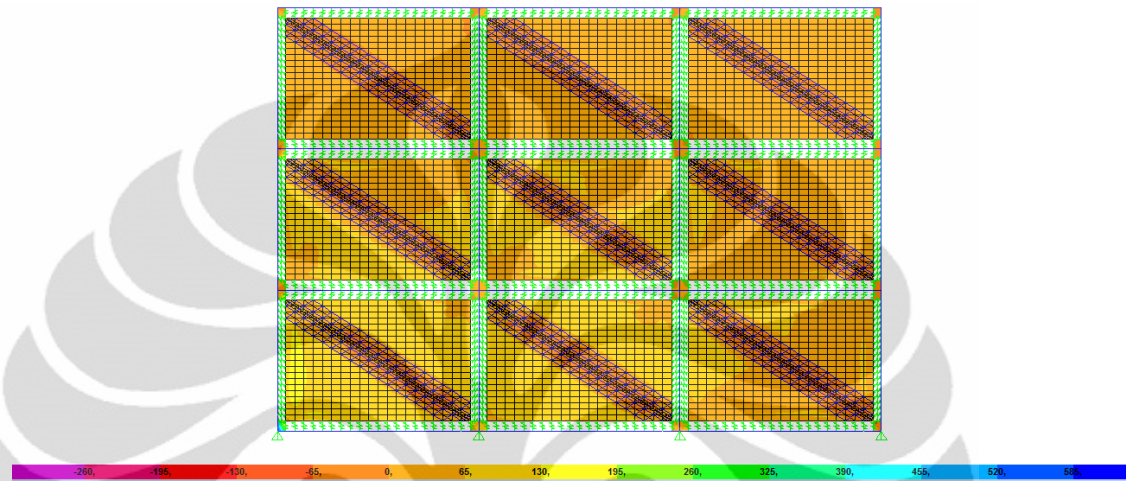
Gambar A3. 75 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,2P_{\text{putus}} (K9)$



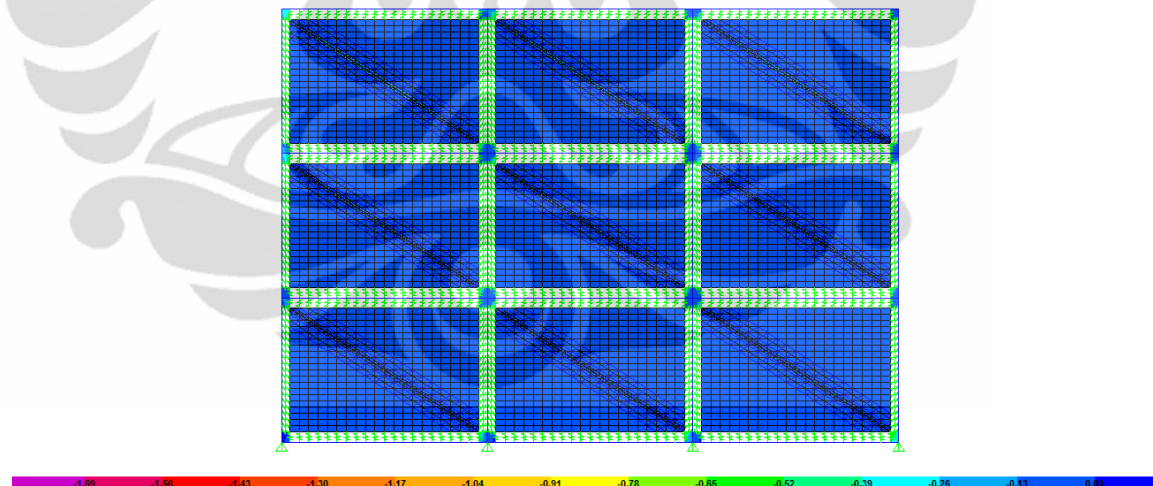
Gambar A3. 76 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,4P_{\text{putus}}$ (K10)



Gambar A3. 77 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,4P_{\text{putus}}$ (K10)



Gambar A3. 78 Kontur Tegangan Maksimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,6P_{\text{putus}} (K10)$



Gambar A3. 79 Kontur Tegangan Minimum 3 Bay- 3 Story Pada Retak Seluruh Panel Dengan Tegangan Kawat Sebesar $0,6P_{\text{putus}} (K10)$