

**PERBANDINGAN KEKUATAN DINDING BATA KEDIRI DAN
TULUNGAGUNG UNTUK RUMAH DUA LANTAI
TERHADAP GEMPA**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**JOVAN LUKE RAHARJO
NIM. 145060100111022**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN KEKUATAN DINDING BATA KEDIRI DAN TULUNGAGUNG UNTUK RUMAH DUA LANTAI TERHADAP GEMPA

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



JOVAN LUKE RAHARJO

NIM. 145060100111022

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 16 Mei 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT
NIP. 19751122 199903 1 003

Prof. Dr. Ir. Agoes S.M.D, MS
NIP. 19560412 198303 1 005

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :
Perbandingan Kekuatan Dinding Bata Kediri dan Tulungagung untuk Rumah Dua Lantai
terhadap Gempa

Nama Mahasiswa : Jovan Luke Raharjo
NIM : 145060100111022
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :
Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT
Dosen Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Agoes S.M.D, MS

Tanggal Ujian : 3 Mei 2018
SK Penguji : 875/UN10. F07/PP/2018

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 16 Mei 2018

Jovan Luke Raharjo

NIM. 145060100111022

**Terimakasih untuk Keluarga
Bapak dan Ibu Dosen
Teman di Kampus
Seluruh Elemen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya
Yang Selalu Saya Banggakan**

RIWAYAT HIDUP

Jovan Luke Raharjo, lahir di Malang, 29 Oktober 1996, anak kedua dari pasangan Bapak Kheng Wirahadi dan Ibu Tan Melina. Tahun 2002-2008 menempuh pendidikan di SD Taman Harapan, Malang. Tahun 2008-2011 menempuh pendidikan di SMPK Santo Yusup 1, Malang. Tahun 2011-2014 menempuh pendidikan di SMAK Santo Albertus, Malang. Tahun 2014-2018 melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Malang, Mei 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepa Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “**Perbandingan Kekuatan Dinding Bata Kediri dan Bata Tulungagung untuk Rumah Dua Lantai terhadap Gempa**”.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT selaku Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MS selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku Dosen Penasehat Akademik serta turut membantu dan memberikan saran kepada saya dalam menyusun skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Dr. Eng. Indradi Wijatmiko ST., M. Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil yang telah membantu dalam kelancaran skripsi ini.
6. Bapak Ibu Dosen dan Staff Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan pada skripsi ini
7. Keluarga yang telah mendukung dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Florencia Devina Wirawan, Kevin Rxy, Bella, Sandra, Andreas Lucky, Reynaldo, Nico Natanael, Claudia, Nadia, dan Archi ssebagai teman SMA dan teman-teman KMBM yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam pengerjaan skripsi ini sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
9. Tim Skripsi yang terdiri dari Archi, Aditya, Santi, Fajrina, Mia, dan Naadiyah.
10. Dan teman-teman 2014 serta pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Dengan segala keterbatasan kemampuan penulis sebagai manusia biasa, skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan untuk ksempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Sadhu, Sadhu, Sadhu.

Malang, April 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gempa.....	5
2.2 Struktur.....	6
2.2.1 Struktur penahan gempa.....	7
2.2.2 Dinding geser berlubang.....	7
2.2.3 Optimasi desain struktur.....	8
2.2.4 Konsep perencanaan bangunan tahan gempa.....	9
2.3 Batu Bata.....	11
2.3.1 Dimensi batu bata merah.....	11
2.3.2 Absorpsi batu bata merah.....	12
2.3.3 Rasio Poisson batu bata merah.....	12
2.3.4 Massa jenis batu bata merah.....	12
2.3.5 Kuat tekan dan regangan batu bata merah.....	13
2.3.6 Tegangan geser batu bata merah.....	14
2.3.7 Modulus elastisitas batu bata merah.....	14
2.3.8 Modulus geser batu bata merah.....	15
2.4 Mortar.....	15
2.5 <i>Confined Masonry Building</i>	16
2.6 Analisa Seismik.....	19
2.6.1 Analisis spektrum respons.....	19
2.6.2 Analisis MDOF.....	21
2.7 Kekakuan Dinding.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Jenis Penelitian.....	27
3.2 Model Rumah.....	27
3.3 Persiapan Data Material.....	29
3.3.1 Dinding bata merah.....	29
3.3.2 Modulus elastisitas.....	29
3.3.3 Rasio Poisson.....	29

3.3.4 Massa jenis.....	30
3.3.5 Modulus geser.....	30
3.3.6 Dimensi elemen struktur.....	30
3.4 Pembebanan.....	31
3.4.1 Beban mati.....	31
3.4.2 Beban hidup.....	31
3.4.3 Beban gempa rencana.....	31
3.4.4 Kombinasi pembebanan.....	33
3.5 Prosedur Analisis.....	33
3.6 Diagram Alur Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Pemodelan.....	35
4.2 Detail Elemen Struktur.....	35
4.3 Beban Bangunan.....	37
4.4 Kekakuan Dinding.....	39
4.5 Analisis Dinamik MDOF.....	41
4.5.1 Analisis dinamik Kediri.....	41
4.5.2 Analisis dinamik Tulungagung.....	45
4.6 Eksentrisitas kekakuan dengan Pusat Beban.....	49
4.6.1 Eksentrisitas bata Kediri.....	50
4.6.2 Eksentrisitas bata Tulungagung.....	54
4.7 Distribusi Gaya Gempa dan Tegangan Geser.....	58
4.7.1 Distribusi gaya gempa dan tegangan geser bata Kediri.....	58
4.7.2 Distribusi gaya gempa dan tegangan geser bata Tulungagung.....	62
4.8 Hasil Analisis.....	65
4.8.1 Tegangan dinding terbesar.....	65
4.8.2 Karakteristik yang berpengaruh.....	65
BAB V PENUTUP.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Dimensi standar ukuran batu bata	11
Tabel 2.2	Karakteristik fisik batu bata	12
Tabel 2.3	Karakteristik absorpsi batu bata	12
Tabel 2.4	Nilai rasio Poisson batu bata	12
Tabel 2.5	Nilai massa jenis batu bata	12
Tabel 2.6	Nilai berat jenis pasangan batu bata	13
Tabel 2.7	Tegangan dan regangan batu bata	13
Tabel 2.8	Tegangan geser batu bata	14
Tabel 2.9	Modulus elastisitas batu bata	14
Tabel 2.10	Modulus geser batu bata	15
Tabel 2.11	Tegangan mortar	16
Tabel 2.12	Parameter-parameter respons spektral percepatan Kota Blitar pada tanah sedang	20
Tabel 2.13	Hubungan spektral percepatan dan waktu pada tanah sedang	20
Tabel 2.14	Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung	22
Tabel 2.15	Faktor keutamaan gempa	24
Tabel 2.16	Koefisien seismik untuk struktur non gempa tidak serupa gedung	24
Tabel 3.1	Dimensi batu bata	29
Tabel 3.2	Modulus elastisitas batu bata	29
Tabel 3.3	Nilai rasio Poisson batu bata	30
Tabel 3.4	Nilai berat jenis pasangan bata	30
Tabel 3.5	Modulus geser batu bata	30
Tabel 3.6	Dimensi elemen struktur	30
Tabel 3.7	Beban mati rumah tinggal	31
Tabel 3.8	Parameter-parameter respon spektral percepatan kota blitar pada tanah sedang	32
Tabel 3.9	Hubungan spektral percepatan dan waktu pada tanah sedang	32
Tabel 4.1	Detail kolom praktis	36
Tabel 4.2	Detail balok praktis	36
Tabel 4.3	Karakteristik dinding batu bata	36
Tabel 4.4	Perhitungan beban mati portal A bata Kediri	37

Tabel 4.5	Beban bata Kediri	39
Tabel 4.6	Beban bata Tulungagung	39
Tabel 4.7	Beban ultimate	39
Tabel 4.8	Kekakuan bata Kediri	40
Tabel 4.9	Kekakuan bata Tulungagung	40
Tabel 4.10	Rekap kekakuan bata	41
Tabel 4.11	Perhitungan mode partisipasi faktor bata Kediri	43
Tabel 4.12	Gaya gempa pada dinding bata Kediri lantai 1	44
Tabel 4.13	Gaya gempa pada dinding bata Kediri lantai 2	45
Tabel 4.14	Gaya gempa tiap arah, lantai, dan <i>mode shape</i> bata Kediri	45
Tabel 4.15	Perhitungan mode partisipasi faktor bata Tulungagung	47
Tabel 4.16	Gaya gempa pada dinding bata Tulungagung lantai 1	48
Tabel 4.17	Gaya gempa pada dinding bata Tulungagung lantai 2	49
Tabel 4.18	Gaya gempa tiap arah, lantai, dan <i>mode shape</i> bata Tulungagung	49
Tabel 4.19	Kekakuan dinding bata Kediri lantai 1	50
Tabel 4.20	Kekakuan dinding bata Kediri lantai 2	51
Tabel 4.21	koordinat pusat kekakuan bata Kediri	51
Tabel 4.22	Beban portal bata Kediri lantai 1	52
Tabel 4.23	Beban portal bata Kediri lantai 2	52
Tabel 4.24	Koordinat pusat beban bata Kediri	53
Tabel 4.25	Eksentrisitas bata Kediri	53
Tabel 4.26	Kekakuan dinding bata Tulungagung lantai 1	55
Tabel 4.27	Kekakuan dinding bata Tulungagung lantai 2	55
Tabel 4.28	Koordinat pusat kekakuan bata Tulungagung	56
Tabel 4.29	Beban portal bata Tulungagung lantai 1	56
Tabel 4.30	Beban portal bata Tulungagung lantai 2	57
Tabel 4.31	Koordinat pusat beban bata Tulungagung	57
Tabel 4.32	Eksentrisitas bata Tulungagung	58
Tabel 4.33	Perhitungan momen bata Kediri	60
Tabel 4.34	Distribusi gaya dan tegangan bata Kediri lantai 1	60
Tabel 4.35	Distribusi gaya dan tegangan bata Kediri lantai 2	60
Tabel 4.36	Perhitungan momen bata Tulungagung	63
Tabel 4.37	Distribusi gaya dan tegangan bata Tulungagung lantai 1	63
Tabel 4.38	Distribusi gaya dan tegangan bata Tulungagung lantai 2	64

Tabel 4.39 Tegangan geser maksimum	65
Tabel 4.40 Perbandingan karakteristik bata.....	66

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Posisi lempeng tektonik dunia	5
Gambar 2.2	Mekanisme structural umum beban vertical dan horizontal	9
Gambar 2.3	Pemodelan rumah tinggal tahan gempa	10
Gambar 2.4	Detail balok lantai pada model rumah tinggal tahan gempa.....	10
Gambar 2.5	Grafik tegangan-regangan batu bata, prism, dan mortar batu bata Kediri...	13
Gambar 2.6	Grafik tegangan-regangan batu bata, prism, dan mortar batu bata Tulungagung	14
Gambar 2.7	Grafik tegangan-regangan mortar	15
Gambar 2.8	Perbandingan antara a) RC frame dan b) confined masonry	17
Gambar 2.9	Bentuk bangunan yang standar	17
Gambar 2.10	Komposisi panjang dan lebar bangunan	18
Gambar 2.11	Model bangunan menerus	18
Gambar 2.12	Dinding bangunan yang simetris	18
Gambar 2.13	Kolom yang terdapat pada 1 sumbu.....	19
Gambar 2.14	Model dinding yang terkekang	19
Gambar 2.15	Grafik spektrum respons Kota Blitar untuk tanah sedang	21
Gambar 2.16	Model matematis rumah dua lantai.....	21
Gambar 3.1	Denah rumah tipe 93/72.....	27
Gambar 3.2	Penamaan panel dinding	28
Gambar 3.3	Tampak depan struktur dan dinding bata.....	28
Gambar 3.4	Grafik spektrum respons Kota Blitar untuk tanah sedang	31
Gambar 3.5	Diagram alur penelitian.....	34
Gambar 4.1	Model rumah lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan).....	35
Gambar 4.2	Distribusi beban merata rumah lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan).....	37
Gambar 4.3	Detail portal A bata Kediri.....	38
Gambar 4.4	<i>Mode shape</i> 1 bata Kediri	42
Gambar 4.5	<i>Mode shape</i> 2 bata Kediri	42
Gambar 4.6	<i>Mode shape</i> 1 bata Tulungagung	46
Gambar 4.7	<i>Mode shape</i> 2 bata Tulungagung	47
Gambar 4.8	Detail denah rumah bata Kediri	50

Gambar 4.9	Koordinat pusat kekakuan dan beban bata Kediri lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	54
Gambar 4.10	Detail denah rumah bata Tulungagung	54
Gambar 4.11	Koordinat pusat kekakuan dan beban bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	58
Gambar 4.12	Jarak eksentrisitas X bata Kediri lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	59
Gambar 4.13	Jarak eksentrisitas Y bata Kediri lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	59
Gambar 4.14	Tegangan geser lantai 1 bata Kediri	61
Gambar 4.15	Tegangan geser lantai 2 bata Kediri	61
Gambar 4.16	Jarak eksentrisitas X bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	62
Gambar 4.17	Jarak eksentrisitas Y bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)	62
Gambar 4.18	Tegangan geser lantai 1 bata Tulungagung	64
Gambar 4.19	Tegangan geser lantai 2 bata Tulungagung	65

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Detail model bata Kediri	71
Lampiran 2	Detail model bata Tulungagung	79
Lampiran 3	Perhitungan beban model bata Kediri	87
Lampiran 4	Perhitungan beban model bata Tulungagung	91

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RINGKASAN

Jovan Luke Raharjo, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, April 2018, *Perbandingan Kekuatan Dinidng Bata Kediri dan Tulungagung untuk Rumah Dua Lantai terhadap Gempa*, Dosen Pembimbing: Achfas Zacoeb dan Agoes Soehardjono.

Indonesia yang terletak dalam sabuk vulkanik menandakan banyaknya gunung berapi aktif. Hal ini menjadikan Indonesia rawan bencana seperti letusan gunung berapi, tsunami, banjir, tanah longsor, dan gempa bumi. Namun, banyaknya infrastruktur rumah tinggal di Indonesia yang tidak sesuai dengan peraturan. Untuk mengetahui kekuatan bangunan rumah tinggal untuk menahan gaya gempa yang terjadi, penelitian ini membandingkan antara karakteristik bahan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dengan tegangan yang terjadi.

Pada penelitian ini dilakukan analisis dinamik dengan metode derajat kebebasan majemuk dengan data respon spektrum yang diambil dari pusat penelitian dan pemukiman Indonesia 2011. Dengan pengaruh 2 bata yang berbeda yaitu bata Kediri dan Tulungagung, didapatkan juga perbedaan pusat kekakuan dan pusat beban yang menyebabkan eksentrisitas. Adanya eksentrisitas menyebabkan distribusi gaya gempa pada dinding bertambah dengan adanya gaya akibat momen eksentrisitas yang kemudian dapat dihitung tegangan gesernya.

Hasil dari penelitian ini didapatkan tegangan geser yang terjadi pada lantai 1 dan lantai 2 bata Kediri lebih besar daripada bata Tulungagung. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya pengaruh modulus elastisitas, modulus geser, dimensi bata, dan letak geografis dinding. Pada lantai 1 dinding bata Kediri memiliki kekakuan lebih besar dari bata Tulungagung yang menyebabkan menerima gaya lebih besar. Namun gaya gempa akibat momen bata Tulungagung lebih besar dengan nilai total gaya 698.45 kg dibanding dengan bata Kediri dengan nilai total gaya 694.15 kg. Tetapi akibat bata Tulungagung memiliki lebar yang lebih besar menyebabkan tegangan geser yang terjadi lebih kecil dengan nilai 1.50 kg/cm². Sedangkan bata Kediri didapatkan tegangan geser 1.81 kg/cm².

Kata-kata Kunci: rumah tinggal, pasangan batu bata, eksentrisitas, tegangan geser, derajat kebebasan majemuk.

SUMMARY

Jovan Luke Raharjo, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, April 2018, *Strength Comparison of Kediri and Tulungagung Masonry Brick of Two Story Masonry House against Earthquake*, Academic Supervisor: Achfas Zacoeb dan Agoes Soehardjono.

Indonesia is located in the volcanic belt area where indicates some active volcanoes. This makes Indonesia vulnerable to disasters such as volcanic eruptions, tsunamis, floods, landslides, and earthquakes. However, the residential infrastructure in Indonesia is not in accordance with the regulations. To determine the strength of residential buildings to withstand the earthquake forces that occur, this study compares the characteristics of the material from research that has been done before with the current stress that occurs.

In this research, dynamic analysis is done with the multiple degree of freedom method with spectrum response data taken from the center of research and settlement of Indonesia by 2011. With the influence of 2 different bricks from Kediri and Tulungagung, also found the difference of center of stiffness and center of weight that caused eccentricity. The existence of eccentricity causes the distribution of earthquake forces on the wall is increases with the force due to the moment of eccentricity and calculated the shear stress by then.

The result of this research is that the shear stress that occurs on the 1st and 2nd floor of Kediri is larger than Tulungagung's. This can occur due to the influence of elasticity modulus, shear modulus, brick dimension, and geographical position of the wall. On the 1st floor, Kediri brick walls have greater stiffness than Tulungagung brick which leads to receive a larger earthquake forces. But the moment force due to the eccentricity make Tulungagung's have a greater value which is 698.45 kg compared to the Kediri brick with total value 694.15 kg. But due to wider brick from Tulungagung, causing the shear stress that occurs smaller with a value of 1.50 kg/cm². While Kediri brick has value of 1.81 kg/cm².

Keywords: residential, brick masonry, eccentricity, shear stress, multi degree of freedom.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bencana alam seringkali tak terduga dan memberikan dampak kerusakan yang besar. Bencana alam terjadi dengan alamiah di seluruh bumi. Besarnya dampak bencana alam diukur dari banyaknya korban, kerugian ekonomi, dan lama waktu yang dibutuhkan suatu daerah untuk membangun kembali setelah terjadi bencana alam. Bencana alam yang terjadi di daerah yang tidak berpenghuni tidak termasuk dalam kategori bencana, melainkan terjadi di daerah yang berpenghuni.

Gempa bumi merupakan salah satu contoh dari bencana alam yang dapat dibagi 2 menjadi gempa bumi tektonik dan vulkanik. Gempa bumi tektonik menghasilkan gaya yang akibat adanya pelepasan energi dari gesekan yang terjadi antar lempeng. Gempa bumi banyak terjadi di daerah yang terletak di perbatasan antar lempeng dan gempa bumi yang berkekuatan besar dan dapat menjadi gejala terjadinya letusan gunung berapi. Sedangkan gempa bumi vulkanik disebabkan murni oleh aktivitas gunung berapi.

Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa dan diapit oleh dua samudera besar dunia, yaitu: Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Kondisi permukaan di Indonesia juga sangat beragam dengan letak geografis yang merupakan pertemuan antara 4 lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Benua Asia, Lempeng Benua Australia, Lempeng Samudra Hindia, dan Lempeng Samudra Pasifik. Bagian selatan dan timur Indonesia sepanjang pulau Sumatera – Jawa – Nusa Tenggara – Sulawesi juga merupakan sabuk vulkanik yang menandakan banyaknya gunung berapi aktif. Hal ini yang menjadikan Indonesia daerah rawan bencana seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, banjir, dan tanah longsor.

Berdasarkan data Bank Dunia (2016), Indonesia terdiri dari 261 juta penduduk. Terutama di Pulau Jawa dan Sumatera yang merupakan pusat perekonomian dan pembangunan. Namun, Infrastruktur di Indonesia tidak didesain sesuai dengan kondisi alam Indonesia. Khususnya bangunan rumah tinggal yang tidak sesuai dengan praturan SNI. Sehingga berdampak pada kerusakan properti dan banyaknya korban akibat runtuhnya rumah tinggal mereka.

Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya kerusakan akibat gempa dilakukan perhitungan berdasarkan SNI dan pedoman lainnya untuk mengetahui kemampuan fisik dan mekanik suatu bangunan rumah tinggal sehingga mampu menahan gaya gempa yang terjadi. Pada penelitian kali ini, penulis memperhitungkan kekuatan rumah tinggal dengan membandingkan antara karakteristik fisik dan mekanik bahan dengan tegangan yang terjadi untuk bangunan rumah tinggal dua lantai tahan gempa. Untuk mengetahui nilai fisik dan mekanik bahan, penulis menggunakan hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Dinding mana yang memiliki tegangan paling besar pada rumah tinggal 2 lantai?
2. Apa saja karakteristik yang berpengaruh terhadap kekuatan bangunan rumah tinggal?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian maka diberikan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Objek struktur yang digunakan merupakan denah rumah tinggal dua lantai.
2. Objek material yang digunakan adalah batu bata Kediri dan Tulungagung.
3. Seluruh dinding dan kolom diasumsikan terjepit pada pondasi.
4. Analisis difokuskan pada struktur dinding pasangan bata.
5. Material diasumsi homogenis isotropis.
6. Tanah diasumsikan tanah sedang.
7. Analisis tidak membahas mengenai reaksi suhu, reaksi kimia, dan analisis ekonomi.
8. Analisis dilakukan menggunakan metode respon spectrum dan metode *Multi Degree of Freedom* (MDOF).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Mengetahui dinding mana yang memiliki tegangan paling besar pada rumah tinggal 2 lantai.
2. Mengetahui karakteristik yang berpengaruh terhadap kekuatan bangunan rumah tinggal.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu:

1. Untuk kalangan akademis hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian mengenai kemampuan suatu bahan yang dapat membantu meningkatkan kemampuan bangunan rumah tinggal dua lantai dalam menahan gaya gempa.
2. Untuk kalangan praktisi hasil penelitian ini dapat menjadi sumber informasi sebagai bahan pertimbangan dalam merencanakan sebuah struktur bangunan rumah tinggal dua lantai tahan gempa.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa di dunia. Hal ini disebabkan posisi Indonesia yang berada pada pertemuan 3 lempeng tektonik besar di dunia yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik (Budiono & Supriatna, 2011). Posisi lempeng tektonik dunia dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Posisi lempeng tektonik dunia

Sumber: Budiono & Supriatna (2011).

Terdapat beberapa pendekatan untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak yang besar. Pertama, pendekatan struktural yakni desain mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada. Kedua, intensif melakukan sosialisasi kepada masyarakat mengenai pemahaman dan pelatihan penyelamatan dampak gempa (Budiono & Supriatna, 2011).

Meli dkk. (2011) mengutip bahwa pada tahun 1908 terjadi gempa di Italy (M 7.2) memakan korban 70000 orang. Dari berbagai macam gempa yang terjadi di dunia seperti Chile, Llolelo, Mauel, dan lain-lain, 60% rumah tinggal mengalami kerusakan atau keruntuhan dan masing-masing menyebabkan korban kurang lebih 30000 orang. Tetapi, hal serupa tak terjadi di Pisco, Peru pada tahun 2007 (M 8.0) dimana dilakukan penelitian serupa dan terdapat bangunan rumah tinggal 4 lantai yang tidak terkena dampak gempa. Hal ini disebabkan oleh kemampuan dinding pasangan bata pada rumah tinggal menunjukkan performa yang baik (Meli dkk, 2011).

Budiono & Supriatna (2011) menuturkan bahwa gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

- a. Gempa bumi vulkanik yang diakibatkan oleh aktivitas magma pada gunung berapi yang menimbulkan ledakan dan gempa bumi,
- b. Gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik secara tiba-tiba sehingga menyebabkan gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kulit bumi atau kerak bumi,
- c. Gempa bumi runtuh yang diakibatkan oleh keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Gempa ini terjadi pada daerah kapur atau pertambangan,
- d. Gempa bumi buatan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, atau nuklir.

Dari keempat jenis gempa, gempa tektonik merupakan gempa yang paling banyak menimbulkan kerusakan secara masif dan mengakibatkan banyaknya korban jiwa karena gempa tektonik terjadi karena adanya pelepasan energi yang telah lama tertimbun pada suatu lempeng.

2.2 Struktur

Menurut Schodek, D. L. (1991) dalam dunia konstruksi, struktur merupakan sarana untuk menyalurkan beban dan akibat penggunaan dan atau kehadiran bangunan ke dalam tanah. Studi tentang struktur juga menyangkut pemahaman prinsip-prinsip dasar yang menunjukkan dan menandai perilaku objek-objek fisik yang dipengaruhi oleh gaya. Struktur erat hubungannya dengan bangunan dan juga menyangkut cara penanganan pokok persoalan yang jauh lebih luas tentang ruang dan ukuran. Kata-kata “ukuran”, “skala”, “bentuk”, “proporsi”, dan “morfologi” semuanya merupakan istilah yang biasa ditemukan dalam perbendaharaan kata perancang struktur (Schodek, 1991).

2.2.1 Struktur penahan gempa

Menurut Muto, K. (1987) terdapat tiga sistem struktur penahan gempa, ketiga sistem ini merupakan struktur utama yang dipakai untuk meningkatkan daya tahan terhadap gempa, yaitu:

a. Portal Terbuka (*Open Frames*)

Portal terbuka segi-empat yang terdiri dari kolom dan balok dengan hubungan monolit membentuk ruangan yang besar dan memberikan daya tahan horizontal pada kerangka keseluruhan. Oleh karena itu, sistem seperti ini diperlukan pada konstruksi gedung yang bertingkat banyak (Muto, 1987). Muto, K. juga mengatakan bahwa dengan menggunakan baja yang berkekuatan tinggi, kita dapat bangun gedung bertingkat banyak dan terutama gedung pencakar langit hanya dengan portal terbuka.

b. Portal Dinding (*Walled Frames*)

Portal dinding hanya memanfaatkan sifat bawaan dan kekuatan struktur dari beton bertulang baja sehingga menghasilkan balok yang tinggi (biasanya bagian di bawah jendela dianggap sebagai balok) dan kolom yang lebar (dinding pojok dianggap sebagai kolom) untuk memperoleh kekuatan yang besar. Namun, beberapa arsitek tidak menyukai jenis struktur ini karena bidang kolom dan balok yang besar membatasi tampak gedung sehingga segi artistiknya kurang baik (Muto, 1987).

c. Dinding Geser (*Shear Walls*) dan Portal dengan Penyokong Diagonal (*Diagonally Braced Frames*)

Pada konstruksi baja struktural, portal-portal dengan penyokong (bracing) merupakan sistem yang efektif dan kuat (Muto, 1987). Hal ini dikarenakan penggunaan dinding geser dengan lebar yang besar akan menghasilkan daya tahan lentur dan geser yang sangat tinggi.

2.2.2 Dinding geser berlubang

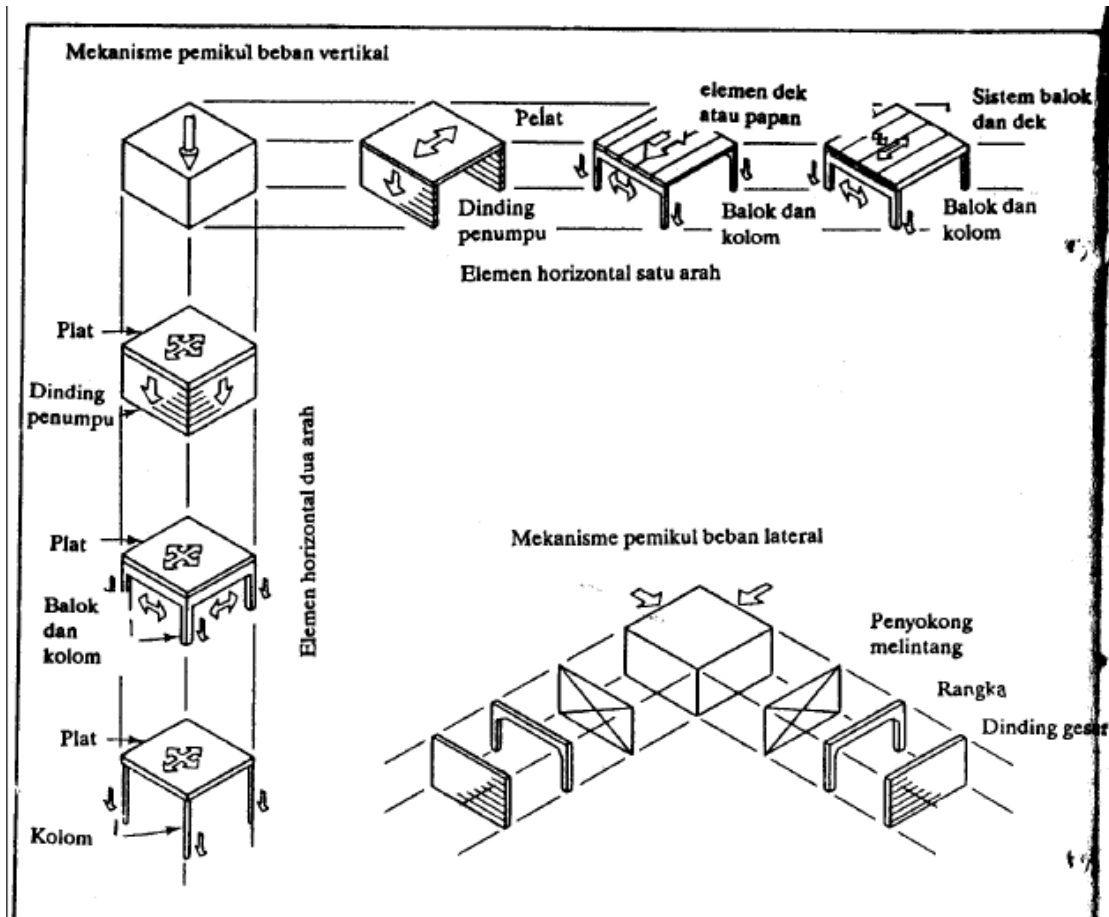
Diperlukan perencanaan yang efektif untuk penggunaan dinding tahan gempa dengan bukaan. Lubang pada dinding bisa berupa lubang jendela yang seragam di setiap tingkat dan bentang, lubang jendela dan pintu yang berseling, lubang kecil untuk saluran, lubang dengan pola yang tidak beraturan, dan lubang dengan ukuran yang beranekaragam (Muto, 1987).

Hasil dari penelitian Muto K. mengenai dampak dari dinding geser yang berlubang adalah sebagai berikut:

- a. Ketegaran dinding dapat bervariasi sesuai dengan tingkat dan jumlah tingkat walaupun ukuran dan bentuk lubang sama.
- b. Pengaruh lubang terbesar adalah deformasi geser.
- c. Bila ukuran melebihi ukuran tertentu, metode perhitungan eksak ataupun pendekatan diterapkan dengan melakukan konversi ke portal ekuivalen yang menyertakan momen lentur, gaya geser, dan daerah tegar seperti pada kasus portal dinding.

2.2.3 Optimasi desain struktur

Schodek, D. L. (1991) menyatakan bahwa pemilihan elemen diagonal untuk memikul gaya tarik atau tekan bergantung pada orientasinya. Perencana dapat memilih orientasi diagonal sehingga hanya gaya tarik yang dapat terjadi pada batang tersebut, dengan ini kabel dapat digunakan. Namun, untuk orientasi diagonal yang hanya terjadi gaya tekan, perencana dapat menggunakan elemen kaku seperti beton. Akan tetapi, perencana harus benar-benar yakin bahwa elemen tersebut berfungsi sebagai penjamin kestabilan untuk semua kondisi pembebanan yang mungkin seperti apabila gaya horizontal tersebut berbalik arah, maka struktur yang digunakan hanya dengan kabel tunggal sebagai elemen diagonal akan menyebabkan keruntuhan dan berlaku sebaliknya. Penyelesaian untuk beban yang dapat berbalik arah, perencana dapat menggunakan kabel menyilang untuk elemen diagonal. Berikut adalah gambar mekanisme struktural umum baik beban vertikal dan horizontal:



Gambar 2.2 Mekanisme struktural umum beban vertikal dan horizontal
 Sumber: Schodek (1991).

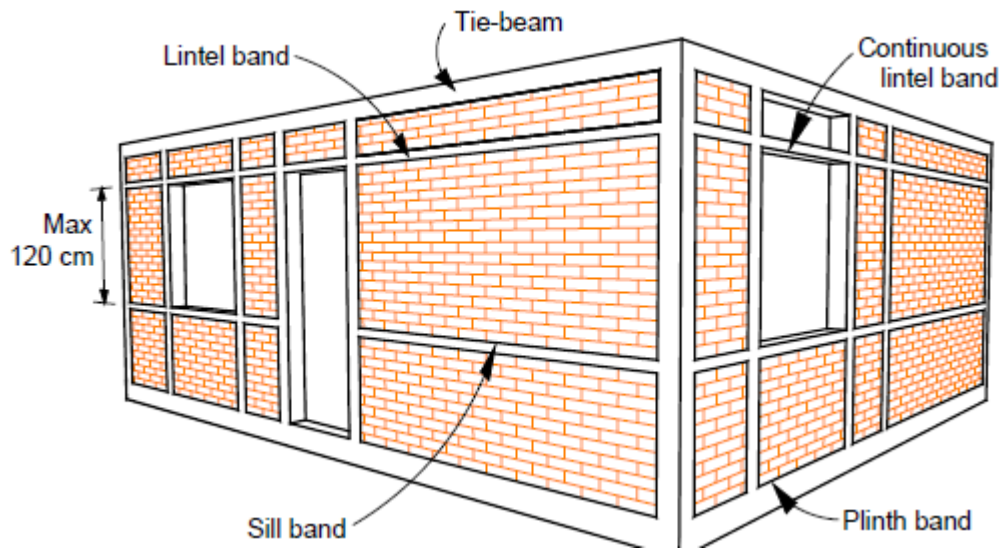
2.2.4 Konsep perencanaan bangunan tahan gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi (Budiono & Supriatna, 2011). Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa menurut Budiono dan Supriatna (2011) adalah:

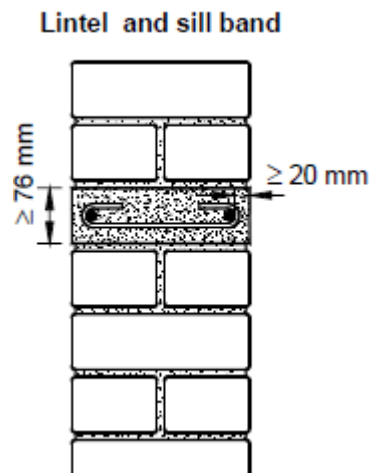
- Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus dapat tetap berjalan (*serviceable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen non-struktural bangunan.
- Pada saat terjadi gempa moderat atau medium, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan pada elemen non-struktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
- Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan non-struktural, namun tidak boleh sampai menyebabkan bangunan

runtuh sehingga tidak ada korban jiwa atau dapat meminimalkan jumlah korban jiwa.

Untuk bangunan rumah tinggal, Meli dkk. (2011) menyatakan untuk menahan beban aksial dari dinding dapat diberikan perkuatan dengan memberikan balok lantai (*lintel band* dan *sill band*). Balok lantai memiliki peletakan seperti gambar 2. . Balok lantai memiliki lebar selebar dinding dan ketebalan yang lebih tipis dari balok utama dan kolom utama sebesar $\geq 76\text{mm}$ atau dapat dilihat pada gambar 2. .



Gambar 2.3 Pemodelan rumah tinggal tahan gempa
Sumber: Meli dkk. (2011).



Gambar 2.4 Detail balok lantai pada model rumah tinggal tahan gempa
Sumber: Meli dkk. (2011).

2.3 Batu Bata

Istilah *masonry* menunjukkan bahan konstruksi yang terbentuk dari kombinasi unit pasangan seperti batu atau bata dengan bahan pelekat yang disebut mortar (campuran pasta semen dan pasir (Nurlina, 2011).

Nurlina, S. (2011) menyatakan bahwa unit pasangan (*masonry unit*) dapat dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu:

1. Padat (*solid*)
 - a. Batu (*stone*)
 - b. Blok kaca (*glass block*)
 - c. Bata merah (*clay brick*)
 - d. Bata beton (*concrete brick*)
2. Berongga (*hollow*)
 - a. Ubin tanah liat struktural (*structural clay tile*)
 - b. Blok beton (*concrete block*)

Batu bata merah lokal untuk struktur pasangan (*masonry structure*) telah digunakan secara luas untuk struktur utama bangunan rumah tinggal (Wisnumurti, 2011). Proses pembuatan batu bata merah dijelaskan oleh Nurlina, S. (2011) yaitu dari tanah liat dengan atau tanpa campuran bahan lain, dibakar pada suhu tinggi hingga tidak hancur lagi apabila direndam dengan air. Proses pembuatannya dapat dilakukan secara tradisional ataupun mekanis. Berdasarkan SII-0021-78, ukuran batu bata dapat dibagi menjadi beberapa tipe yang dijelaskan dalam tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Dimensi standar ukuran batu bata

Modul	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
M-5a	65	90	190
M-5b	65	140	220
M-6	55	110	220

Sumber: SII-0021-78

2.3.1 Dimensi batu bata merah

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wisnumurti dkk. (2013), beberapa batu bata yang berada di sekitar Blitar (Jawa Timur) yang akan digunakan sebagai penelitian berasal dari Kediri dan Tulungagung. Berikut adalah karakteristik fisik dari masing-masing batu bata:

Tabel 2.2 Karakteristik fisik batu bata

Lokasi	Dimensi (cm)			Volume (cm ³)
	Tebal	Lebar	Panjang	
Kediri	4.47	9.73	20.92	909.8757
Tulungagung	4.31	10.39	22.65	1014.287

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.3.2 Absorpsi batu bata merah

Karakteristik batu bata merah tergolong mudah menyerap air. *Initial Rate of Absorption* (IRA) merupakan kemampuan batu bata merah dalam menyerap air dalam satuan gram per menit untuk ukuran 30 inch². Berikut kemampuan absorpsi batu bata merah Kediri dan Tulungagung berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wisnumurti dkk. (2013):

Tabel 2.3 Karakteristik absorpsi batu bata

Lokasi	Absorpsi (%)	IRA (gr/mnt/30in ²)
Kediri	17.33	909.8757
Tulungagung	15.15	1014.287

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.3.3 Rasio Poisson batu bata merah

Rasio Poisson merupakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial. Berikut data batu bata merah Kediri dan Tulungagung berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yonathan (2013):

Tabel 2.4 Nilai rasio Poisson batu bata

Lokasi	Rasio Poisson rata-rata model SII dan ASTM
Kediri	0.142 ± 0.011
Tulungagung	0.289 ± 0.159

Sumber: Yonathan (2010)

2.3.4 Massa jenis batu bata merah

Perhitungan massa jenis dilakukan dengan asumsi material homogen isotropik dan diambil dari campuran mortar dan bata merah yang berasal dari Kediri dan Tulungagung berdasarkan penelitian Wisnumurti dkk. Perbandingan mortar yang digunakan adalah 1:5 (semen : pasir). Tebal mortar yang digunakan adalah 1,5cm massa jenis bata merah digunakan 1490 kg/m³ untuk batu bata Kediri dan 1500 kg/m³ untuk batu bata Tulungagung berdasarkan penelitian Wisnumurti dkk. (2013).

Tabel 2.5 Nilai massa jenis batu bata

Lokasi	Massa jenis (kg/m ³)
Kediri	1490
Tulungagung	1500

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

Massa jenis mortar dengan perbandingan volume semen dan pasir 1:5 adalah 2140 kg/m³ (Yulianingsih, 2005). Referensi yang kurang lengkap mengenai asal pasir dan semen portland, maka berat jenis mortar dianggap sama.

Untuk mengetahui massa jenis pasangan bata merah dari Kediri dan Tulungagung, dilakukan pemodelan pasangan bata seluas 1 m² yang disusun menjadi dinding yang dilanjutkan dengan melakukan perhitungan perbandingan antara luas bata dan luas mortar. Perbandingan luas mortar dan batu bata Kediri adalah 1 : 2.474. Perbandingan luas mortar dan batu bata Tulungagung adalah 1 : 2.337.

Tabel 2.6 Nilai berat jenis pasangan batu bata

Lokasi	Berat Jenis (kg/m ³)
Kediri	1677.119
Tulungagung	1691.808

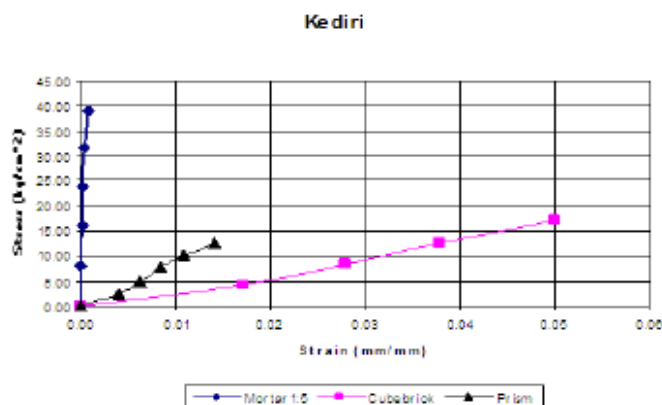
2.3.5 Kuat tekan dan regangan batu bata merah

Penelitian yang dilakukan oleh Wisnumurti dkk. (2013) mengenai kuat tekan dan regangan dari batu bata Kediri dan Tulungagung adalah sebagai berikut:

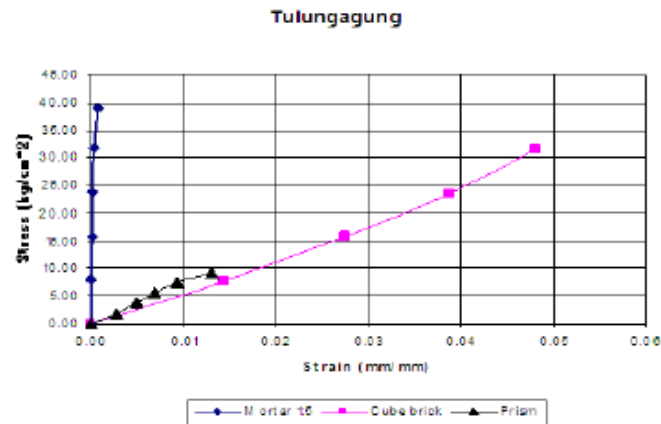
Tabel 2.7 Tegangan dan regangan batu bata

	Compression stress and strain of brick		Compression stress and strain of masonry wall			
	Stress (kg/cm ²)	Strain (cm/cm)	Perpendicular load		Parallel load	
			Stress (kg/cm ²)	Strain (cm/cm)	Stress (kg/cm ²)	Strain (cm/cm)
Kediri	16.98 (0.25)	0.067 (0.27)	18.4	0.0183	19.51	0.0123
Tulungagung	61.55 (0.24)	0.058 (0.49)	12.55	0.0182	14.77	0.0186

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)



Gambar 2.5 Grafik tegangan-regangan batu bata, prism, dan mortar batu bata Kediri
Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)



Gambar 2.6 Grafik tegangan-regangan batu bata, prism, dan mortar batu bata Tulungagung
 Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.3.6 Tegangan geser batu bata merah

Tegangan geser merupakan tegangan yang terjadi searah dengan penampang benda melintang atau parallel terhadap arah gaya. Berikut hasil yang didapat oleh Wisnumurti dkk. (2013) mengenai tegangan geser batu bata Kediri dan Tulungagung:

Tabel 2.8 Tegangan geser batu bata

	Brick wall shear stress	
	Stress (kg/cm ²)	Coef. Of var.
Kediri	4.03	0.067
Tulungagung	1.69	0.058

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.3.7 Modulus elastisitas batu bata merah

Material dapat dikatakan elastis apabila material dapat kembali ke ukuran dan bentuk semula apabila tegangan telah dihilangkan (Schodek, 1991). Cara yang biasa dipakai untuk menentukan modulus elastisitas material adalah dengan menggunakan suatu batang dari material tersebut, yang mempunyai panjang serta luas tertentu, kemudian diberi beban yang diketahui dan mengukur besarnya perpanjangan yang terjadi. Berikut adalah modulus elastisitas batu bata merah Kediri dan Tulungagung oleh Wisnumurti dkk. (2013):

Tabel 2.9 Modulus elastisitas batu bata

	Modulus elastisitas batu bata (kg/cm ²)	Modulus elastisitas prism (kg/cm ²)	Modulus elastisitas masonry wall	
			Perpendicular load (kg/cm ²)	Parallel load (kg/cm ²)
Kediri	279.07	1253.65	1307.69	1675.38
Tulungagung	541.1	753.23	828.16	2206.89

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.3.8 Modulus geser batu bata merah

Untuk material yang diasumsi *isotropic*, modulus geser dipengaruhi oleh modulus elastisitas dan rasio Poisson. Berikut adalah persamaan modulus geser:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan:

G = modulus geser (kg/m²)

E = modulus elastisitas (kg/m²)

ν = rasio Poisson

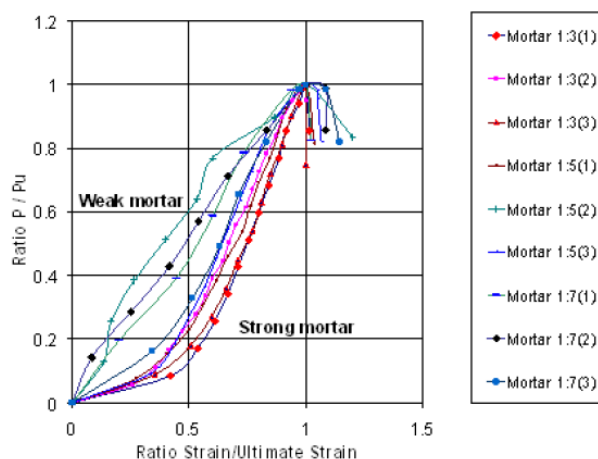
Dengan modulus elastisitas dan rasio Poisson yang telah diketahui untuk batu bata merah Kediri dan Tulungagung, maka dapat dicari nilai modulus geser dari batu bata kediri dan tulungagung.

Tabel 2.10 Modulus geser batu bata

	Modulus geser (Kg/cm ²)
Kediri	572.5438
Tulungagung	753.23

2.4 Mortar

Ketebalan mortar memiliki pengaruh positif terhaap kekuatan dinding batu bata. Kekuatan dinding akan meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan mortar (Wisnumurti dkk, 2011). Mortar yang terlalu keras akan lebih kaku dibanding dengan mortar yang lunak. Gambar 2.5 akan menjelaskan hubungan antara tegangan dan regangan dari mortar kaku dan lunak.



Gambar 2.7 Grafik tegangan-regangan mortar
Sumber: Wisnumurti dkk. (2011)

Dengan grafik di atas, menunjukkan bahwa mortar dengan komposisi yang tepat dapat menghasilkan mortar yang kuat dengan deformasi yang kecil. Berikut adalah tabel tegangan dari mortar yang memiliki komposisi pasir yang berbeda

Tabel 2.11 Tegangan mortar

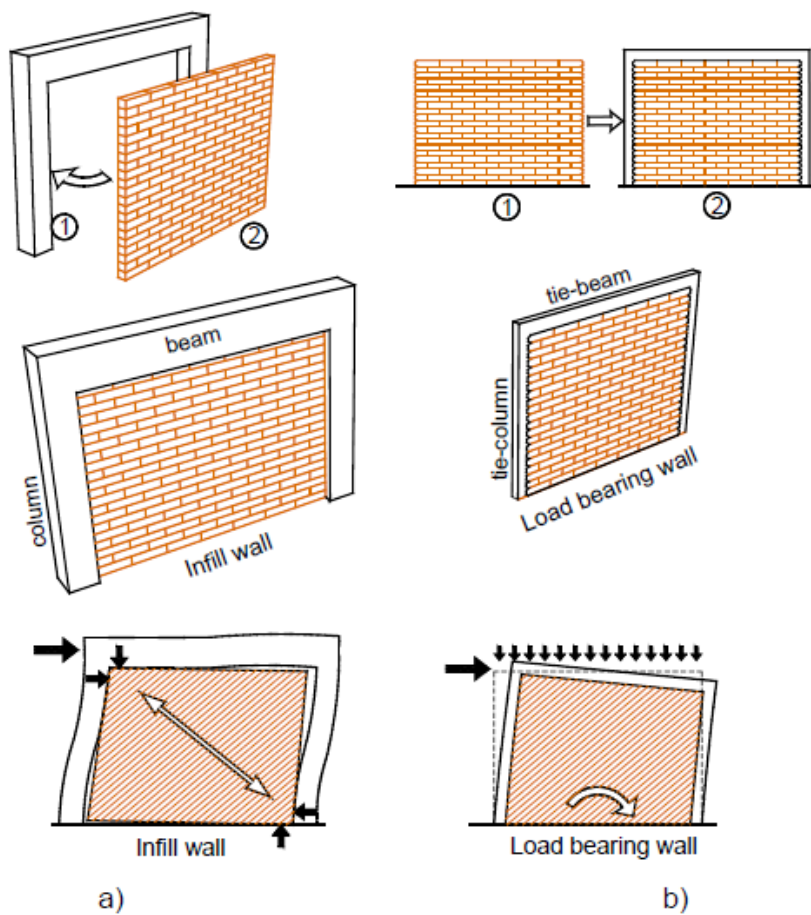
	Mortar	Dinding compressive stress	
	compressive stress stress (kg/cm ²)	stress (kg/cm ²)	strain (Cm/cm)
Mortar 1:3	130.04	25.68	0.0372
Mortar 1:5	79.81	20.25	0.0289
Mortar 1:7	48.01	11.19	0.0181

Sumber: Wisnumurti dkk. (2013)

2.5 *Confined Masonry Building*

Confined masonry building memiliki arti dasar sebagai bangunan dengan susunan batu atau batu bata yang terkekang. Meli dkk. (2011) mendefinisikan bahwa *confined masonry building* terdiri dari susunan batu atau batu bata, kolom dan balok dari beton yang diperkuat dengan tulangan baja (*Reinforced Concrete – RC*) yang dibangun di keempat sisi dari suatu bangunan. Terutama pada saat pembangunan, elemen beton perkuatan dibangun setelah susunan dinding telah selesai. Komponen struktur utama dari *confined masonry building* adalah pasangan batu bata sebagai dinding yang berfungsi melanjutkan gaya gravitasi dari pelat ke pondasi (bersama dengan *RC tie-columns*), elemen pengekang (*confining elements*) untuk meningkatkan stabilitas dan sebagai satu kesatuan dengan dinding untuk menahan efek gempa, lantai dan balok atap sebagai penerus beban lateral ke dinding, sloof untuk meneruskan beban dinding ke pondasi, dan pondasi sendiri untuk meneruskan beban struktur ke tanah (Meli dkk, 2011).

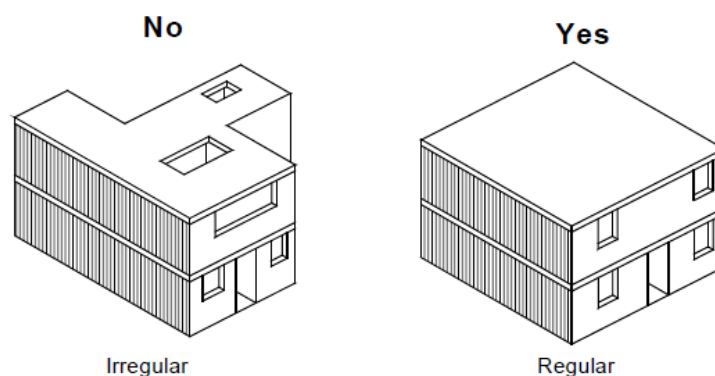
Confined masonry berbeda dengan *reinforced masonry*, perbedaannya terletak pada perkuatan dengan menggunakan baja pada dinding yang terdapat pada *reinforced masonry*. Untuk *confined masonry*, dinding bebas dari perkuatan. Berbeda juga dengan *RC frame construction*, perbedaan terletak pada metode pembangunan. *RC frame* membangun komponen kolom dan balok terlebih dahulu, sedangkan *confined masonry* mendahulukan pembangunan dinding setelah itu diikuti kolom dan balok (Meli dkk, 2011). Berikut adalah gambar perbandingan antara *RC frame* dan *confined masonry*:



Gambar 2.8 Perbandingan antara a) RC frame dan b) confined masonry
 Sumber: Meli dkk. (2011)

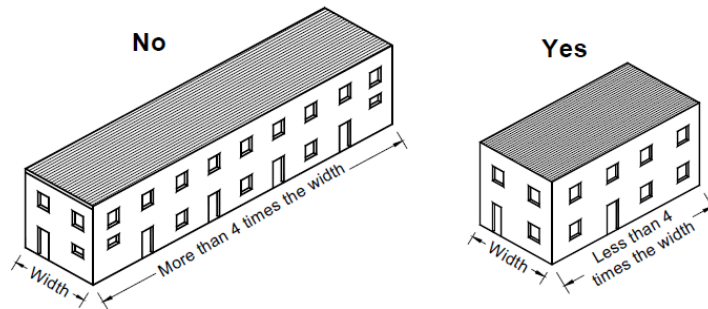
Meli dkk. (2011) menyatakan bahwa desain yang konseptual dari sebuah bangunan sangat penting untuk menghasilkan performa yang baik. Arsitek memiliki peran penting dalam meningkatkan konsep desain yang menentukan ukuran dan dimensi dari sebuah bangunan. Berikut adalah desain yang disarankan untuk kemampuan bangunan tahan gempa yang baik:

1. Bangunan harus dalam bentuk yang standar



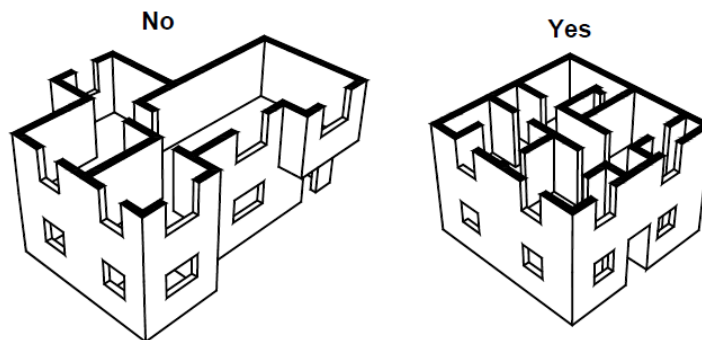
Gambar 2.9 Bentuk bangunan yang standar
 Sumber: Meli dkk. (2011)

2. Bangunan harus memiliki panjang dan lebar yang ideal dengan komposisi yang panjang tidak boleh lebih dari 4 kali lebar



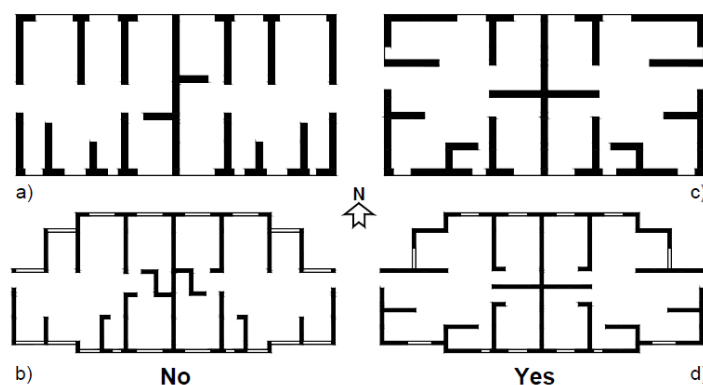
Gambar 2.10 Komposisi panjang dan lebar bangunan
Sumber: Meli dkk. (2011)

3. Model bangun harus menerus hingga pondasi



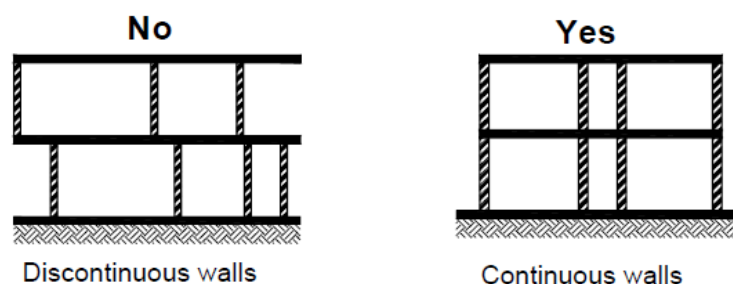
Gambar 2.11 Model bangunan menerus
Sumber: Meli dkk. (2011)

4. Dinding harus dalam bentuk yang simetris



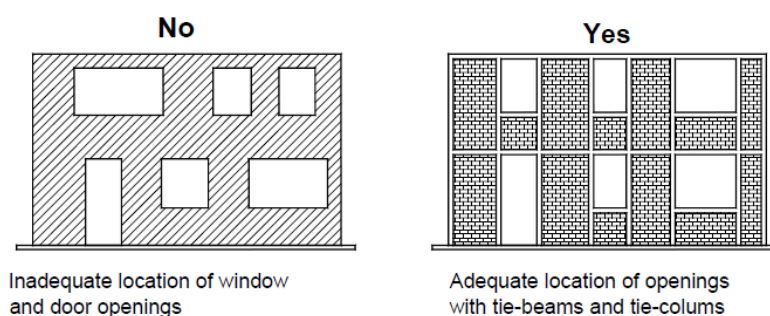
Gambar 2.12 Dinding bangunan yang simetris
Sumber: Meli dkk. (2011)

5. Kolom harus dalam 1 sumbu menerus antara satu dengan yang lainnya



Gambar 2.13 Kolom yang terdapat pada 1 sumbu
Sumber: Meli dkk. (2011)

6. Dinding dengan bukaan harus dikekang dengan kolom dan balok praktis



Gambar 2.14 Model dinding yang terkekang
Sumber: Meli dkk. (2011)

2.6 Analisa Seismik

Analisis seismik adalah analisis beban dinamis terhadap struktur bangunan dimana beban berubah-ubah sebagai fungsi waktu. Perubahan beban yang cepat menimbulkan gerakan perpindahan yang cepat pula pada konstruksi. Gerakan tersebut ditahan oleh gaya elastis pada bangunan.

2.6.1 Analisis spektrum respons

Analisis ragam spektrum respons pada suatu struktur adalah pemodelan matematika struktur diberlakukan suatu spektrum respons gempa rencana aguna menentukan respons struktur terhadap gempa rencana tersebut melalui respons masing-masing ragamnya.

Respons suatu struktur merupakan superposisi respons masing-masing ragam getaran yang memiliki sifat-sifat berbeda. Respons suatu struktur dapat dimodelkan sebagai respons sejumlah getar satu derajat kebebasan dengan sifat masing-masing yang dapat mewakili respons ragam-ragam getaran struktur dengan masing-masing tingkat partisipasinya dalam memberikan respons terhadap gerakan gempa yang ditinjau.

Spektrum respons gempa di Indonesia berbeda-beda di setiap daerah. Dalam websitenya, Puskim PU mengatur spektrum respons gempa di setiap daerah. Spektrum respons di Kota Blitar menurut Puskim PU sebagai berikut:

Tabel 2.12 Parameter-parameter respons spektral percepatan Kota Blitar pada tanah sedang

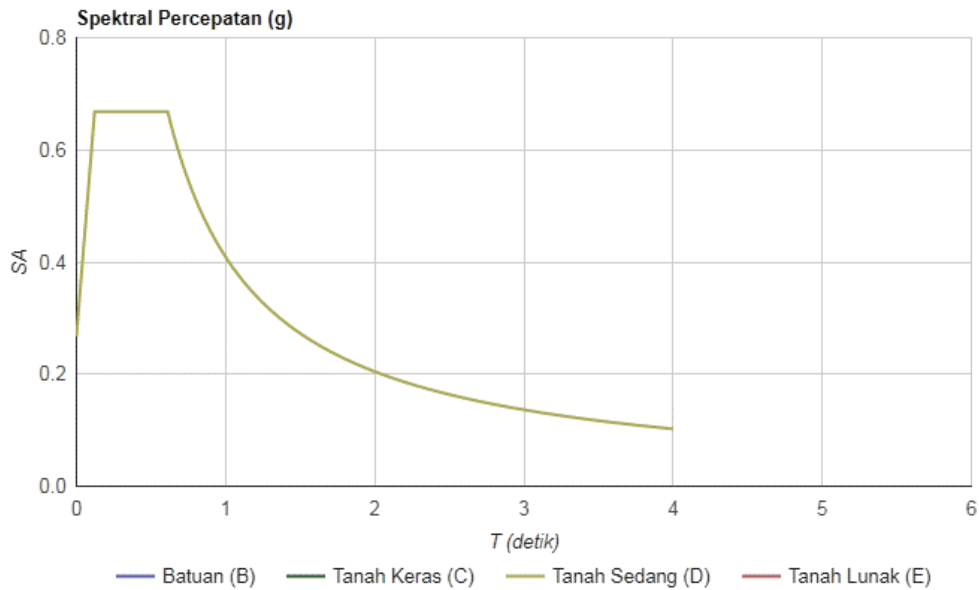
Variabel	Nilai
PGA (g)	0.439
SS (g)	0.870
S1 (g)	0.369
CRS	1.005
CR1	0.944
FPGA	1.064
FA	1.152
FV	1.662
PSA (g)	0.464
SMS (g)	1.002
SM1 (g)	0.613
SDS (g)	0.668
SD1 (g)	0.409
T0 (detik)	0.122
TS (detik)	0.612

Sumber: <http://puskim.pu.go.id/>

Tabel 2.13 Hubungan spektral percepatan dan waktu pada tanah sedang

T (detik)	SA (g)	T (detik)	SA (g)
0	0.267	1.4	0.194
T0	0.668	1.5	0.185
TS	0.668	1.6	0.177
0	0.574	1.7	0.169
0.1	0.503	1.8	0.163
0.2	0.448	1.9	0.156
0.3	0.404	2	0.151
0.4	0.368	2.1	0.145
0.5	0.337	2.2	0.140
0.6	0.312	2.3	0.136
0.7	0.289	2.4	0.131
0.8	0.270	2.5	0.127
0.9	0.254	2.6	0.123
1	0.239	2.7	0.120
1.1	0.226	2.8	0.116
1.2	0.214	2.9	0.113
1.3	0.203	4	0.102

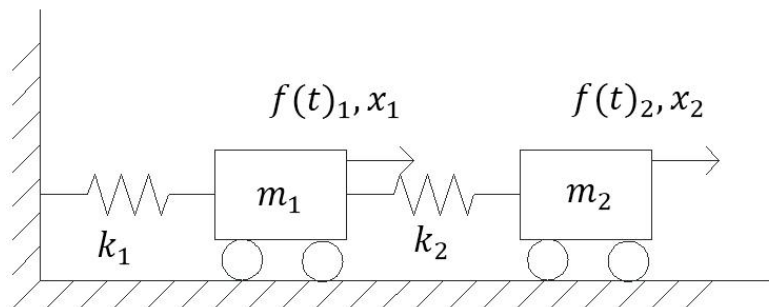
Sumber: <http://puskim.pu.go.id/>



Gambar 2.15 Grafik spektrum respons Kota Blitar untuk tanah sedang
 Sumber: <http://puskim.pu.go.id/>

2.6.2 Analisis MDOF

Analisis untuk rumah tinggal dua lantai dimodelkan dengan bola massa dengan dua derajat kebebasan tanpa redaman. Bola massa lantai satu dihitung dengan setengah berat struktur bawah dan setengah berat struktur atas, sedangkan bola massa lantai dua dihitung dengan setengah berat struktur bawah. Berdasarkan Paz (1990), model matematis untuk rumah tinggal dua lantai dapat dilihat pada gambar 2.16 dan persamaan (2-2).



Gambar 2.16 Model matematis rumah dua lantai

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 &= f(t)_1 \\
 m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 &= f(t)_2 \dots\dots\dots (2-2)
 \end{aligned}$$

dengan :

m = masa (kgs²/cm)

\ddot{x} = percepatan (rad/cm)

k = kekakuan (kg/cm)

x = perpindahan (cm)

Persamaan 2-2 dapat dirubah menjadi bentuk matriks yang dapat dilihat pada persamaan 2-3.

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t)_1 \\ f(t)_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2-3)$$

Bila $\ddot{x} = -\omega^2 x$, maka

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 - \omega^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega^2 m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (2-4)$$

Nilai ω didapatkan dengan determinan matriks

$$\begin{vmatrix} k_1 + k_2 - \omega^2 m_1 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 - \omega^2 m_2 \end{vmatrix} = 0 \dots\dots\dots (2-5)$$

$$(m_1 m_2) \omega^4 + (-m_1 k_2 - m_2 (k_1 + k_2)) \omega^2 + (k_1 + k_2) k_2 - (-k_2)^2 = 0 \dots\dots\dots (2-6)$$

Setelah ditemukan nilai ω , dapat ditemukan perpindahan tiap lantai dan *mode shape* dengan cara eliminasi dan substitusi ke persamaan (2-4). Setelah perpindahan diketahui dapat dicari gaya gempa lateral dengan persamaan (2-7).

$$f_{ik} = A_k \times \Phi_{ik} \times P_k \times m_i \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan:

- A_k = koefisien desain seismik *mode shape*-k
- Φ_{ik} = perpindahan pada lantai-i dan *mode shape*-k
- P_k = partisipasi faktor *mode* pada *mode shape*-k
- m_i = massa pada lantai-i

$$A_k = \frac{I_e \times S_a(g)}{R} \dots\dots\dots (2-8)$$

dengan:

- I_e = factor keutamaan gempa
- $S_a(g)$ = koefisien percepatan spektral
- R = faktor modifikasi respons

Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada SNI-1726-2012. Berikut adalah tabel kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung dan tabel faktor keutamaan gempa:

Tabel 2.14 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:	I
- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan	
- Fasilitas sementara	
- Gudang penyimpanan	
- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	

Tabel 2.14 (lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen / rumah susun - Pusat perbelanjaan / mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
Gedung dan non-gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo 	III
Gedung dan non-gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan / atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi 	
Gedung dan non-gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran	

Tabel 2.16 (Lanjutan)

Jenis struktur bangunan non gedung	R	Ω_0	C_d	Sistem struktur dan batasan ketinggian				
				A & B	C	D	E	F
Diangkur secara mekanis	3	2^b	2.5	TB	TB	TB	TB	TB
Diangkur sendiri	2.5	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton bertulang atau prategang:				TB	TB	TB	TB	TB
Dasar tidak bergeser yang diperkuat	2	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang diangkur	3.25	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Dasar fleksibel yang tidak diangkur dan dikekang	1.5	1.5^b	1.5	TB	TB	TB	TB	TB
Jenis lainnya	1.5	1.5^b	1.5	TB	TB	TB	TB	TB
Silo beton yang dicetak di lapangan, cerobong yang memiliki dinding yang menerus ke fondasi	3	1.75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur dinding bata yang diperkuat yang tidak serupa gedung	3	2	2.5	TB	TB	TB	15	15
Semua struktur dinding bata yang tak diperkuat yang tidak serupa gedung	1.25	2	1.5	TB	TB	TB	15	15
Cerobong beton	2	1.5	2	TB	TB	TB	TB	TB
Semua struktur kantilever baja dan beton bertulang dengan massa terdistribusi yang tidak serupa gedung, termasuk cerobong, silo, wadah dengan pedestal tunggal atau banyak	3	2	2.5	TB	TB	TB	TB	TB
Baja yang dilas	2	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Baja yang dilas dengan pendetailan khusus	3	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton prategang atau bertulang	2	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Beton prategang atau beton bertulang dengan pendetailan khusus	3	2^b	2	TB	TB	TB	TB	TB
Menara rangka batang (berdiri bebas atau dipandu/diangkur/ <i>guyed</i>), cerobong diikat kabel dan cerobong biasa	3	2	2.5	TB	TB	TB	TB	TB
Menara pendingin				TB	TB	TB	TB	TB
Beton atau baja	3.5	1.75	3	TB	TB	TB	TB	TB
Rangka kayu	3.5	3	3	TB	TB	TB	15	15
Menara telekomunikasi								

Sumber: SNI 1726-2012

Untuk menentukan nilai koefisien percepatan spektral $S_a(g)$, digunakan SNI-1726-2012. Berdasarkan SNI-1726-2012, kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada ketentuan dibawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \times \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}\right) \dots\dots\dots (2-9)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2-10)$$

dengan:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{DS}}{S_{D1}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Partisipasi faktor *mode* pada *mode shape*-k dapat dihitung berdasarkan rumus (2-11)

berikut:

$$P_k = \frac{\sum m_i \cdot \phi_{ik}}{\sum m_i \cdot (\phi_{ik})^2} \dots \dots \dots (2-11)$$

dengan:

m_i = massa pada lantai-i (kg)

ϕ_{ik} = perpindahan pada lantai-i dan *mode shape*-k

2.7 Kekakuan Dinding

Berdasarkan hasil lab terhadap dinding solid penahan geser menunjukkan bahwa sifat dari dinding solid dapat digambarkan sebagai prinsip konvensional dari material homogen. Karena itu, berdasarkan FEMA365 (2000) dalam kasus kekakuan lateral dari dinding solid penahan geser, k, dapat dihitung dengan rumus:

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{3 E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} \dots \dots \dots (2-12)$$

dengan:

h_{eff} = tinggi dinding (cm)

A_v = luas geser (cm²)

I_g = momen inersia yang menahan gaya (cm⁴)

E_m = modulus elastisitas dinding pasangan bata (kg/cm²)

G_m = modulus geser dinding pasangan bata (kg/cm²)

Disisi lain, kekakuan lateral terhadap dinding dengan bukaan yang terkekang terhadap rotasi di atas dan di bawah dapat dihitung dengan rumus:

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{12 E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_v G_m}} \dots \dots \dots (2-13)$$

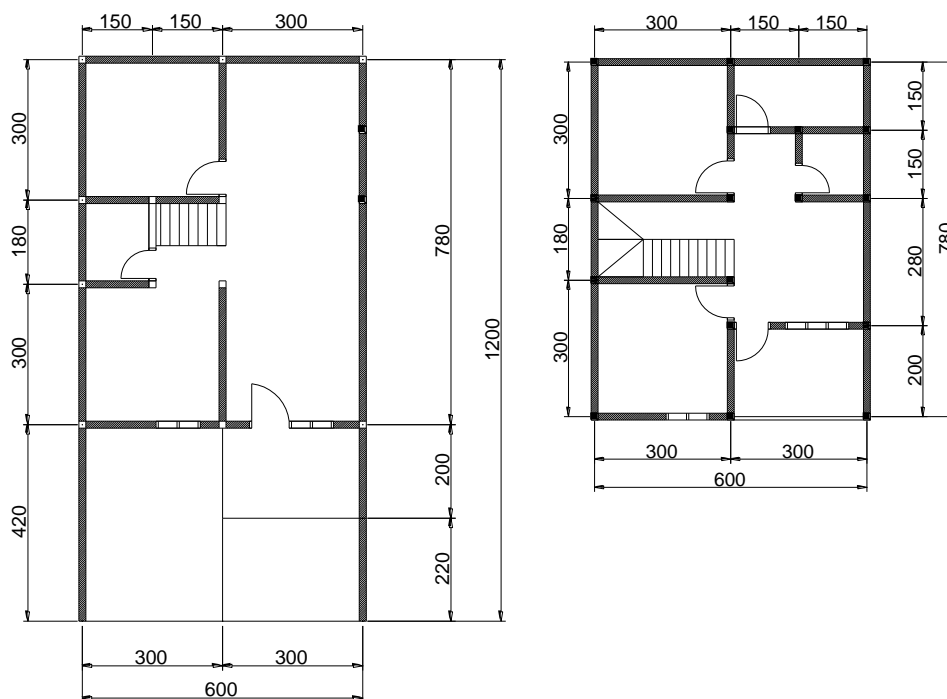
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

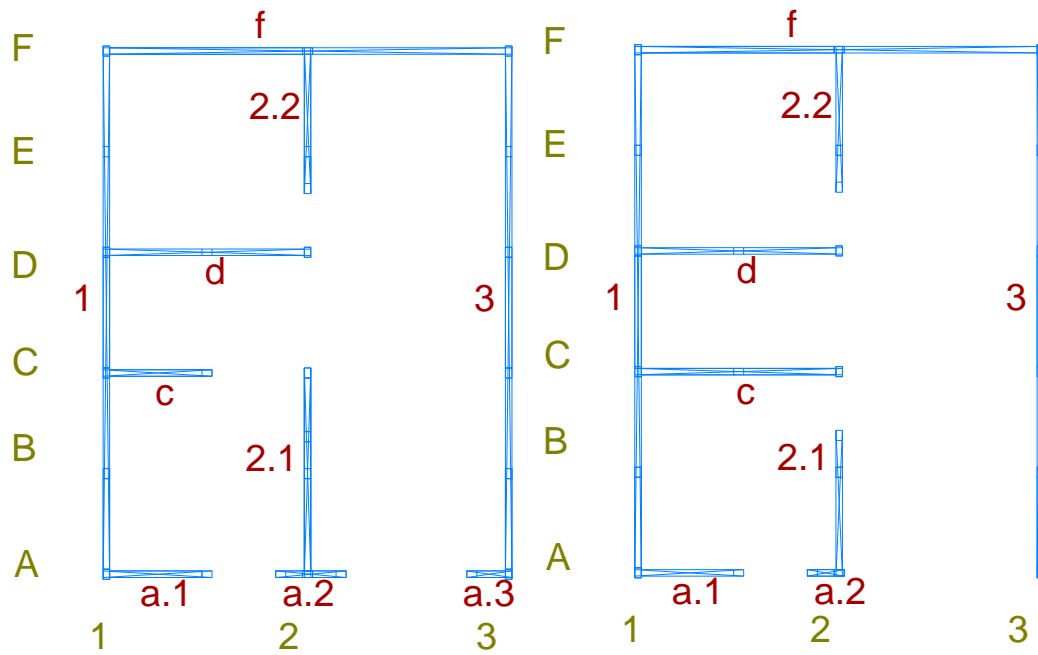
Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan teori dan penelitian yang telah dilakukan untuk menganalisa tegangan geser yang terjadi pada bangunan rumah tinggal dua lantai akibat perbedaan jenis bata merah dengan metode respon spektrum dan MDOF.

3.2 Model Rumah

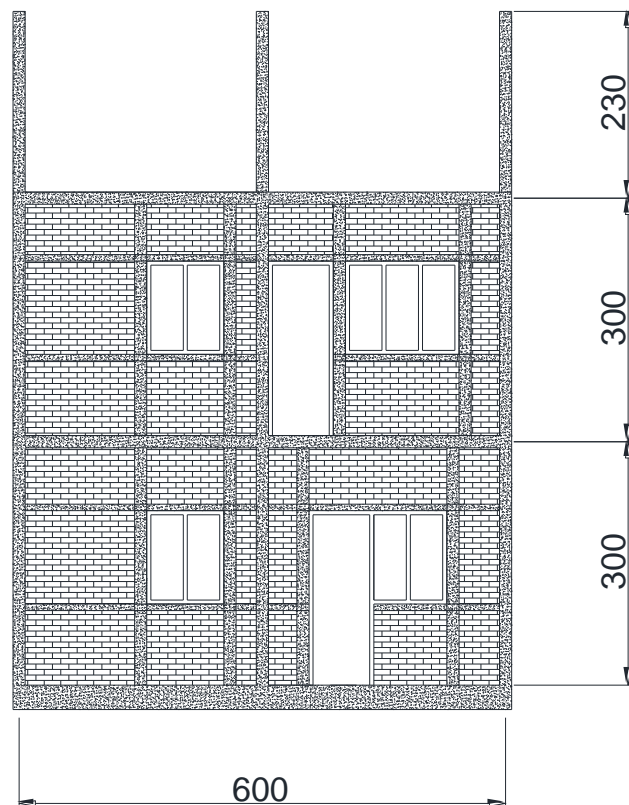
Rumah akan didesain dengan asumsi dinding menyatu dengan struktur sehingga batu bata dapat terkekang dengan baik. Desain rumah yang digunakan adalah rumah tinggal 2. Desain rumah tinggal 2 lantai memiliki luas bangunan 93 m² dengan luas tanah 72 m².



Gambar 3.1 Denah rumah tipe 93/72



Gambar 3.2 Penamaan panel dinding



Gambar 3.3 Tampak depan struktur dan dinding bata

Spesifikasi teknis:

- Pondasi : Batu kali
- Struktur : Beton bertulang
- Dinding : Bata Merah
- Rangka Atap: Baja Ringan
- Penutup atap: Keramik/morando
- Kusen : Beton
- Daun pintu : Kayu
- Pintu KM : PVC
- Lantai : 60 x 60

3.3 Persiapan Data Material

Material pasangan dinding bata merah dari Kota Kediri dan Tulungagung. Karakteristik material diambil dari penelitian terdahulu

3.3.1 Dinding bata merah

Berikut adalah dimensi yang digunakan dalam analisis

Tabel 3.1 Dimensi batu bata

	Lebar dinding bata (cm)
Kediri	9.73
Tulungagung	10.39

3.3.2 Modulus elastisitas

Modulus elastisitas diambil bata merah yang berasal dari Kediri dan Tulungagung berdasarkan penelitian Wisnumurti dkk. dan dianalisa linier. Angka modulus elastisitas yang digunakan merupakan hasil penelitian terhadap beban searah dinding. Modulus elastisitas dinding pasangan bata merah Kediri dan Tulungagung

Tabel 3.2 Modulus elastisitas batu bata

Lokasi	Modulus elastisitas model dinding bata (kg/cm ²)	
	Beban perpendicular joint	Beban parallel joint
Kediri	1307.69	1675.38
Tulungagung	828.16	2206.89

3.3.3 Rasio Poisson

Rasio Poisson diambil dari pasangan bata merah yang berasal dari Kediri dan Tulungagung berdasarkan penelitian Yonathan. Pada penelitiannya angka yang didapat merupakan hasil dari uji pasangan bata dengan 3 lapis spesi dan dengan asumsi bahwa dengan benda uji tersebut dapat mewakili rasio poisson dinding pasangan bata merah.

Tabel 3.3 Nilai rasio Poisson batu bata

Lokasi	Rasio Poisson rata-rata model SII dan ASTM
Kediri	0.142 ± 0.011
Tulungagung	0.289 ± 0.159

3.3.4 Massa jenis

Massa jenis yang digunakan adalah hasil dari pemodelan pasangan bata seluas 1 m².

Berikut adalah massa jenis dinding pasangan bata merah:

Tabel 3.4 Nilai berat jenis pasangan bata

Lokasi	Berat jenis (kg/m ³)
Kediri	1677.119
Tulungagung	1691.808

3.3.5 Modulus geser

Dengan perhitungan menggunakan persamaan modulus geser, didapatkan nilai besaran modulus geser dari pasangan batu bata Kediri dan Tulungagung, yaitu:

Tabel 3.5 Modulus geser batu bata

Lokasi	Modulus geser (Kg/cm ²)
Kediri	572.5438
Tulungagung	753.23

3.3.6 Dimensi elemen struktur

Balok dan kolom praktis akan didesain minimum menurut Meli dkk. (2013). Dimensi dan tulangan yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 3.4. Pondasi yang digunakan adalah pondasi menerus batu kali dengan mortar.

Tabel 3.6 Dimensi elemen struktur

Lokasi	Elemen	Dimensi (cm x cm)	Jumlah dan dimensi tulangan
Kediri	Kolom Praktis	15 x 9.73	4 - Ø 12
	Balok Praktis	15 x 9.73	4 - Ø 12
	Balok Sloof	30 x 9.73	4 - Ø 12
Tulungagung	Kolom Praktis	15 x 10.39	4 - Ø 12
	Balok Praktis	15 x 10.39	4 - Ø 12
	Balok Sloof	30 x 10.39	4 - Ø 12

Beton yang akan digunakan setara dengan K-175. Mutu besi yang digunakan adalah U-24 ($F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$) dimana F_y adalah tegangan leleh besi. Selimut beton yang digunakan sebesar 2.5 cm.

3.4 Pembebanan

3.4.1 Beban mati

Beban mati ditetapkan berdasarkan penjumlahan beban gravitasi yaitu berat sendiri elemen struktur dan berat non-struktur yang ada. Berdasarkan peraturan pembebanan indonesia untuk komponen rumah adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Beban mati rumah tinggal

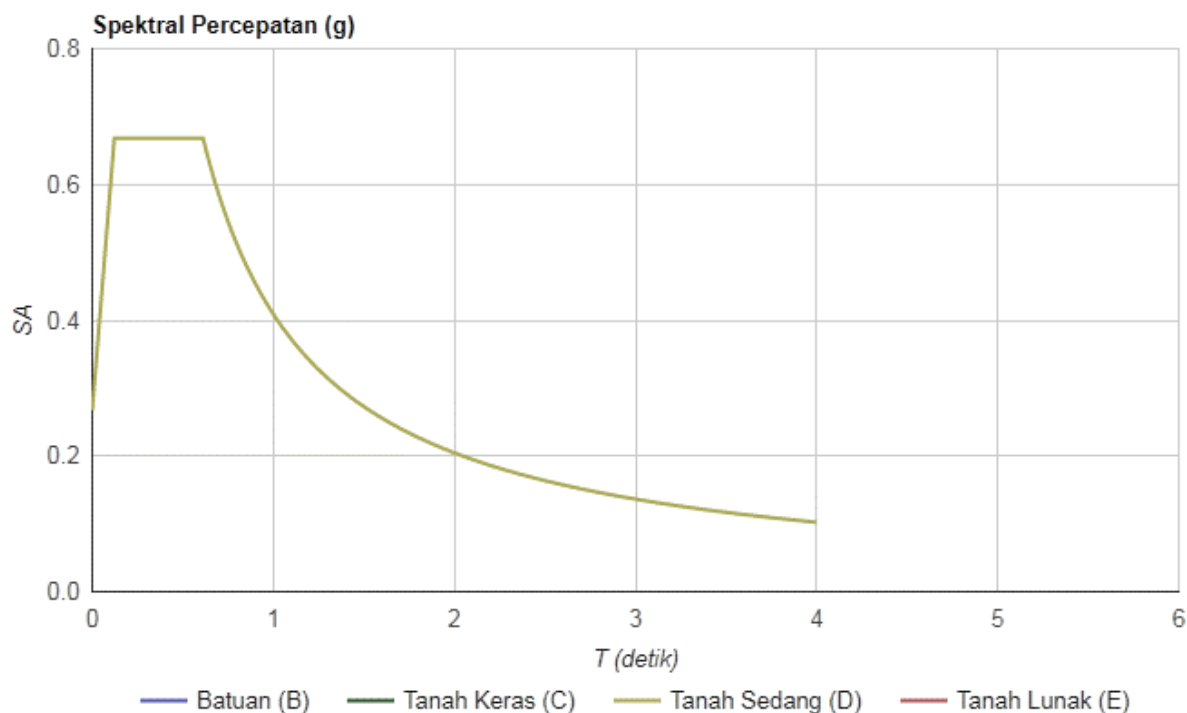
Komponen	Beban
Beton bertulang	2400 kg/m ³
Spesi lantai keramik	42 kg/m ²
Penutup lantai keramik	24 kg/m ²
Plafond dan penggantung	18 kg/m ²
ME	20 kg/m ²

3.4.2 Beban hidup

Beban hidup atap berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia digunakan sebesar 100 kg/m² dengan penampang datar dan beban hidup lantai digunakan sebesar 125 kg/m² dengan asumsi rumah tinggal sederhana yang bukan untuk toko, pabrik, atau bengkel.

3.4.3 Beban gempa rencana

Beban gempa yang digunakan berupa respon spektrum berdasarkan model respon spektrum menurut Puskim PU, dengan *Peak Ground Acceleration*, PGA = 0.439 g dengan probabilitas 1% dalam 50 tahun.



Gambar 3.4 Grafik spektrum respons Kota Blitar untuk tanah sedang

Kombinasi beban gempa rencana yang digunakan adalah 100% di suatu arah ditambah 30% di arah tegak lurus nya dan sebaliknya. Kombinasi pembebanan horizontal ini juga dikombinasikan lagi dengan 67% arah vertikal. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar bangunan mampu memikul gempa yang datangnya dari sembarang arah.

Tabel 3.8 Parameter-parameter respon spektral percepatan kota blitar pada tanah sedang

Variabel	Nilai
PGA (g)	0.439
SS (g)	0.870
S1 (g)	0.369
CRS	1.005
CR1	0.944
FPGA	1.064
FA	1.152
FV	1.662
PSA (g)	0.464
SMS (g)	1.002
SM1 (g)	0.613
SDS (g)	0.668
SD1 (g)	0.409
T0 (detik)	0.122
TS (detik)	0.612

Tabel 3.9 Hubungan spektral percepatan dan waktu pada tanah sedang

T (detik)	SA (g)	T (detik)	SA (g)
0	0.267	1.4	0.194
T0	0.668	1.5	0.185
TS	0.668	1.6	0.177
0	0.574	1.7	0.169
0.1	0.503	1.8	0.163
0.2	0.448	1.9	0.156
0.3	0.404	2	0.151
0.4	0.368	2.1	0.145
0.5	0.337	2.2	0.140
0.6	0.312	2.3	0.136
0.7	0.289	2.4	0.131
0.8	0.270	2.5	0.127
0.9	0.254	2.6	0.123
1	0.239	2.7	0.120
1.1	0.226	2.8	0.116
1.2	0.214	2.9	0.113
1.3	0.203	4	0.102

3.4.4 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan yang dipakai merupakan kombinasi pembebanan yang umum berdasarkan SNI 03-1726-2002:

1. $U = 1.4 DL$
2. $U = 1.2 DL + 1.6 LL$

Dimana:

U = Beban ultimate

DL = Beban mati

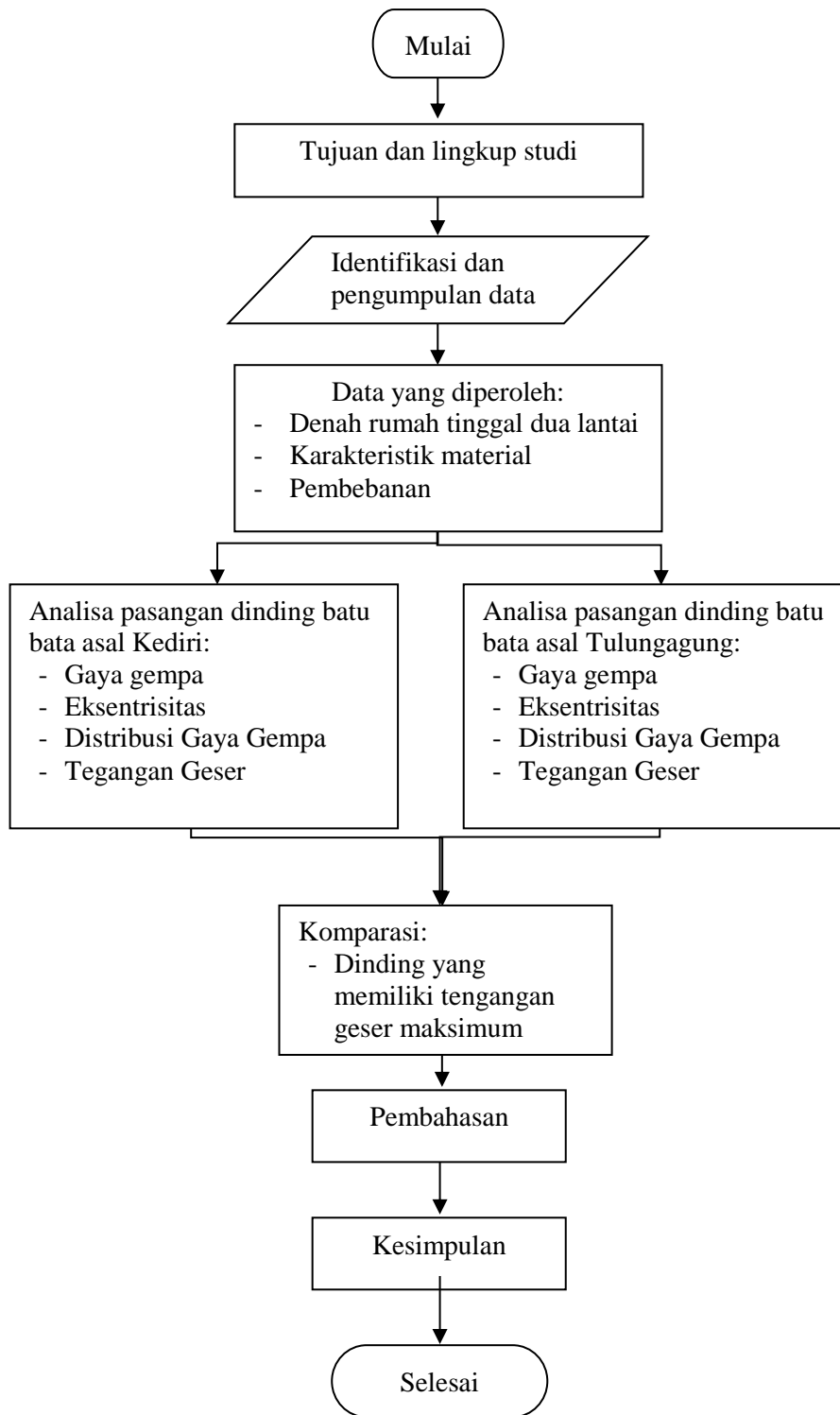
LL = Beban hidup

3.5 Prosedur Analisis

Analisis dimulai dengan memodelkan rumah dengan software AutoCAD. Kemudian dengan luasan yang didapat dari model rumah, menghitung beban mati dan beban hidup yang terjadi. Setelah ditemukan beban mati dan beban hidup, menghitung kekakuan dinding dan kolom sehingga didapatkan gaya gempa yang terjadi di tiap lantai dan tiap mode. Dengan gaya gempa yang telah ditemukan, memperhitungkan pusat massa dan pusat kekakuan untuk mencari eksentrisitas yang terjadi. Dengan adanya gaya dan eksentrisitas, dapat ditemukan distribusi gaya yang terjadi pada dinding dan dengan dibagi luas penampang dinding yang menahan gaya sehingga dapat ditemukan tegangan geser yang terjadi.

3.6 Diagram Alur Penelitian

Pada bagian ini diuraikan garis besar langkah-langkah dalam perencanaan dan penyusunan laporan yang ditampilkan dalam diagram alir (*flow chart*) sebagai berikut:



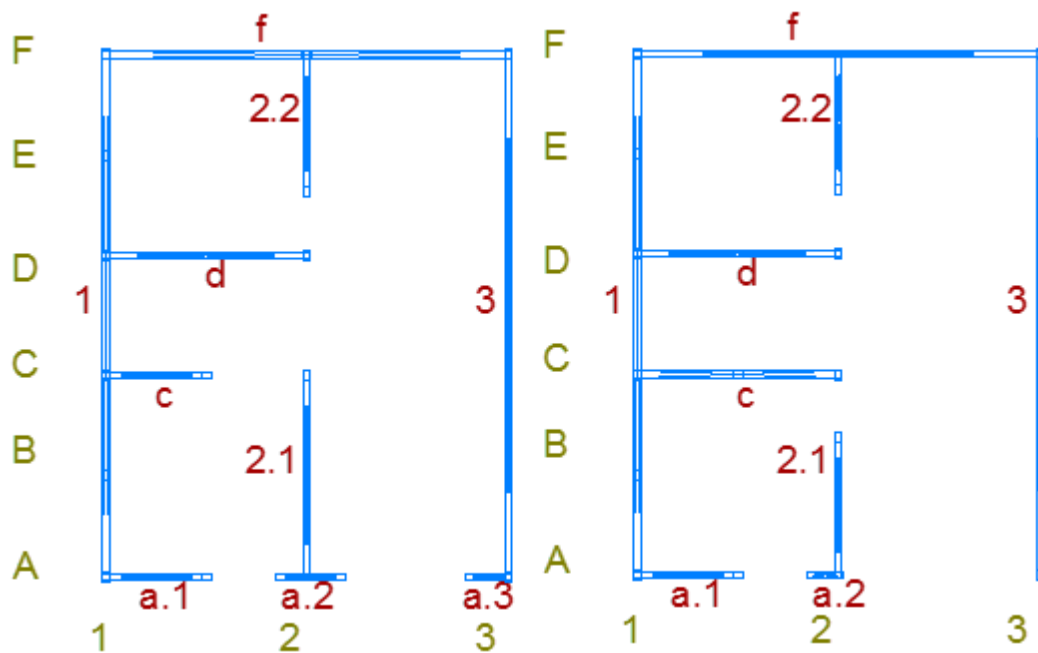
Gambar 3.5 Diagram alur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan

Model struktur yang akan dianalisis adalah model rumah dua lantai. Model rumah didapatkan dari brosur. Untuk perencanaan elemen struktur tidak sesuai yang dilampirkan, melainkan dengan melakukan perencanaan sendiri dengan panduan Meli dkk. (2011). Pemodelan struktur rumah tinggal dua lantai dilakukan secara tiga dimensi untuk mengetahui letak geografis struktur dan volume yang sesuai dengan model.

Pemodelan denah dilakukan dengan menggunakan *software* AutoCAD yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini. Pemodelan ini hanya menggambarkan bagian struktur yang menerima distribusi gaya gempa yaitu dinding batu bata dan kolom praktis.



Gambar 4.1 Model rumah lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)

4.2 Detail Elemen Struktur

Elemen struktur yang digunakan pada pemodelan adalah sebagai berikut:

1. Kolom praktis

Kolom praktis yang digunakan sesuai dengan lebar batu bata dengan panjang 15 cm.

Mutu beton untuk kolom praktis menggunakan K-175 yang kemudian dikonversi

menjadi silinder dengan $E = 18085.12 \text{ kg/cm}^2$. Berikut adalah tabel detail kolom praktis:

Tabel 4.1 Detail kolom praktis

Lokasi	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	L (cm)	kc (kg/cm)
Kediri	9.73	15	145.95	2736.56	300	21.996
	15	9.73	145.95	1151.46	300	9.26
Tulungagung	10.39	15	155.85	2922.19	300	23.49
	15	10.39	155.85	1402.03	300	11.27

Pemasangan bata dengan $h = 15 \text{ cm}$ selanjutnya diberikan konotasi kc 1 dan bata dengan $h = 9.73 \text{ cm}$ selanjutnya diberikan konotasi kc 2. Berikut contoh perhitungan kc 1 (kekakuan kolom 1):

$$kc 1 = \frac{12EI}{h^3} = \frac{12 \times 18085.12 \times 2736.56}{300^3} = 21.996 \text{ kg/cm}$$

2. Balok praktis

Balok praktis yang digunakan memiliki lebar sesuai dengan ketebalan batu bata masing-masing daerah dengan ketebalan 15 cm untuk balok induk dan 30 cm untuk balok sloof.

Tabel 4.2 Detail balok praktis

Lokasi		h (cm)	b (cm ²)
Kediri	Balok induk	15	9.73
	Balok sloof	30	9.73
Tulungagung	Balok induk	15	10.39
	Balok sloof	30	10.39

3. Dinding batu bata

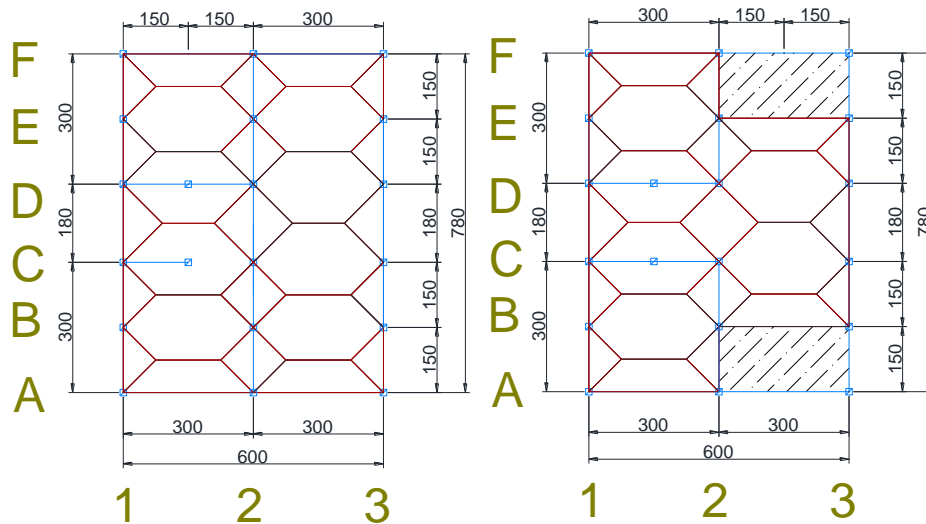
Karakteristik dinding yang berpengaruh terhadap penelitian ini adalah dimensi (terutama tebal batu bata), modulus elastisitas, modulus geser, dan berat jenis dari masing-masing dinding. Berikut tabel 4.3 yang membandingkan karakteristik batu bata Kediri dan Tulungagung:

Tabel 4.3 Karakteristik dinding batu bata

Lokasi	b (cm)	E (kg/cm ²)	Gm (kg/cm ²)	γ_d (cm ⁴)
Kediri	9.73	1307.69	572.54	1677.12
Tulungagung	10.39	828.16	753.23	1691.81

4.3 Beban Bangunan

Untuk mengetahui beban bangunan secara terperinci, dilakukan 2 metode perhitungan. Untuk beban yang tidak terbagi merata dilakukan perhitungan sesuai portal. Untuk beban yang terbagi merata dilakukan perhitungan berdasarkan luas distribusi beban yang dapat kita lihat di gambar 4.2.



Gambar 4.2 Distribusi beban merata rumah lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)

Luas beban yang didapat digunakan untuk menghitung volume dan dengan mengalikan berat jenis masing-masing elemen sehingga didapatkan berat bagian yang ditinjau. Gambar detail setiap portal dapat dilihat lebih lengkap pada lampiran 1 untuk bata Kediri dan lampiran 2 untuk bata Tulungagung.

Perhitungan beban lengkap terdapat pada lampiran 3 untuk bata Kediri dan lampiran 4 untuk bata Tulungagung. Cara perhitungan beban untuk portal A bata Kediri dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perhitungan beban mati portal A bata Kediri

Beban Mati						Keterangan
0.5 kolom bawah	0.5	0.102165	3	$2400 \text{ kg/m}^3 =$	367.79	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.072975	3	$2400 \text{ kg/m}^3 =$	262.71	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.1528	$2400 \text{ kg/m}^3 =$	180.49	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	2.4028	$1677.12 \text{ kg/m}^3 =$	558.74	Lantai 2
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	1.6264	$1677.12 \text{ kg/m}^3 =$	358.29	
Total Beban Mati					1728.03	
0.5 kolom bawah	0.5	0.072975	3	$2400 \text{ kg/m}^3 =$	262.71	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	0.8031	$2400 \text{ kg/m}^3 =$	28.13	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	1.6264	$1677.12 \text{ kg/m}^3 =$	132.70	
Total Beban Mati					423.54	

Contoh perhitungan kolom bawah portal A:

0.5 kolom bawah = 0.5 x jumlah kolom x luas 1 kolom (m²) x tinggi kolom (m) x berat jenis (kg/m³)

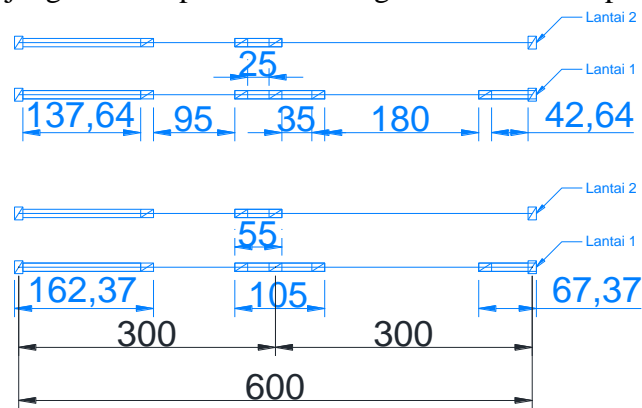
$$\begin{aligned}
 &= 0.5 \times 7 \times 0.014595 \times 3 \times 2400 \\
 &= 0.5 \times 0.102165 \times 3 \times 2400 \\
 &= 367.79 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas 1 kolom} &= 9.73 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \\
 &= 145.95 \text{ cm}^2 = 0.014595 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan balok portal A:

$$\begin{aligned}
 \text{Balok 15 cm} &= \text{tinggi balok (m)} \times \text{tebal balok (m)} \times \text{panjang balok (m)} \\
 &= 0.15 \times 0.0973 \times 5.1528 \\
 &= 0.5 \times 0.102165 \times 3 \times 2400 \\
 &= 367.79 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan panjang balok dapat dilihat dari gambar 4.3 detail portal A.



Gambar 4.3 Detail portal A bata Kediri

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang balok} &= 1.3764 + 0.95 + 0.25 + 0.35 + 1.8 + 0.4264 \\
 &= 5.1528 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah tabel rekap beban yang didapat:

Tabel 4.5 Beban bata Kediri

Portal	Beban Mati Lantai 1 (kg)	Beban Hidup Lantai 1 (kg)	Beban Mati Lantai 2 (kg)	Beban Hidup Lantai 2 (kg)
A	1728.028		423.541954	
B	518.6036		360.977551	
C	955.3459		632.874869	
D	1067.649		632.874869	
E	518.6036		360.977551	
F	1455.524		828.516612	
1	2027.896		1137.42187	
2	1881.619		1001.04597	
3	2027.896		1137.42187	
MERATA	18345.6	5850	1436.4	3780

Tabel 4.6 Beban bata Tulungagung

Portal	Beban Mati Lantai 1 (kg)	Beban Hidup Lantai 1 (kg)	Beban Mati Lantai 2 (kg)	Beban Hidup Lantai 2 (kg)
A	1851.136		626.892991	
B	553.2874		384.969449	
C	1021.936		676.83053	
D	1142.616		676.83053	
E	551.5669		383.248865	
F	1561.627		888.279082	
1	2176.211		1219.95465	
2	2013.878		1070.83255	
3	2176.211		1219.95465	
MERATA	18345.6	5850	1436.4	3780

Dengan kombinasi beban maksimum $U = 1.2DL + 1.6LL$, didapatkan beban ultimate pada bata Kediri dan Tulungagung. Berikut tabel beban ultimate bata Kediri dan Tulungagung:

Tabel 4.7 Beban ultimate

Lokasi	Beban Lantai 1 (kg)	Beban Lantai 2 (kg)
Kediri	45992.12	15590.46
Tulungagung	47032.88	16349.03

4.4. Kekakuan dinding

Perhitungan kekakuan dinding dilakukan dengan melakukan penamaan terhadap seluruh dinding yang berpengaruh menahan gaya gempa. Dengan menggunakan persamaan (2-13) kekakuan dinding dapat dihitung dengan modulus elastisitas, momen inersia, luas geser, dan modulus geser yang telah diketahui. Berikut tabel 4.8 hasil rekap dari perhitungan kekakuan bata Kediri dan tabel 4.9 untuk kekakuan bata Tulungagung.

Tabel 4.8 Kekakuan bata Kediri

Lokasi	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	heff (cm)	Em (kg/cm ²)	I (cm ⁴)	Gm (kg/cm ²)	kd (kg/cm)	kc (kg/cm)	keterangan kolom	keterangan lantai
A-1	9.73	162.37	1579.86	285.00	1307.69	3470954.86	572.54	1351.19			Lantai 1
A-2	9.73	105.00	1021.65	285.00	1307.69	938640.94	572.54	485.71			
A-3	9.73	67.37	655.51	285.00	1307.69	247931.23	572.54	149.05			
B									27.77	3 kc2	
C	9.73	162.37	1579.86	285.00	1307.69	3470954.86	572.54	1351.19	18.51	2 kc2	
D	9.73	309.73	3013.67	285.00	1307.69	24092474.71	572.54	4416.89	9.26	1 kc2	
E									27.77	3 kc2	
F	9.73	609.73	5932.67	285.00	1307.69	183799483.01	572.54	10877.76			
1	9.73	795.00	7735.35	285.00	1307.69	407411215.31	572.54	14711.94			
2-1	9.73	312.37	3039.36	285.00	1307.69	24713801.09	572.54	4474.91	22.00	1 kc1	
2-2	9.73	217.37	2115.01	285.00	1307.69	8327802.37	572.54	2424.27			
3	9.73	795.00	7735.35	285.00	1307.69	407411215.31	572.54	14711.94			
A-1	9.73	162.37	1579.86	270.00	1307.69	3470954.86	572.54	1515.45	9.26	1 kc2	Lantai 2
A-2	9.73	55.00	535.15	270.00	1307.69	134902.40	572.54	98.24			
B									27.77	3 kc2	
C	9.73	309.73	3013.67	270.00	1307.69	24092474.71	572.54	4795.19	9.26	1 kc2	
D	9.73	309.73	3013.67	270.00	1307.69	24092474.71	572.54	4795.19	9.26	1 kc2	
E									27.77	3 kc2	
F	9.73	609.73	5932.67	270.00	1307.69	183799483.01	572.54	11585.76			
1	9.73	795.00	7735.35	270.00	1307.69	407411215.31	572.54	15614.52			
2-1	9.73	217.37	2115.01	270.00	1307.69	8327802.37	572.54	2676.77	43.99	2 kc1	
2-2	9.73	217.37	2115.01	270.00	1307.69	8327802.37	572.54	2676.77			
3	9.73	795.00	7735.35	270.00	1307.69	407411215.31	572.54	15614.52			

Tabel 4.9 Kekakuan bata Tulungagung

Lokasi	b (cm)	h (cm)	A (cm ²)	heff (cm)	Em (kg/cm ²)	I (cm ⁴)	Gm (kg/cm ²)	kd (kg/cm)	kc (kg/cm)	keterangan kolom	keterangan lantai
A-1	10.39	162.70	1690.45	285.00	828.16	3729039.30	753.23	1178.57			Lantai 1
A-2	10.39	105.00	1090.95	285.00	828.16	1002310.31	753.23	374.42			
A-3	10.39	67.70	703.40	285.00	828.16	268658.33	753.23	108.60			
B									33.81	3 kc2	
C	10.39	162.70	1690.45	285.00	828.16	3729039.30	753.23	1178.57	22.54	2 kc2	
D	10.39	310.39	3224.95	285.00	828.16	25891515.06	753.23	4824.10	11.27	1 kc2	
E									33.81	3 kc2	
F	10.39	610.39	6341.95	285.00	828.16	196904903.49	753.23	13987.69			
1	10.39	795.00	8260.05	285.00	828.16	435046508.44	753.23	19545.91			
2-1	10.39	312.70	3248.95	285.00	828.16	26473901.29	753.23	4891.25	23.49	1 kc1	
2-2	10.39	217.70	2261.90	285.00	828.16	8933252.07	753.23	2336.27			
3	10.39	795.00	8260.05	285.00	828.16	435046508.44	753.23	19545.91			
A-1	10.39	162.70	1690.45	270.00	828.16	3729039.30	753.23	1345.58	11.27	1 kc2	Lantai 2
A-2	10.39	55.00	571.45	270.00	828.16	144053.02	753.23	69.56			
B									33.81	3 kc2	
C	10.39	310.39	3224.95	270.00	828.16	25891515.06	753.23	5329.16	11.27	1 kc2	
D	10.39	310.39	3224.95	270.00	828.16	25891515.06	753.23	5329.16	11.27	1 kc2	
E									33.81	3 kc2	
F	10.39	610.39	6341.95	270.00	828.16	196904903.49	753.23	15019.51			
1	10.39	795.00	8260.05	270.00	828.16	435046508.44	753.23	20855.50			
2-1	10.39	217.70	2261.90	270.00	828.16	8933252.07	753.23	2630.29	46.98	2 kc1	
2-2	10.39	217.70	2261.90	270.00	828.16	8933252.07	753.23	2630.29			
3	10.39	795.00	8260.05	270.00	828.16	435046508.44	753.23	20855.50			

Contoh perhitungan untuk dinding portal A lantai 1:

$$k = \frac{1}{\frac{h_{eff}^3}{12E_m I_g} + \frac{h_{eff}}{A_p G_m}} = \frac{1}{\frac{285^3}{12 \times 1307.69 \times \frac{9.73 \times 162.37^3}{12}} + \frac{285}{1579.86 \times 572.54}} = 1351.19 \text{ kg/cm}$$

Dari penjumlahan kekakuan masing-masing dinding didapatkan total kekakuan lantai 1 dan 2 dari masing-masing bata yang direkap menjadi tabel 4.10.

Tabel 4.10 Rekap kekakuan bata

Lokasi	Lantai 1 (kg/cm)	Lantai 2 (kg/cm)
Kediri	55060.13	59499.70
Tulungagung	68096.19	74212.95

4.5 Analisis Dinamik MDOF

4.5.1 Analisis dinamik Kediri

Dengan gaya gravitasi sebesar 9.81 m/s^2 , beban bata Kediri lantai satu sebesar 45992.12 kg sama dengan $m_1 = 46.8829 \text{ kgs}^2/\text{cm}$. Sedangkan beban lantai dua sebesar 15590.46 kg sama dengan $m_2 = 15.8924 \text{ kgs}^2/\text{cm}$. Kekakuan lantai satu $k_1 = 55060.13 \text{ kg/cm}$ dan lantai dua $k_2 = 59499.70 \text{ kg/cm}$. lalu semua variable dimasukkan ke persamaan (2-6) untuk mencari nilai ω .

$$(m_1 m_2) \omega^4 + (-m_1 k_2 - m_2 (k_1 + k_2)) \omega^2 + (k_1 + k_2) k_2 - (-k_2)^2 = 0$$

$$745.08 \omega^4 - 4610150.86 \omega^2 + 3540213866 = 0$$

$$\omega_1^2 = 898.3466 \text{ (rad/s)}^2 \quad \omega_1 = 29.9724 \text{ rad/s} \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.2096 \text{ s}$$

$$\omega_2^2 = 5289.111 \text{ (rad/s)}^2 \quad \omega_2 = 72.7263 \text{ rad/s} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.0864 \text{ s}$$

Mencari perpindahan ($x = \Phi$) *Mode Shape* 1 ($\omega_1 = 29.9724 \text{ rad/s}$)

$$\begin{bmatrix} k_2 - \omega_1^2 m_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 - \omega_1^2 m_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 45222.7956 & -59500 \\ -59500 & 72442.7437 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

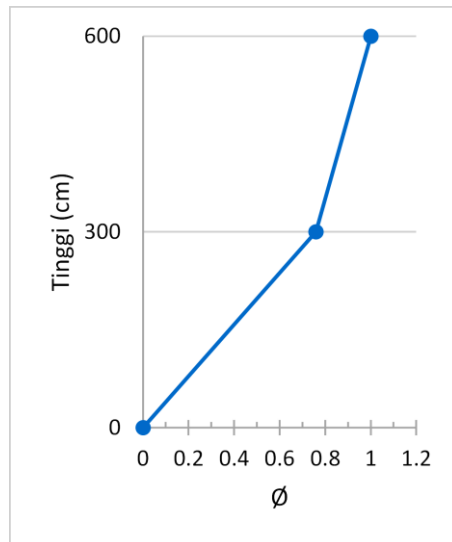
Dengan asumsi bahwa $\Phi_{21} = 1$, maka

$$\begin{bmatrix} 45222.7956 & -59500 \\ -59500 & 72442.7437 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$45222.7956 - 59500 \Phi_{11} = 0$$

$$\Phi_{11} = \frac{45222.7956}{59500} = 0.76$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.76 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



Gambar 4.4 Mode shape 1 bata Kediri

Mencari perpindahan ($x = \Phi$) Mode Shape 2 ($\omega_2 = 72.7263$ rad/s)

$$\begin{bmatrix} k_2 - \omega_2^2 m_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 - \omega_2^2 m_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -24557.0749 & -59500 \\ -59500 & -133408.9975 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

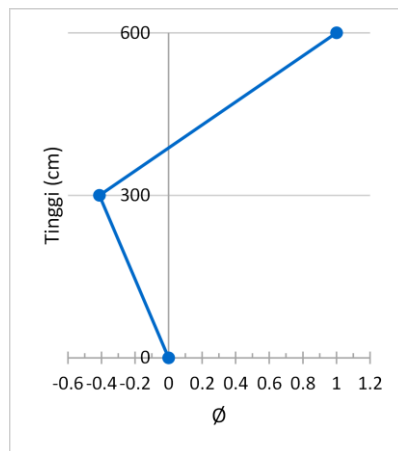
Dengan asumsi bahwa $\Phi_{21} = 1$, maka

$$\begin{bmatrix} -24557.0749 & -59500 \\ -59500 & -133408.9975 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$-24557.0749 - 59500 \Phi_{12} = 0$$

$$\Phi_{12} = \frac{-24557.0749}{59500} = -0.4127$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.4127 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



Gambar 4.5 Mode shape 2 bata Kediri

Setelah ditemukan perpindahan pada setiap lantai dan *mode shape*, pembagian beban gempa pada tiap lantai dilakukan dengan hasil analisis respon spektrum dengan data yang telah didapat pada tabel 2.12 dan dilanjutkan dengan menghitung respons percepatan desain berdasarkan sub-bab 2.6.2 dan koefisien desain seismik tiap *mode shape* dan lantai yang ditabelkan pada tabel 4.11.

$$S_{DS} (g) = 0.668$$

$$S_{D1} (g) = 0.409$$

$$T_0 (s) = 0.122$$

$$T_s (s) = 0.612$$

$$I = 1$$

$$R = 1.25$$

$$T_1 (s) = 0.2096$$

$$T_2 (s) = 0.0864$$

$$S_{a1} (g) = 0.668$$

$$S_{a2} (g) = 0.551$$

$S_{a1} (g) = S_{DS} (g)$ karena $T_0 < T_1 \leq T_s$, sedangkan $S_{a2} (g)$ dihitung dengan rumus (2-9) karena $T_2 < T_0$.

$$S_{a2} (g) = S_{DS} \times \left(0.4 + 0.6 \times \left(\frac{T}{T_0} \right) \right) = 0.668 \times \left(0.4 + 0.6 \times \left(\frac{0.0864}{0.122} \right) \right) = 0.551$$

Sehingga $A_1 = \frac{I \times S_a(g)}{R} = \frac{1 \times 0.668 \times 981}{1.25} = 524.246 \text{ cm/s}^2$ dan $A_2 = \frac{I \times S_a(g)}{R} = \frac{1 \times 0.551 \times 981}{1.25} = 432.447 \text{ cm/s}^2$.

Tabel 4.11 Perhitungan mode partisipasi faktor bata Kediri

Lantai (i)	m_i	ϕ_{i1}	$m_i \cdot \phi_{i1}$	$m_i \cdot (\phi_{i1})^2$	ϕ_{i2}	$m_i \cdot \phi_{i2}$	$m_i \cdot (\phi_{i2})^2$
1	46.8829	0.7601	35.6334	27.0832	-0.4127	-19.3498	7.9862
2	15.8924	1.0000	15.8924	15.8924	1.0000	15.8924	15.8924
Σ	62.7753		51.5258	42.9756		-3.4574	23.8786

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_1 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i1}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i1})^2} = \frac{51.5258}{42.9756} = 1.19895$$

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_2 = \frac{\Sigma m_i \cdot \phi_{i2}}{\Sigma m_i \cdot (\phi_{i2})^2} = \frac{-3.4574}{23.8786} = -0.1448$$

Gaya gempa f untuk lantai i mode k didapatkan dengan

$$f_{ik} = A \text{ (cm/s}^2\text{)} \times \phi_{ik} \times P_k \times M_i \text{ (kg.s}^2\text{/cm)}$$

$$f_{11} = 524.246 \times 0.7601 \times 1.1990 \times 46.8829 = 22397.2816 \text{ Kg}$$

$$f_{12} = 432.447 \times -0.4127 \times -0.1448 \times 46.8829 = 1211.5662 \text{ Kg}$$

$$f_{21} = 524.246 \times 1.0000 \times 1.1990 \times 15.8924 = 9989.1439 \text{ Kg}$$

$$f_{22} = 432.447 \times 1.0000 \times -0.1448 \times 15.8924 = -995.0866 \text{ Kg}$$

Gaya gempa yang terjadi kemudian didistribusikan ke setiap dinding yang menyokong satu kesatuan lantai dengan kekakuan sebagai acuan. Gaya gempa yang diterima setiap

dinding dapat dilihat pada tabel 4.12 untuk gaya gempa lantai 1 dan tabel 4.13 untuk gaya gempa lantai 2.

Tabel 4.12 Gaya gempa pada dinding bata Kediri lantai 1

Dinding		k (kg/cm)	Persentase (%)	Mode 1 (Kg)	Mode 2 (Kg)	Keterangan
A	1	1351.191	7.220%	549.64	29.73	Arah X
	2	485.707	2.595%	197.58	10.69	
	3	149.045	0.796%	60.63	3.28	
B						
C		1351.191	7.220%	549.64	29.73	
D		4416.889	23.601%	1796.70	97.19	
E						
F		10877.764	58.123%	4424.84	239.36	
Kc		83.297	0.445%	33.88	1.83	
	Jumlah	18715.083	100%	7612.89	411.81	
1		14711.940	40.479%	5984.50	323.73	Arah Y
	1	4474.906	12.312%	1820.30	98.47	
	2	2424.268	6.670%	986.14	53.34	
3		14711.940	40.479%	5984.50	323.73	
Kc		21.996	0.061%	4.61	0.25	
	Jumlah	36345.051	100%	14784.39	799.75	

Untuk gaya gempa lantai 1 *mode shape* 1 didapatkan sebesar 22397.2816 kg, kemudian didistribusikan ke dinding arah X dan Y dengan cara membaginya dengan nilai kekakuan total. Berikut contoh perhitungan gaya *mode shape* 1 arah X

$$\text{Gaya mode shape 1} = \frac{\text{kekakuan total arah X}}{\text{kekakuan total arah X dan Y}} \times \text{gaya gempa}$$

$$\text{Gaya mode shape 1} = \frac{18715.083}{18715.083 + 36345.051} \times 22397.2816$$

$$\text{Gaya mode shape 1} = 7612.89 \text{ kg}$$

Tabel 4.13 Gaya gempa pada dinding bata Kediri lantai 2

Dinding		k (kg/cm)	Persentase (%)	Mode 1 (Kg)	Mode 2 (Kg)	Keterangan
A	1	1515.455	6.625%	254.42	-25.34	Arah X
	2	98.240	0.430%	16.49	-1.64	
	3		0.000%			
B		4795.189	20.964%	805.04	-80.20	
C		4795.189	20.964%	805.04	-80.20	
D			0.000%			
E		11585.756	50.652%	1945.08	-193.76	
F		1515.455	6.625%	254.42	-25.34	
Kc		83.297	0.364%	13.98	-1.39	
	Jumlah	22873.127	100%	3840.07	-382.54	
1		15614.523	42.632%	2621.45	-261.14	Arah Y
2	1	2676.765	7.308%	449.39	-44.77	
	2	2676.765	7.308%	449.39	-44.77	
3		15614.523	42.632%	2621.45	-261.14	
Kc		43.992	0.120%	9.14	0.49	
	Jumlah	36626.569	100%	6149.07	-612.55	

Dari perhitungan diatas dapat direkap menjadi tabel 4.14 untuk mempermudah pembacaan gaya gempa tiap arah, lantai, dan mode.

Tabel 4.14 Gaya gempa tiap arah, lantai, dan *mode shape* bata Kediri

	Gaya arah X (kg)	Gaya arah Y (kg)	Mode shape
Lantai 1	7612.89	14784.39	Mode 1
	411.81	799.75	Mode 2
Lantai 2	3840.07	6149.07	Mode 1
	-382.54	-612.55	Mode 2

4.5.2 Analisis dinamik Tulungagung

Dengan gaya gravitasi sebesar 9.81 m/s^2 , beban bata Tulungagung lantai satu sebesar 47033 kg sama dengan $m_1 = 47.9438 \text{ kgs}^2/\text{cm}$. Sedangkan beban lantai dua sebesar 16349 kg sama dengan $m_2 = 16.6657 \text{ kgs}^2/\text{cm}$. Kekakuan lantai satu $k_1 = 68096.19 \text{ kg/cm}$ dan lantai dua $k_2 = 74212.95 \text{ kg/cm}$. lalu semua variable dimasukkan ke persamaan (2-6) untuk mencari nilai ω .

$$(m_1 m_2) \omega^4 + (-m_1 k_2 - m_2 (k_1 + k_2)) \omega^2 + (k_1 + k_2) k_2 - (-k_2)^2 = 0$$

$$799.02 \omega^4 - 5929730.43 \omega^2 + 55075561561.09 = 0$$

$$\omega_1^2 = 1088.44 \text{ (rad/s)}^2 \quad \omega_1 = 32.9915 \text{ rad/s} \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.1905 \text{ s}$$

$$\omega_2^2 = 6332.81 \text{ (rad/s)}^2 \quad \omega_2 = 79.579 \text{ rad/s} \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.079 \text{ s}$$

Mencari perpindahan ($x = \Phi$) *Mode Shape 1* ($\omega_1 = 32.99$ rad/s)

$$\begin{bmatrix} k_2 - \omega_1^2 m_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 - \omega_1^2 m_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 56073.3307 & -74213 \\ -74213 & 90125.1011 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

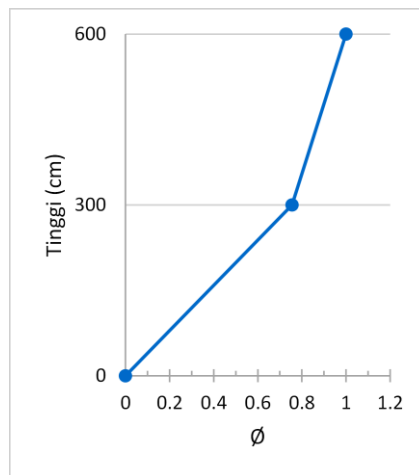
Dengan asumsi bahwa $\Phi_{21}=1$, maka

$$\begin{bmatrix} 56073.3307 & -74213 \\ -74213 & 90125.1011 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$56073.3307 - 74213 \Phi_{11} = 0$$

$$\Phi_{11} = \frac{56073.3307}{74213} = 0.756$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.756 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



Gambar 4.6 *Mode shape 1* bata Tulungagung

Mencari perpindahan ($x = \Phi$) *Mode Shape 2* ($\omega_2 = 79.579$ rad/s)

$$\begin{bmatrix} k_2 - \omega_2^2 m_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_1 + k_2 - \omega_2^2 m_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -31327.68 & -74213 \\ -74213 & -161310.0659 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

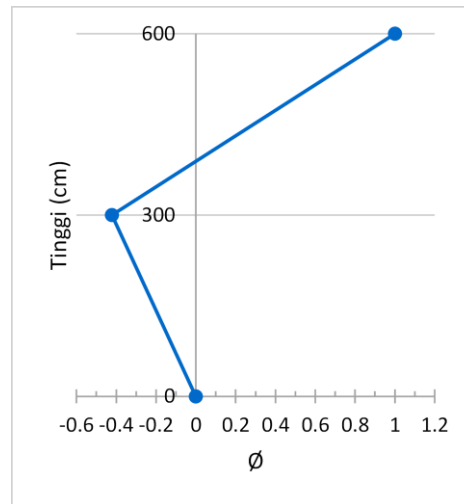
Dengan asumsi bahwa $\Phi_{21}=1$, maka

$$\begin{bmatrix} -31327.68 & -74213 \\ -74213 & -161310.0659 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$-31327.68 - 161310.0659 \Phi_{12} = 0$$

$$\Phi_{12} = \frac{-31327.68}{161310.0659} = -0.42213$$

$$\begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -0.42213 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



Gambar 4.7 Mode shape 2 bata Tulungagung

Setelah ditemukan perpindahan pada setiap lantai dan *mode shape*, pembagian beban gempa pada tiap lantai dilakukan dengan hasil analisis respon spektrum dengan data yang telah didapat pada tabel 2.10 dan dilanjutkan dengan menghitung respons percepatan desain berdasarkan sub-bab 2.6.2 dan koefisien desain seismik tiap *mode shape* dan lantai yang ditabelkan pada tabel 4.15.

$$S_{DS} (g) = 0.668$$

$$S_{D1} (g) = 0.409$$

$$T_0 (s) = 0.122$$

$$T_S (s) = 0.612$$

$$I = 1$$

$$R = 1.25$$

$$T_1 (s) = 0.1904$$

$$T_2 (s) = 0.079$$

$$S_{a1} (g) = 0.668$$

$$S_{a2} (g) = 0.5266$$

$S_{a1} (g) = S_{DS} (g)$ karena $T_0 < T_1 \leq T_S$, sedangkan $S_{a2} (g)$ dihitung dengan rumus (2-9) karena $T_2 < T_0$.

$$S_{a2} (g) = S_{DS} \times \left(0.4 + 0.6 \times \left(\frac{T}{T_0} \right) \right) = 0.668 \times \left(0.4 + 0.6 \times \left(\frac{0.079}{0.122} \right) \right) = 0.5266$$

$$\text{Sehingga } A_1 = \frac{I \times S_a(g)}{R} = \frac{1 \times 0.668 \times 981}{1.25} = 524.2464 \text{ cm/s}^2 \text{ dan } A_2 = \frac{I \times S_a(g)}{R} = \frac{1 \times 0.5266 \times 981}{1.25} = 413.2661 \text{ cm/s}^2.$$

Tabel 4.15 Perhitungan mode partisipasi faktor bata Tulungagung

Lantai (i)	m_i	ϕ_{i1}	$m_i \cdot \phi_{i1}$	$m_i \cdot (\phi_{i1})^2$	ϕ_{i2}	$m_i \cdot \phi_{i2}$	$m_i \cdot (\phi_{i2})^2$
1	47.9438	0.7556	36.2251	27.3707	-0.4221	-20.2386	8.5434
2	16.6657	1.0000	16.6657	16.6657	1.0000	16.6657	16.6657
Σ	64.6095		52.8908	44.0364		-3.5730	25.2091

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_1 = \frac{\sum m_i \cdot \emptyset_{i1}}{\sum m_i \cdot (\emptyset_{i1})^2} = \frac{52.8908}{44.0364} = 1.2011$$

$$\text{Faktor Partisipasi Mode } P_2 = \frac{\sum m_i \cdot \emptyset_{i2}}{\sum m_i \cdot (\emptyset_{i2})^2} = \frac{-3.573}{25.2091} = -0.1417$$

Gaya gempa f untuk lantai i mode k didapatkan dengan

$$f_{ik} = A \text{ (cm/s}^2\text{)} \times \emptyset_{ik} \times P_k \times M_i \text{ (kg.s}^2\text{/cm)}$$

$$f_{11} = 524.2464 \times 0.7556 \times 1.2011 \times 47.9438 = 22809.3466 \text{ Kg}$$

$$f_{12} = 413.2661 \times -0.4221 \times -0.1417 \times 47.9438 = 1185.4452 \text{ Kg}$$

$$f_{21} = 524.2464 \times 1.0000 \times 1.2011 \times 16.6657 = 10493.6508 \text{ Kg}$$

$$f_{22} = 413.2661 \times 1.0000 \times -0.1417 \times 16.6657 = -976.1653 \text{ Kg}$$

Gaya gempa yang terjadi kemudian didistribusikan ke setiap dinding yang menyokong satu kesatuan lantai dengan kekakuan sebagai acuan. Gaya gempa yang diterima setiap dinding dapat dilihat pada tabel 4.16 untuk gaya gempa lantai 1 dan tabel 4.17 untuk gaya gempa lantai 2.

Tabel 4.16 Gaya gempa pada dinding bata Tulungagung lantai 1

Dinding	k	Persentase (%)	Mode 1 (Kg)	Mode 2 (Kg)	Keterangan
A	1	1178.570	5.418%	394.77	Arah X
	2	374.415	1.721%	125.41	
	3	108.598	0.499%	36.38	
B					
C		1178.570	5.418%	394.77	
D		4824.099	22.176%	1615.87	
E					
F		13987.685	64.301%	4685.28	
Kc		101.423	0.466%	33.97	
	Jumlah	21753.361	100%	7286.457	
1		19545.911	42.177%	6547.05	Arah Y
2	1	4891.249	10.554%	1638.36	
	2	2336.269	5.041%	782.55	
3		19545.911	42.177%	6547.05	
Kc		23.488	0.051%	3.69	
	Jumlah	46342.829	100%	15522.89	

Untuk gaya gempa lantai 1 *mode shape* 1 didapatkan sebesar 22809.3466 kg, kemudian didistribusikan ke dinding arah X dan Y dengan cara membaginya dengan nilai kekakuan total. Berikut contoh perhitungan gaya *mode shape* 1 arah X

$$\text{Gaya mode shape 1} = \frac{\text{kekakuan total arah X}}{\text{kekakuan total arah X dan Y}} \times \text{gaya gempa}$$

$$\text{Gaya mode shape 1} = \frac{21753.361}{21753.361 + 46342.829} \times 22809.3466$$

$$\text{Gaya mode shape 1} = 7286.457 \text{ kg}$$

Tabel 4.17 Gaya gempa pada dinding bata Tulungagung lantai 2

Dinding		k (kg/cm)	Persentase (%)	Mode 1 (Kg)	Mode 2 (Kg)	Keterangan
A	1	1345.578	4.948%	190.26	-17.70	Arah X
	2	69.559	0.256%	9.84	-0.91	
	3					
B		5329.161	19.597%	753.54	-70.10	
C		5329.161	19.597%	753.54	-70.10	
D						
E		15019.508	55.230%	2123.75	-197.56	
F		1345.578	4.948%	190.26	-17.70	
Kc		101.423	0.373%	14.34	-1.33	
	Jumlah	27194.390	100%	3845.265	-357.703	
1		20855.499	44.356%	2948.95	-274.32	Arah Y
	1	2630.292	5.594%	371.92	-34.60	
	2	2630.292	5.594%	371.92	-34.60	
3		20855.499	44.356%	2948.95	-274.32	
Kc		46.976	0.100%	7.28	0.38	
	Jumlah	47018.558	100%	6648.386	-618.462	

Dari perhitungan diatas dapat direkap menjadi tabel 4.18 untuk mempermudah pembacaan gaya gempa tiap arah, lantai, dan mode.

Tabel 4.18 Gaya gempa tiap arah, lantai, dan *mode shape* bata Tulungagung

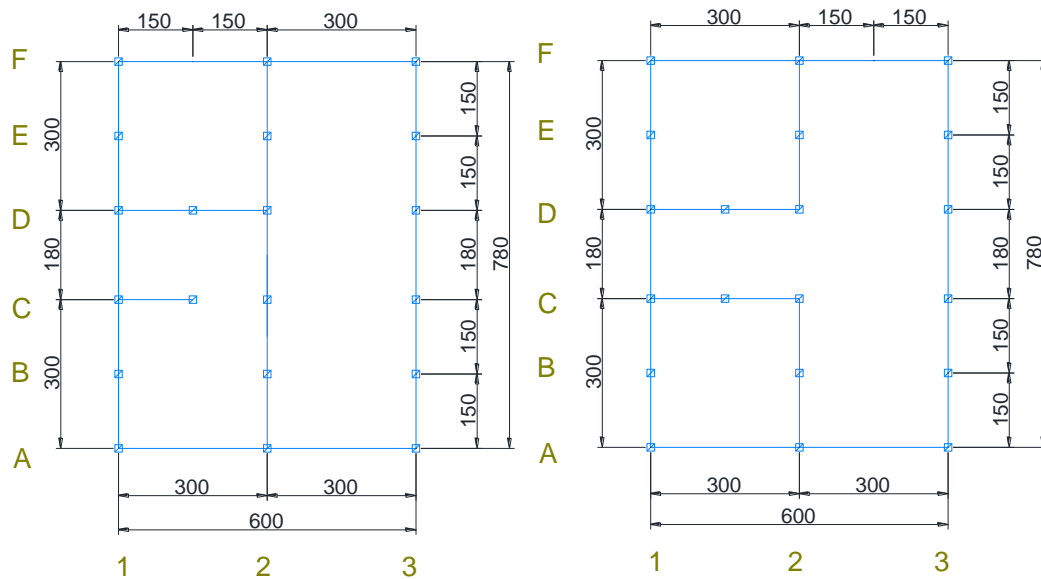
	Gaya arah X (kg)	Gaya arah Y (kg)	<i>Mode shape</i>
Lantai 1	7286.457	15522.89	Mode 1
	378.691	806.7541	Mode 2
Lantai 2	3845.265	6648.386	Mode 1
	-357.703	-618.462	Mode 2

4.6 Eksentrisitas Kekakuan dengan Pusat Beban

Setelah kedua arah gaya pada tiap lantai dan *mode shape* telah diketahui, gaya-gaya tersebut di distribusikan ke masing-masing dinding berdasarkan eksentrisitas untuk mengetahui nilai tegangannya. Hal ini juga dikarenakan momen yang ditimbulkan akibat eksentrisitas terhadap dinding rumah mempunyai dampak yang signifikan. Karena gaya gempa *mode shape* 1 lebih besar daripada *mode shape* 2, maka hanya dilakukan perhitungan pada *mode shape* 1.

4.6.1 Eksentrisitas bata Kediri

Untuk mencari pusat kekakuan dapat dilihat gambar 4.8 untuk mengetahui posisi portal.



Gambar 4.8 Detail denah rumah bata Kediri

Dengan tabel 4.19 dan tabel 4.20 didapatkan kekakuan tiap portal, dengan jarak titik 0,0 (X,Y) ke portal yang ditinjau akan didapatkan koordinat pusat kekakuan. Berikut tabel rekap kekakuan tiap lantai:

Tabel 4.19 Kekakuan dinding bata Kediri lantai 1

Dinding	k dinding (kg/cm)	k kolom (kg/cm)	k tiap portal (kg/cm)	Keterangan
A-1	1351.19		1985.94	Arah X
A-2	485.71			
A-3	149.05			
B		27.77	27.77	Arah Y
C	1351.19	18.51	1369.70	
D	4416.89	9.26	4426.14	
E		27.77	27.77	
F	10877.76		10877.76	
		total	18715.08	
1	14711.94		14711.94	
2-1	4474.91	22.00	6921.17	
2-2	2424.27			
3	14711.94		14711.94	
		total	36345.05	

Tabel 4.20 Kekakuan dinding bata Kediri lantai 2

Dinding	k dinding (kg/cm)	k kolom (kg/cm)	k tiap portal (kg/cm)	Keterangan
A-1	1515.45	9.26	1622.95	Arah X
A-2	98.24			
B		27.77	27.77	
C	4795.19	9.26	4804.44	
D	4795.19	9.26	4804.44	
E		27.77	27.77	
F	11585.76		11585.76	
		total	22873.13	
1	15614.52		15614.52	Arah Y
2-1	2676.77	43.99	5397.52	
2-2	2676.77			
3	15614.52		15614.52	
		total	36626.57	

Berikut contoh perhitungan arah X untuk pusat kekakuan bata Kediri lantai 1:

$$X = \frac{(2) \times 300 + (3) \times 600}{\text{Total kekakuan arah Y}}$$

$$X = \frac{(6921.17) \times 300 + (14711.94) \times 600}{36345.05}$$

$$X = 300 \text{ cm}$$

Berikut contoh perhitungan arah Y untuk pusat kekakuan bata Kediri lantai 1

$$Y = \frac{B \times 150 + C \times 300 + D \times 480 + E \times 630 + F \times 780}{\text{Total kekakuan arah X}}$$

$$Y = \frac{27.7 \times 150 + 1369.7 \times 300 + 4426.14 \times 480 + 27.77 \times 630 + 10877.76 \times 780}{\text{Total kekakuan arah X}}$$

$$Y = 589.99 \text{ cm}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama dengan bata Kediri lantai 2, berikut adalah hasil rekap pusat kekakuan bata Kediri:

Tabel 4.21 Koordinat pusat kekakuan bata Kediri

Koordinat pusat kekakuan (cm)	Keterangan
X	300
Y	589.99324
X	300
Y	559.87159

Dengan metode yang sama dilakukan untuk mencari pusat beban bata Kediri. Berdasarkan hasil perhitungan beban pada tabel 4.5 didapatkan beban total merata untuk lantai 1 sebesar 24195.6 kg dan untuk lantai 2 didapatkan sebesar 5216.4 kg. Gambar 4.2 untuk distribusi beban, maka terdapat luasan beban merata yang di distribusikan ke portal.

Berikut tabel 4.22 untuk perhitungan beban tiap portal bata Kediri lantai 1 dan tabel 4.23 untuk perhitungan beban tiap portal bata Kediri lantai 2:

Tabel 4.22 Beban portal bata Kediri lantai 1

Portal	Luas (cm ²)	Beban (kg)	Keterangan
A	3.375	3472.9032	Arah X
B	6.75	4008.3536	
C	7.155	4654.4809	
D	7.155	4766.7839	
E	6.75	3850.7276	
F	3.375	3200.3991	
Total	34.56	23953.648	
1	3.06	3609.9163	Arah Y
2	6.12	5045.6589	
3	3.06	3609.9163	
Total	12.24	12265.492	

Berikut contoh perhitungan beban portal A lantai 1:

$$\text{Beban A} = \frac{\text{luas portal A}}{\text{luas total X+Y}} \times \text{massa total merata lantai 1} + \text{massa portal A}$$

$$\text{Beban A} = \frac{3.375}{34.56+12.24} \times 24195.6 + 1728.028$$

$$\text{Beban A} = 3472.9032 \text{ kg}$$

Hal yang sama dilakukan untuk menghitung beban portal lantai 2.

Tabel 4.23 Beban portal bata Kediri lantai 2

Portal	Luas (cm ²)	Beban (kg)	Keterangan
A	1.6875	656.41695	Arah X
B	5.0625	1059.6026	
C	7.155	1620.2649	
D	7.155	1620.2649	
E	5.0625	1059.6026	
F	1.6875	1061.3916	
Total	27.81	7077.5434	
1	3.06	1559.7019	Arah Y
2	4.995	1690.356	
3	1.935	1404.4519	
Total	9.99	4654.5097	

Berikut contoh perhitungan arah X untuk pusat beban bata Kediri lantai 1:

$$X = \frac{(2) \times 300 + (3) \times 600}{\text{Total beban arah Y}}$$

$$X = \frac{(5045.6589) \times 300 + (3609.9163) \times 600}{12265.492}$$

$$X = 300 \text{ cm}$$

Berikut contoh perhitungan arah Y untuk pusat beban bata Kediri lantai 1

$$Y = \frac{B \times 150 + C \times 300 + D \times 480 + E \times 630 + F \times 780}{\text{Total beban arah X}}$$

$$Y = \frac{4008.3536 \times 150 + 4654.4809 \times 300 + 4766.7839 \times 480 + 3850.7276 \times 630 + 3200.3991 \times 780}{23953.648}$$

$$Y = 384.4059 \text{ cm}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama dengan bata Kediri lantai 2, berikut adalah hasil rekap pusat beban bata Kediri:

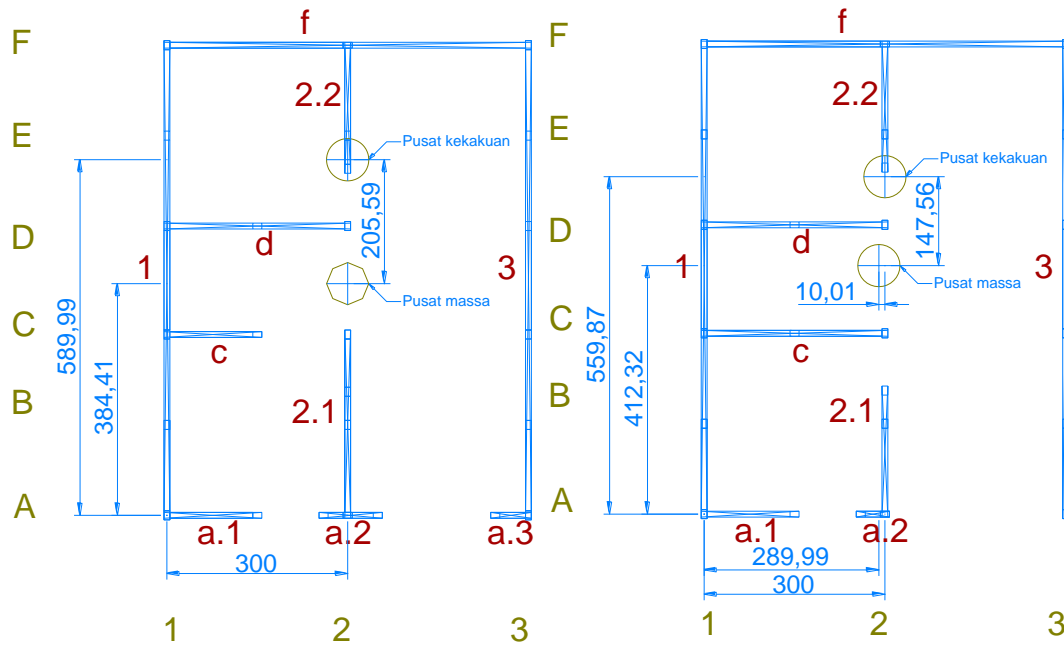
Tabel 4.24 Koordinat pusat beban bata Kediri

	Koordinat pusat beban (cm)	Keterangan
X	300	Lantai 1
Y	384.4059	
X	289.9936	Lantai 2
Y	412.3157	

Setelah mengetahui koordinat pusat kekakuan dan beban, maka dapat didapatkan nilai eksentrisitas dari bata Kediri yaitu dengan mencari selisih antara pusat kekakuan dan pusat beban. Berikut Tabel 4.25 merupakan nilai eksentrisitas lantai 1 dan 2 bata Kediri dan gambar 4.9 merupakan koordinat dan eksentrisitas dari bata Kediri.

Tabel 4.25 Eksentrisitas bata Kediri

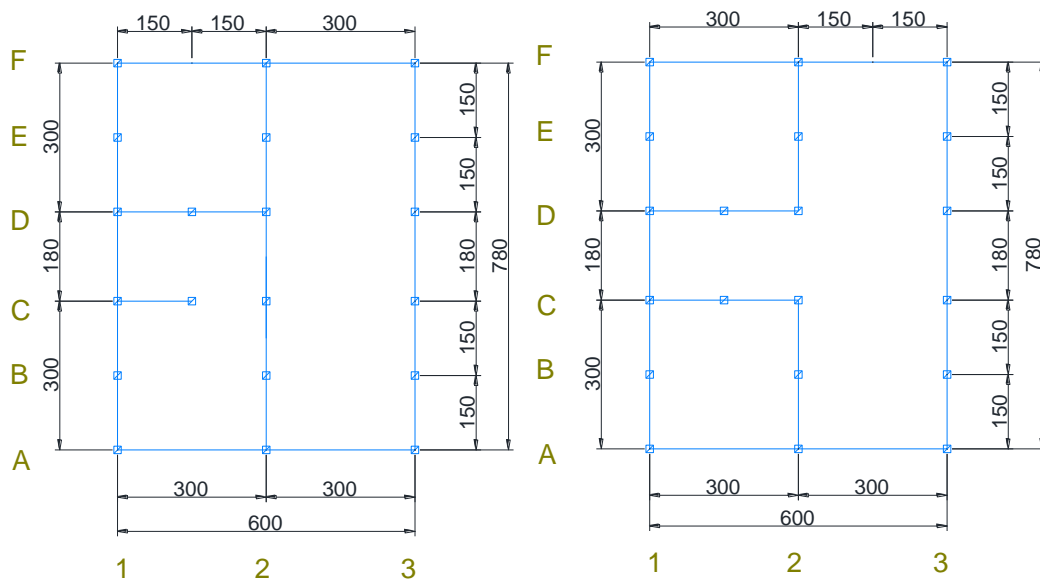
	Nilai eksentrisitas (cm)	Keterangan
ΔX	0	Lantai 1
ΔY	205.5874	
ΔX	10.00642	Lantai 2
ΔY	147.5559	



Gambar 4.9 Koordinat pusat kekakuan dan beban bata Kediri lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)

4.6.2 Eksentrisitas bata Tulungagung

Untuk mencari pusat kekakuan dapat dilihat gambar 4.10 untuk mengetahui posisi portal.



Gambar 4.10 Detail denah rumah bata Tulungagung

Dengan tabel 4.26 dan tabel 4.27 didapatkan kekakuan tiap portal, dengan jarak titik 0,0 (X,Y) ke portal yang ditinjau akan didapatkan koordinat pusat kekakuan. Berikut tabel rekap kekakuan tiap lantai:

Tabel 4.26 Kekakuan dinding bata Tulungagung lantai 1

Dinding	k dinding (kg/cm)	k kolom (kg/cm)	k tiap portal (kg/cm)	Keterangan
A-1	1178.57		1661.58	Arah X
A-2	374.42			
A-3	108.60			
B		33.81	33.81	
C	1178.57	22.54	1201.11	
D	4824.10	11.27	4835.37	
E		33.81	33.81	
F	13987.69		13987.69	
		total	21753.36	
1	19545.91		19545.91	Arah Y
2-1	4891.25	23.49	7251.01	
2-2	2336.27			
3	19545.91		19545.91	
		total	46342.83	

Tabel 4.27 Kekakuan dinding bata Tulungagung lantai 2

Dinding	k dinding (kg/cm)	k kolom (kg/cm)	k tiap portal (kg/cm)	Keterangan
A-1	1345.58	11.27	1426.41	Arah X
A-2	69.56	0.00		
B	0.00	33.81	33.81	
C	5329.16	11.27	5340.43	
D	5329.16	11.27	5340.43	
E	0.00	33.81	33.81	
F	15019.51	0.00	15019.51	
		total	27194.39	
1	20855.50	0.00	20855.50	Arah Y
2-1	2630.29	46.98	5307.56	
2-2	2630.29	0.00		
3	20855.50	0.00	20855.50	
		total	47018.56	

Berikut contoh perhitungan arah X untuk pusat kekakuan bata Tulungagung lantai 1:

$$X = \frac{(2) \times 300 + (3) \times 600}{\text{Total kekakuan arah Y}}$$

$$X = \frac{(7251.01) \times 300 + (19545.91) \times 600}{46342}$$

$$X = 300 \text{ cm}$$

Berikut contoh perhitungan arah Y untuk pusat kekakuan bata Tulungagung lantai 1

$$Y = \frac{B \times 150 + C \times 300 + D \times 480 + E \times 630 + F \times 780}{\text{Total kekakuan arah X}}$$

$$Y = \frac{33.81 \times 150 + 1201.11 \times 300 + 4835.37 \times 480 + 33.81 \times 630 + 13987.69 \times 780}{21753.36}$$

$$Y = 626.022 \text{ cm}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama dengan bata Tulungagung lantai 2, berikut adalah hasil rekap pusat kekakuan bata Tulungagung:

Tabel 4.28 Koordinat pusat kekakuan bata Tulungagung

Koordinat pusat kekakuan (cm)		Keterangan
X	300	Lantai 1
Y	626.022	
X	300	Lantai 2
Y	584.941	

Dengan metode yang sama dilakukan untuk mencari pusat beban bata Tulungagung. Berdasarkan hasil perhitungan beban pada tabel 4.6 didapatkan beban total merata untuk lantai 1 sebesar 24195.6 kg dan untuk lantai 2 didapatkan sebesar 5216.4 kg. Gambar 4.2 untuk distribusi beban, maka terdapat luasan beban merata yang di distribusikan ke portal. Berikut tabel 4.29 untuk perhitungan beban tiap portal bata Tulungagung lantai 1 dan tabel 4.30 untuk perhitungan beban tiap portal bata Tulungagung lantai 2:

Tabel 4.29 Beban portal bata Tulungagung lantai 1

Portal	Luas (cm ²)	Beban (kg)	Keterangan
A	3.375	3596.0113	Arah X
B	6.75	4043.0374	
C	7.155	4721.0705	
D	7.155	4841.7515	
E	6.75	3872.9989	
F	3.375	3306.5023	
Total	34.56	24381.372	
1	3.06	3758.2311	Arah Y
2	6.12	5177.9176	
3	3.06	3758.2311	
Total	12.24	12694.38	

Berikut contoh perhitungan beban portal A lantai 1:

$$\text{Beban A} = \frac{\text{luas portal A}}{\text{luas total X+Y}} \times \text{massa total merata lantai 1} + \text{massa portal A}$$

$$\text{Beban A} = \frac{3.375}{34.56+12.24} \times 24195.6 + 1851.136$$

$$\text{Beban A} = 3596.0113 \text{ kg}$$

Hal yang sama dilakukan untuk menghitung beban portal lantai 2.

Tabel 4.30 Beban portal bata Tulungagung lantai 2

Portal	Luas (cm ²)	Beban (kg)	Keterangan
A	1.6875	859.76799	Arah X
B	5.0625	1083.5944	
C	7.155	1664.2205	
D	7.155	1664.2205	
E	5.0625	1081.8739	
F	1.6875	1121.1541	
Total	27.81	7474.8314	
1	3.06	1642.2347	Arah Y
2	4.995	1760.1425	
3	1.935	1486.9847	
Total	9.99	4889.3618	

Berikut contoh perhitungan arah X untuk pusat beban bata Tulungagung lantai 1:

$$X = \frac{(2) \times 300 + (3) \times 600}{\text{Total beban arah Y}}$$

$$X = \frac{(5177.9176) \times 300 + (3758.2311) \times 600}{12694.38}$$

$$X = 300 \text{ cm}$$

Berikut contoh perhitungan arah Y untuk pusat beban bata Tulungagung lantai 1

$$Y = \frac{B \times 150 + C \times 300 + D \times 480 + E \times 630 + F \times 780}{\text{Total beban arah X}}$$

$$Y = \frac{4043.0374 \times 150 + 4721.0705 \times 300 + 4841.7515 \times 480 + 3872.9989 \times 630 + 3306.5023 \times 780}{24381.372}$$

$$Y = 384.1408 \text{ cm}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama dengan bata Tulungagung lantai 2, berikut adalah hasil rekap pusat beban bata Tulungagung:

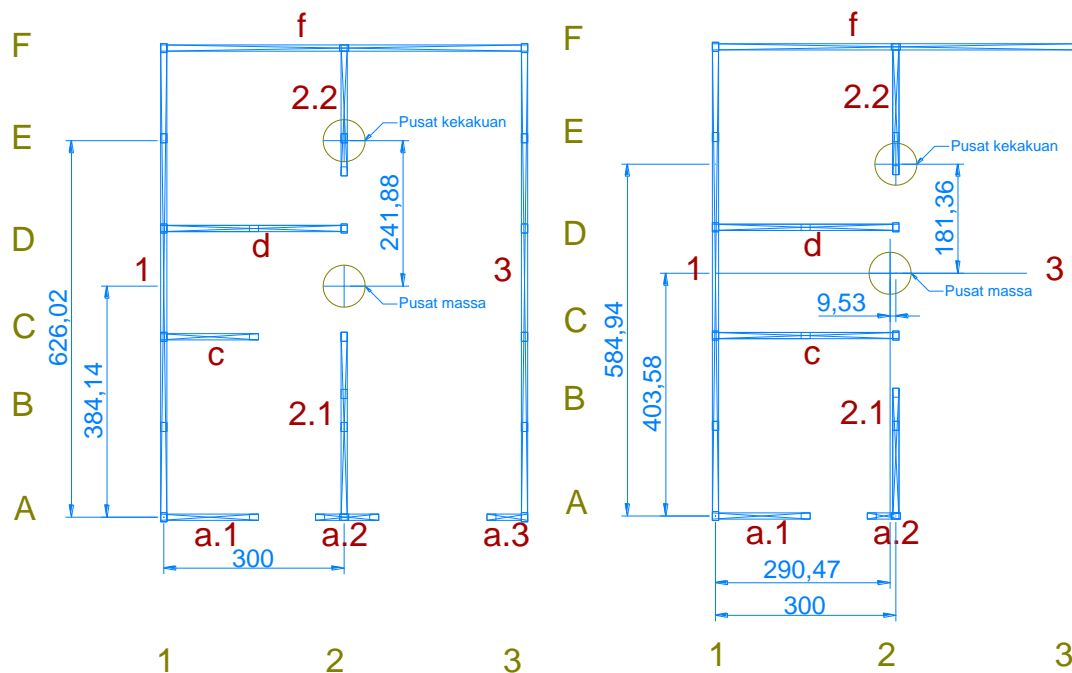
Tabel 4.31 Koordinat pusat beban bata Tulungagung

Koordinat pusat beban (cm)	Keterangan
X 300	Lantai 1
Y 384.1408	
X 290.4742	Lantai 2
Y 403.5826	

Setelah mengetahui koordinat pusat kekakuan dan beban, maka dapat didapatkan nilai eksentrisitas dari bata Tulungagung yaitu dengan mencari selisih antara pusat kekakuan dan pusat beban. Berikut Tabel 4.32 merupakan nilai eksentrisitas lantai 1 dan 2 bata Tulungagung dan gambar 4.11 merupakan koordinat dan eksentrisitas dari bata Tulungagung.

Tabel 4.32 Eksentrisitas bata Tulungagung

Nilai eksentrisitas (cm)		Keterangan
ΔX	0	Lantai 1
ΔY	241.8808	
ΔX	9.525783	Lantai 2
ΔY	181.3587	



Gambar 4.11 Koordinat pusat kekakuan dan beban bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)

4.7 Distribusi Gaya Gempa dan Tegangan Geser

4.7.1 Distribusi gaya gempa dan tegangan geser bata Kediri

Sebelum mencari distribusi gaya pada dinding, diperlukan distribusi gaya gempa pada setiap lantai dan mode berdasarkan arah X dan Y. setelah mengetahui gaya gempa tiap arah gaya pada setiap lantai dan *mode*, kemudian dihitung distribusi gaya gempa pada tiap dinding. Gaya yang diterima oleh dinding merupakan kombinasi dari gaya gempa murni (P) yang telah dihitung pada sub-bab 4.5 dan gaya akibat momen yang muncul karena eksentrisitas (P_e). Dengan pusat kekakuan yang digunakan sebagai acuan, maka gaya akibat momen yang timbul di distribusikan ke setiap dinding dengan jarak pusat kekakuan ke dinding yang ditinjau yang digambarkan pada gambar 4.12 dan 4.13.

Tabel 4.33 Perhitungan momen bata Kediri

	fx (kg)	fy (kg)	ex (cm)	ey (cm)	Mx (kgcm)	My (kgcm)
Lantai 1	7612.894	14784.39	0	-205.587	-1565115	0
Lantai 2	3840.069	6149.075	-10	-147.556	-566625	-61530.3

Berikut contoh perhitungan untuk momen yang terjadi pada lantai 1:

$$Mx = fx \times ey$$

$$Mx = 7612.894 \times -205.587$$

$$Mx = -1565115 \text{ kgcm}$$

$$My = fy \times ex$$

$$My = 14784.39 \times 0.00$$

$$My = 0 \text{ kgcm}$$

Setelah mengetahui momen yang bekerja, dapat dilakukan perhitungan distribusi gaya akibat momen pada dinding yang ditinjau yang dapat dilihat pada tabel 4.34 untuk lantai 1 dan tabel 4.35 untuk lantai 2.

Tabel 4.34 Distribusi gaya dan tegangan bata Kediri lantai 1

Portal	Δx (cm)	Δy (cm)	Δx^2 (cm ²)	Δy^2 (cm ²)	P (kg)	Pe (kg)	P + Pe (kg)	b (cm)	h (cm)	τ (kg/cm ²)
A-1	-223.68	-589.99	50032.74	348088.20	549.64	633.52	1183.16	9.73	162.37	0.748899
A-2	5.00	-589.99	25.00	348088.20	197.58	633.52	831.10		105.00	1.158084
A-3	271.18	-589.99	73538.59	348088.20	60.63	633.52	694.15		67.37	1.804939
B										
C	-223.68	-289.99	50032.74	84094.20	549.64	311.39	861.02		162.37	0.748899
D	-150.00	-109.99	22500.00	12097.80	1796.70	118.11	1914.80		309.73	0.392596
E										
F	0.00	190.01	0.00	36103.80	4424.84	-204.03	4220.81		609.73	0.199431
1	-300.00	-199.99	90000.00	39996.00	5984.50	214.75	6199.25		795.00	0.152954
2-1	0.00	-439.99	0.00	193591.20	1820.30	472.45	2292.75		312.37	0.389278
2-2	0.00	86.19	0.00	7428.72	986.14	-92.55	893.59		217.37	0.559409
3	300.00	-199.99	90000.00	39996.00	5984.50	214.75	6199.25		795.00	0.152954
			Σ	376129.08	1457572.32	22354.45	2935.42	25289.87		

Tabel 4.35 Distribusi gaya dan tegangan bata Kediri lantai 2

Portal	Δx (cm)	Δy (cm)	Δx^2 (cm ²)	Δy^2 (cm ²)	P (kg)	Pe (kg)	P + Pe (kg)	b (cm)	h (cm)	τ (kg/cm ²)
A-1	-223.68	-559.87	50032.74	313454.42	254.42	358.41	612.84	9.73	162.37	0.3879065
A-2	-20.00	-559.87	400.00	313454.42	16.49	312.91	329.41		55.00	1.1451704
B										
C	-150.00	-259.87	22500.00	67532.42	805.04	176.68	981.72		309.73	0.2033525
D	-150.00	-79.87	22500.00	6379.22	805.04	77.51	882.55		309.73	0.2033525
E										
F	0.00	220.13	0.00	48457.22	1945.08	-121.27	1823.81		609.73	0.1032988
1	-300.00	-169.87	90000.00	28855.82	2621.45	160.60	2782.06		795.00	0.0792256
2-1	0.00	-456.05	0.00	207981.60	449.39	251.25	700.64		217.37	0.2897565
2-2	0.00	116.31	0.00	13528.02	449.39	-64.08	385.31		217.37	0.2897565
3	300.00	-169.87	90000.00	28855.82	2621.45	26.57	2648.02		795.00	0.0792256
			Σ	275432.74	1028498.94	9967.77	1178.59	11146.36		

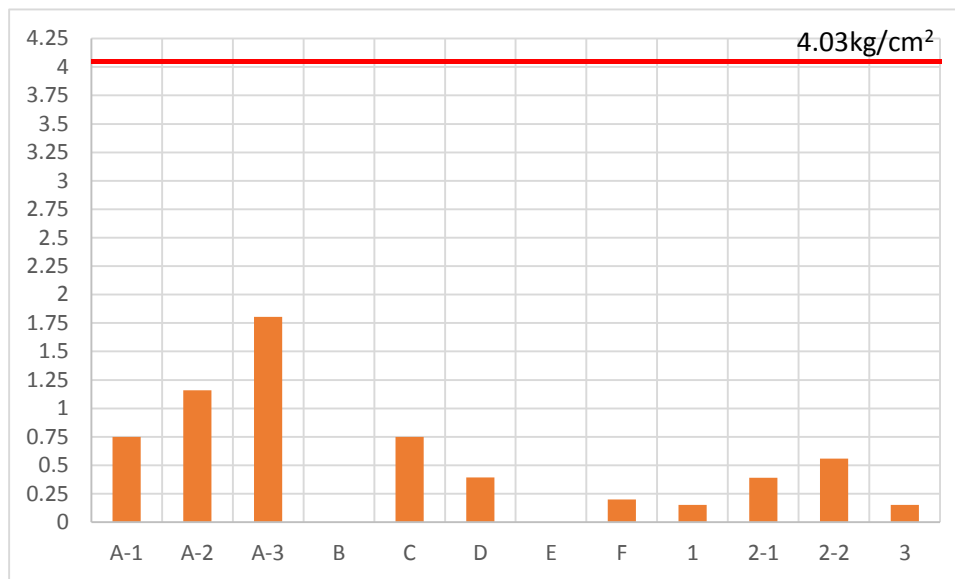
Berikut contoh perhitungan untuk dinding A-1 lantai 1:

$$P_e = \frac{M_x \times \Delta y}{\sum \Delta y^2} + \frac{M_y \times \Delta x}{\sum \Delta x^2} = \frac{-1565115 \times -589.99}{1457572.32} + \frac{0 \times -223.68}{376129.08} = 633.521 \text{ kg}$$

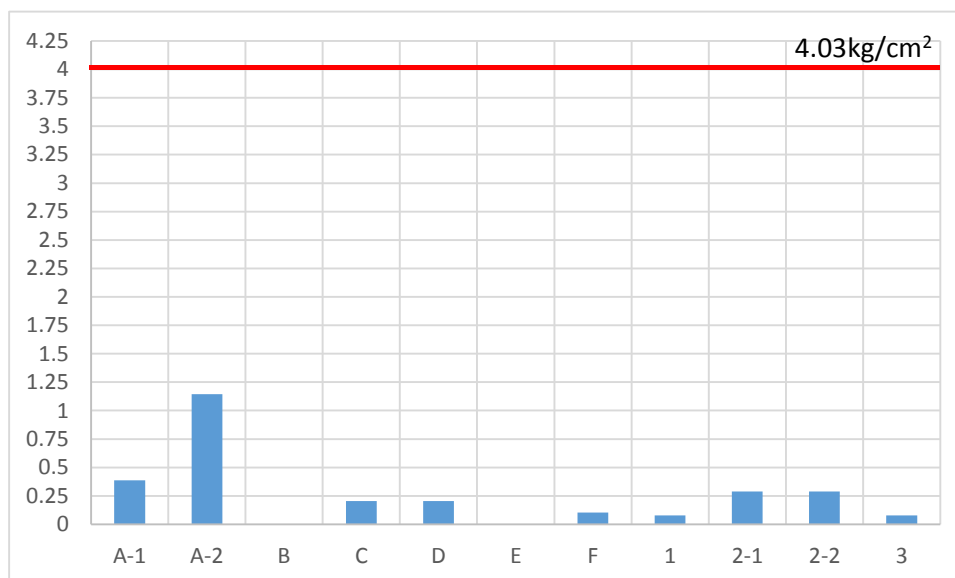
$$P + P_e = 549.635 + 633.521 = 1183.156 \text{ kg}$$

$$\text{Tegangan geser dinding } \tau = \frac{(P + P_e)}{b \times h} = \frac{1183.156}{9.73 \times 162.37} = 0.7489 \text{ kg/cm}^2.$$

Hasil tegangan yang didapat lalu digambarkan dengan grafik batang untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi.



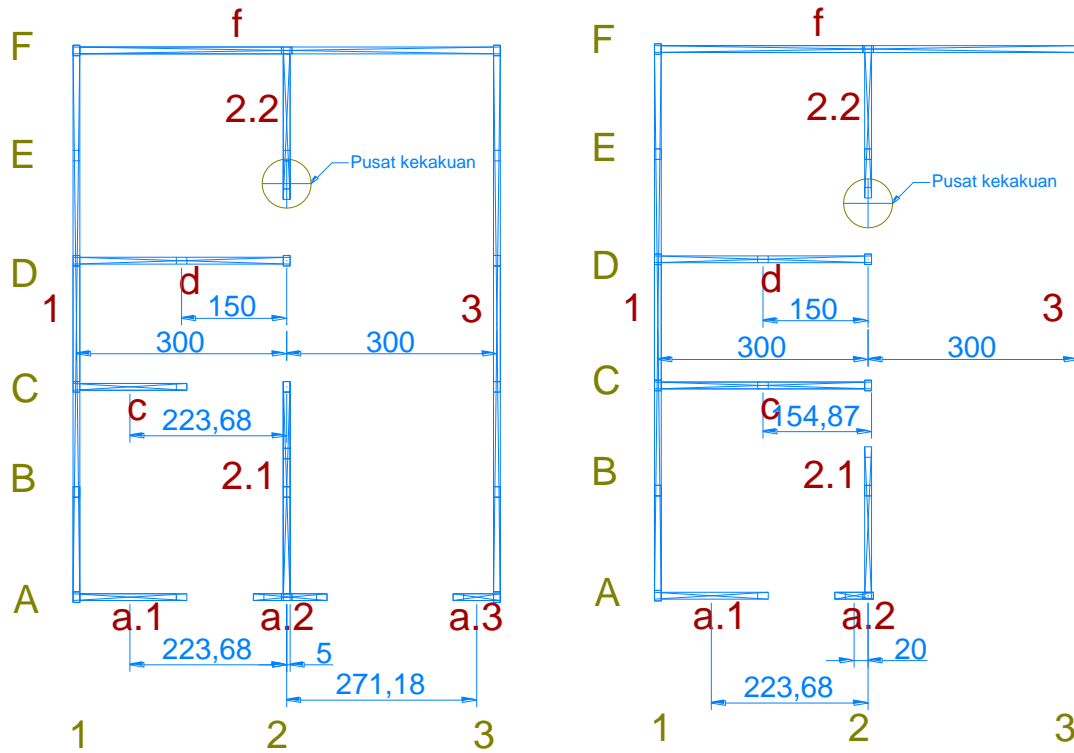
Gambar 4.14 Tegangan geser lantai 1 bata Kediri



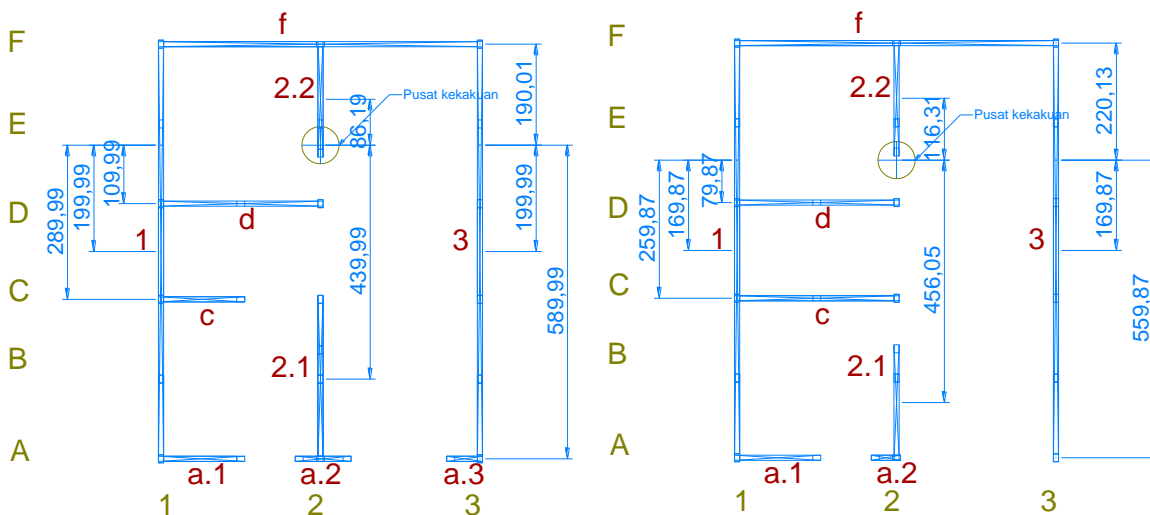
Gambar 4.15 Tegangan geser lantai 2 bata Kediri

4.7.2 Distribusi gaya gempa dan tegangan geser bata Tulungagung

Dengan perhitungan yang sama seperti bata Kediri, pusat kekakuan yang digunakan sebagai acuan, maka gaya akibat momen yang timbul di distribusikan ke setiap dinding dengan jarak pusat kekakuan ke dinding yang ditinjau yang digambarkan pada gambar 4.16 dan 4.17.



Gambar 4.16 Jarak eksentrisitas X bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)



Gambar 4.17 Jarak eksentrisitas Y bata Tulungagung lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya pada tabel 4.18, didapatkan gaya gempa pada lantai 1 arah X (f_x) sebesar 7286.46 kg dan gaya gempa arah Y (f_y) sebesar 15522.89 kg. Sedangkan gaya gempa pada lantai 2 didapatkan f_x sebesar 3845.26 kg dan f_y

sebesar 6648.39 kg. Dengan eksentrisitas antara kekakuan dan pusat beban pada tiap lantai, maka dapat dilihat tabel 4.36 untuk perhitungan momen akibat gaya gempa f_x dan f_y .

Tabel 4.36 Perhitungan momen bata Tulungagung

	f_x (kg)	f_y (kg)	e_x (cm)	e_y (cm)	M_x (kgcm)	M_y (kgcm)
Lantai 1	7286.46	15522.89	0	-241.88	-1762454	0
Lantai 2	3845.26	6648.39	-9.53	-181.36	-697372	-63331.08

Berikut contoh perhitungan untuk momen yang terjadi pada lantai 1:

$$M_x = f_x \times e_y$$

$$M_x = 7286.46 \times -241.88$$

$$M_x = -1762454 \text{ kgcm}$$

$$M_y = f_y \times e_x$$

$$M_y = 15522.89 \times 0.00$$

$$M_y = 0 \text{ kgcm}$$

Setelah mengetahui momen yang bekerja, dapat dilakukan perhitungan distribusi gaya akibat momen pada dinding yang ditinjau yang dapat dilihat pada tabel 4.37 untuk lantai 1 dan tabel 4.38 untuk lantai 2.

Tabel 4.37 Distribusi gaya dan tegangan bata Tulungagung lantai 1

Portal	Δx (cm)	Δy (cm)	Δx^2 (cm ²)	Δy^2 (cm ²)	P (kg)	Pe (kg)	P + Pe (kg)	b (cm)	h (cm)	τ (kg/cm ²)
A-1	-223.85	-626.02	50108.82	391901.04	394.77	662.08	1056.85	10.39	162.70	0.625187
A-2	5.00	-626.02	25.00	391901.04	125.41	662.08	787.49		105.00	0.968742
A-3	271.35	-626.02	73630.82	391901.04	36.38	662.08	698.45		67.70	1.502480
B										
C	-223.85	-326.02	50108.82	106289.04	394.77	344.80	739.57		162.70	0.625187
D	-150.00	-146.02	22500.00	21321.84	1615.87	154.43	1770.30		310.39	0.327710
E										
F	0.00	153.98	0.00	23709.84	4685.28	-162.85	4522.43		610.39	0.166644
1	-300.00	-236.02	90000.00	55705.44	6547.05	249.61	6796.67		795.00	0.127947
2-1	0.00	-474.87	0.00	225501.52	1638.36	502.22	2140.58		312.70	0.325289
2-2	0.00	50.33	0.00	2533.11	782.55	-53.23	729.32		217.70	0.467239
3	300.00	-236.02	90000.00	55705.44	6547.05	249.61	6796.67		795.00	0.127947
		Σ	376373.47	1666469.35	22767.51	3270.83	26038.34			

Tabel 4.38 Distribusi gaya dan tegangan bata Tulungagung lantai 2

Portal	Δx (cm)	Δy (cm)	Δx^2 (cm ²)	Δy^2 (cm ²)	P (kg)	Pe (kg)	P + Pe (kg)	b (cm)	h (cm)	τ (kg/cm ²)
A-1	-223.85	-584.94	50108.82	342154.80	190.26	412.27	602.53	10.39	162.70	0.356433
A-2	-20.00	-584.94	400.00	342154.80	9.84	365.41	375.25		55.00	1.054393
B										
C	-150.00	-284.94	22500.00	81190.80	753.54	210.24	963.78		310.39	0.186835
D	-150.00	-104.94	22500.00	11012.40	753.54	99.21	852.75		310.39	0.186835
E										
F	0.00	195.06	0.00	38048.40	2123.75	-120.32	2003.43		610.39	0.095007
1	-300.00	-194.94	90000.00	38001.60	2948.95	189.21	3138.16		795.00	0.072945
2-1	0.00	-481.29	0.00	231640.06	371.92	296.88	668.80		217.70	0.266383
2-2	0.00	91.41	0.00	8355.79	371.92	-56.39	315.54		217.70	0.266383
3	300.00	-194.94	90000.00	38001.60	2948.95	51.29	3000.24		795.00	0.072945
			Σ	275508.82	1130560.28	10472.67	1447.80	11920.47		

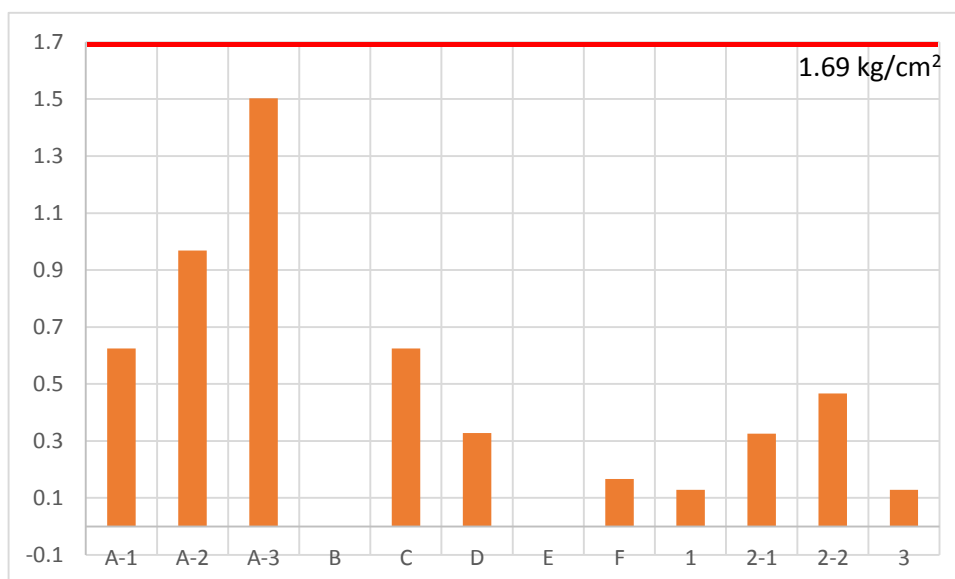
Berikut contoh perhitungan untuk dinding A-1 lantai 1:

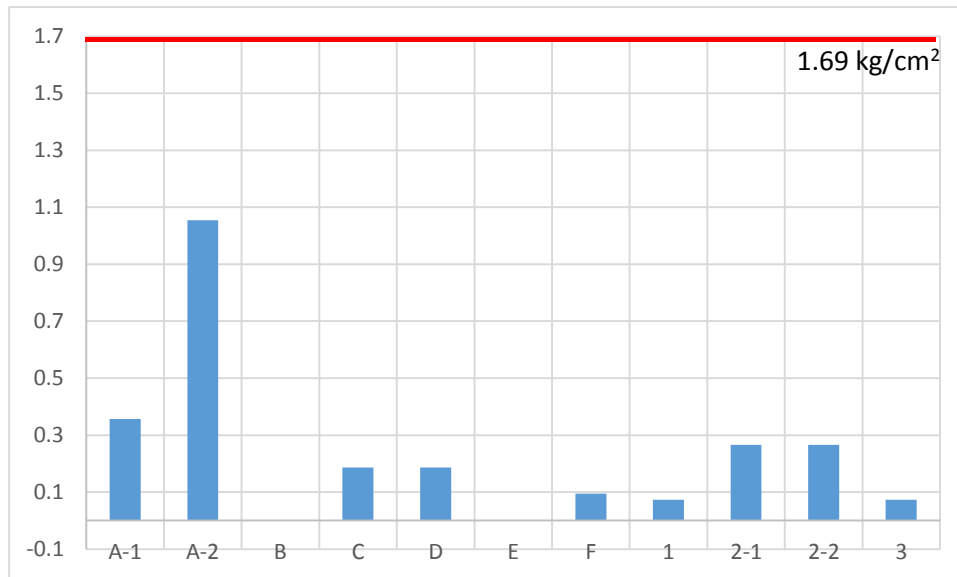
$$P_e = \frac{M_x \times \Delta y}{\Sigma \Delta y^2} + \frac{M_y \times \Delta x}{\Sigma \Delta x^2} = \frac{-1762454.35 \times -626.02}{1666469.35} + \frac{0 \times -223.85}{376373.47} = 662.08 \text{ kg}$$

$$P + P_e = 394.77 + 662.08 = 1056.85 \text{ kg}$$

$$\text{Tegangan geser dinding } \tau = \frac{(P + P_e)}{b \times h} = \frac{1056.85}{10.39 \times 162.7} = 0.6252 \text{ kg/cm}^2.$$

Hasil tegangan yang didapat lalu digambarkan dengan grafik batang untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi.

**Gambar 4.18** Tegangan geser lantai 1 bata Tulungagung



Gambar 4.19 Tegangan geser lantai 2 bata Tulungagung

4.8 Hasil Analisis

4.8.1 Tegangan dinding terbesar

Berdasarkan tabel 4.34 dan 4.35 untuk bata Kediri dan tabel 4.37 dan tabel 4.38 untuk bata Tulungagung dan gambar 4.14 dan 4.15 untuk bata Kediri dan gambar 4.18 dan 4.19 untuk bata Tulungagung, dapat ditentukan dinding yang mengalami tegangan geser terbesar dengan membuat tabel rekap sebagai berikut:

Tabel 4.39 Tegangan geser maksimum

Dinding	Kediri (kg/cm ²)	Tulungagung (kg/cm ²)	
A-3	1.804939	1.50248	Lantai 1
A-2	1.14517	1.05439	Lantai 2

Apabila dibandingkan hasil pada tabel 2.8 mengenai tegangan geser batu bata Kediri dengan nilai 4.03 kg/cm² dan batu bata Tulungagung dengan nilai 1.69 kg/cm², tegangan geser yang terjadi tidak melebihi tegangan ijin bata Kediri dan Tulungagung sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa dinding kuat menahan gaya gempa.

4.8.2 Karakteristik yang berpengaruh

Dengan mengikuti tahapan perhitungan, didapatkan adanya pengaruh modulus elastisitas, modulus geser, dimensi bata, dan letak geografis dinding. Berikut tabel perbandingan kedua batu bata:

Tabel 4.40 Perbandingan karakteristik bata

Lokasi	Modulus elastisitas (kg/cm ²)	Modulus geser (kg/cm ²)	Dimensi h (cm)
Kediri	1307.69	572.5438	9.73
Tulungagung	828.16	753.23	10.39

Hal ini dibuktikan dengan hasil tegangan geser pada lantai 1 dan lantai 2 bata Kediri yang lebih besar daripada bata Tulungagung. Pada lantai 1 tegangan geser pada dinding A-3 bata Kediri lebih besar dikarenakan kekakuan yang terdapat pada dinding A-3 bata Kediri lebih besar daripada bata Tulungagung. Namun gaya gempa akibat momen yang berasal dari eksentrisitas pusat kekakuan dan beban pada dinding A-3 bata Tulungagung lebih besar dengan total gaya gempa dan gaya akibat momen sebesar 698.45 kg dibanding dengan bata Kediri dengan total sebesar 694.15 kg. Tetapi, total gaya gempa yang terjadi tidak dapat dijadikan kesimpulan dikarenakan terdapat pengaruh dimensi bata untuk mencari tegangan geser yang terjadi. Dengan lebar 10.39 cm dan panjang dinding 67.7 cm, bata Tulungagung memiliki tegangan geser 1.50 kg/cm². Sedangkan bata Kediri dengan lebar 9.73 cm dan panjang dinding 67.37 cm didapatkan tegangan geser 1.81 kg/cm². Tegangan geser yang dimiliki model Tulungagung lebih kecil akibat dimensi bata.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan:

1. Dinding yang memiliki tegangan terbesar pada lantai 1 untuk bata Kediri dan Tulungagung terdapat pada dinding A-3 dengan tegangan geser = 1.81 kg/cm² untuk bata Kediri dan tegangan geser = 1.50 kg/cm² untuk bata Tulungagung. Sedangkan pada lantai 2 untuk bata Kediri dan Tulungagung terdapat pada dinding A-2 dengan tegangan geser = 1.15 kg/cm² untuk bata Kediri dan tegangan geser = 1.05 kg/cm² untuk bata Tulungagung.
2. Karakteristik yang berpengaruh terhadap kekuatan bangunan rumah tinggal adalah modulus elastisitas, modulus geser, dimensi bata, dan letak geografis dinding.

5.2. Saran

Setelah seluruh proses dalam penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik dinding yang telah diplester baik dengan semen atau ubin baik satu sisi maupun kedua sisi agar dapat menghasilkan hasil penelitian yang lebih akurat.
2. Melakukan studi lapangan terhadap beberapa rumah yang terdapat di Indonesia untuk mengetahui proses pembangunan baik di lapangan maupun izin mendirikan bangunan yang telah di terima oleh pihak yang berwenang apakah telah sesuai dengan syarat dan ketentuan yang berlaku.

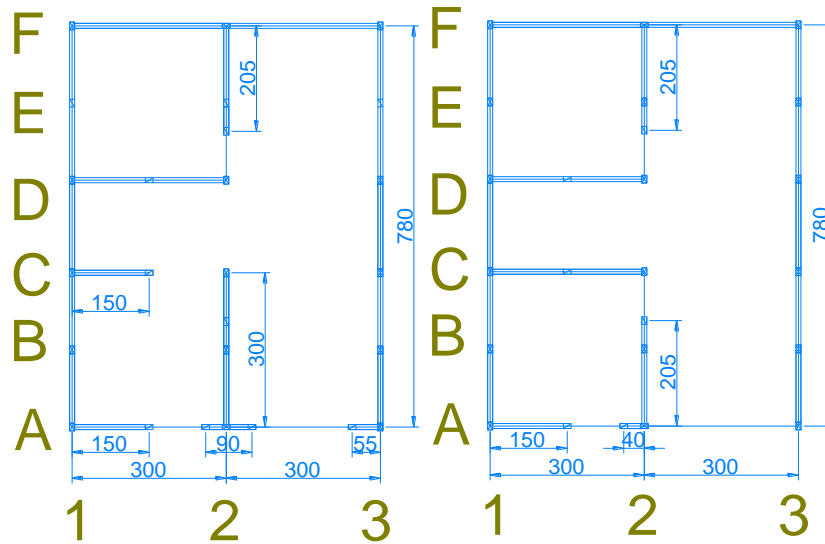
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

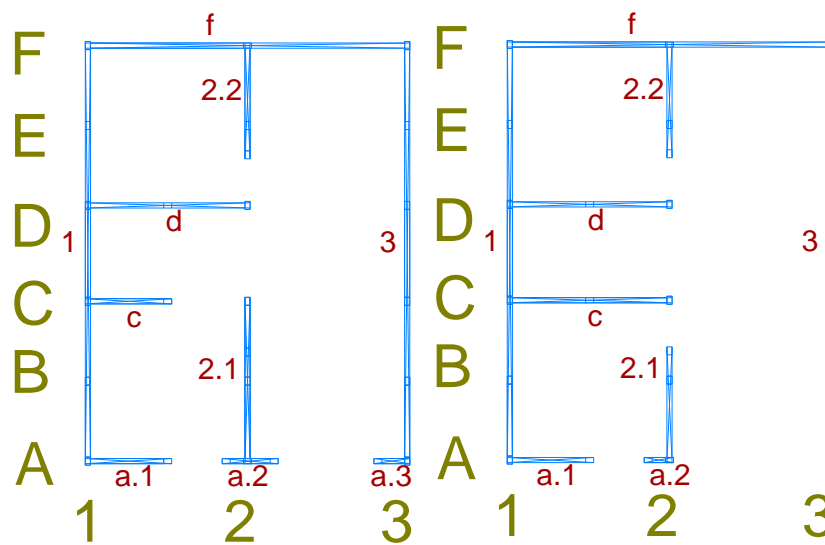
- Boen, T. (2008). *Perhitungan Struktur SDN Padasuka II Desa Sukamulya Kecamatan Soreang, Bandung*. Jakarta: PT. Teddy Boen Konsultan.
- Budiono, B. & Supriatna, L. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*. Bandung: ITB.
- FEMA 356 (2000). *Pre-standard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency.
- Meli, R., Brzey, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., Farsi, M., Hart, T., Mebarki, A., Moghadam, A.S., Quiun, D., Tomazevic, M., & Yamin, L. (2011). *Seismic Design Guide for Low-rise Confined Masonry Building*. Mexico: Confined Masonry Network from Risk Management Solution.
- Muto, K. (1987). *Analisis Perencanaan Gedung Tahan Gempa*. Terjemahan Wira, M.S.C.E. Jakarta: Erlangga.
- Nurlina, S. (2011). *Teknologi Bahan 1*. Malang: Bargie Media.
- Paz, Mario. (1990). *Dinamika Struktur Teori & Perhitungan*. Jakarta: Erlangga
- PPIUG 1983. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. Bandung: Direktorat Penelitian Masalah Bangunan1.
- Puskim PU. (2017). *Desain Spektra Indonesia*. <http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra indonesia 2011/>. (diakses 2 Oktober 2017)
- Schodek, D. L. (1991). *Structures*. Terjemahan Suryoatmono, B. Bandung: PT. Eresco.
- SII 0021-78. *Mutu dan Cara Uji Bata Merah Pejal*. Departemen Perindustrian.
- SNI 1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1726-2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1727-2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- The World Bank Group (2016). *Indonesia Statistics Data*. Washington: The World Bank Group Headquarters. <https://data.worldbank.org/country/indonesia>. (diakses 1 Oktober 2017)
- Wisnumurti, Dewi, S. M., & Soehardjono, A. M. D. (2013). Investigation of Elasticity, Compression, and Shear Strength of Masonry Wall from Indonesian Clay Brick. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 3 (1): 259-263.
- Wisnumurti, Dewi, S. M., & Soehardjono, A. M. D. (2011). Masonry Behavior of Local Brick form East-java Indonesia. *Journal of Applied Sciences Research*. 7(6): 849-852.
- Yonathan, L. C. (2010). *Perbandingan Nilai Rasio Poisson Mortar dan Batu Bata yang Berasal dari Beberapa Kota di Jawa Timur Terhadap Nilai Rasio Poisson dari Pasangan Batu Bata*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

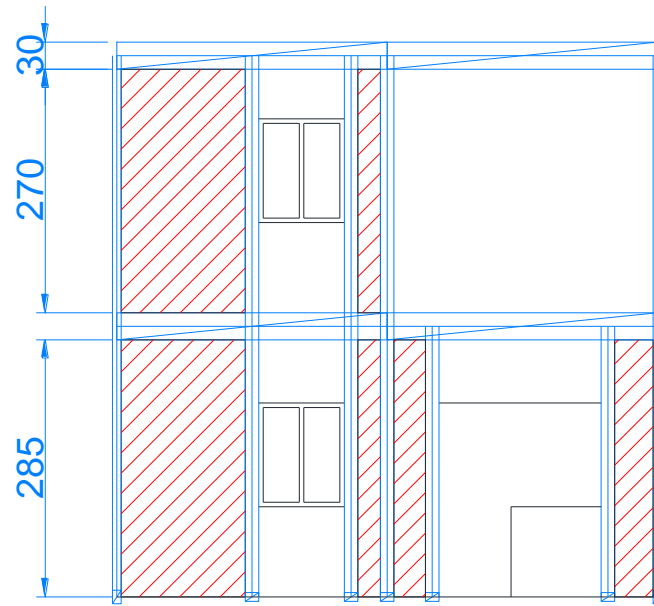
Lampiran 1. Gambar detail bata Kediri



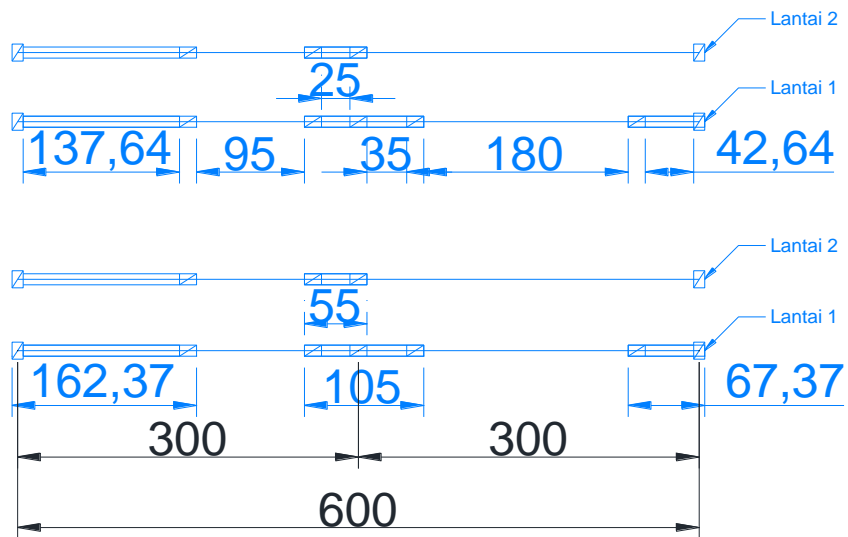
Gambar L.1.1 Denah model lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)



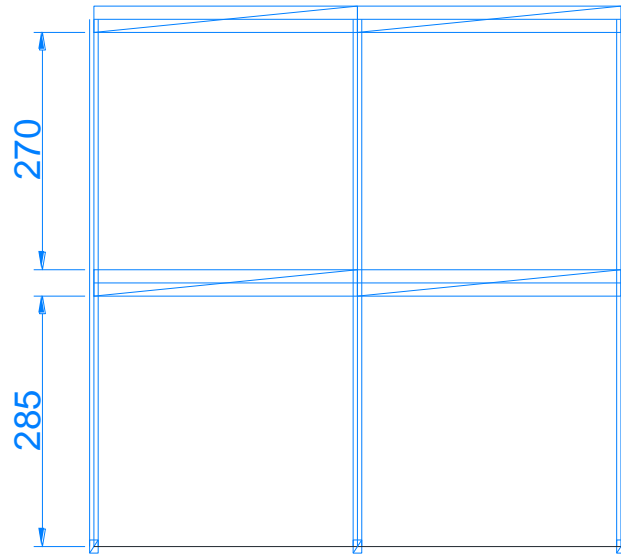
Gambar L.1.2 Penamaan dinding lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)



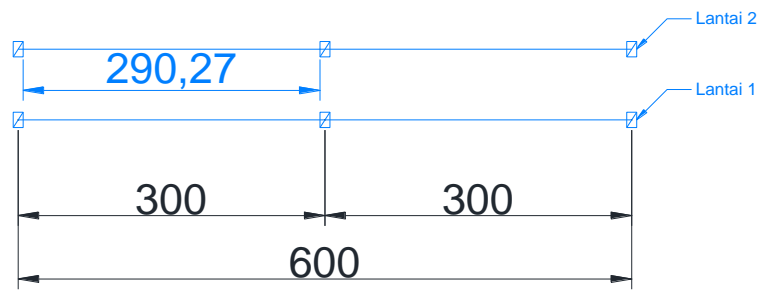
Gambar L.1.3 Portal A



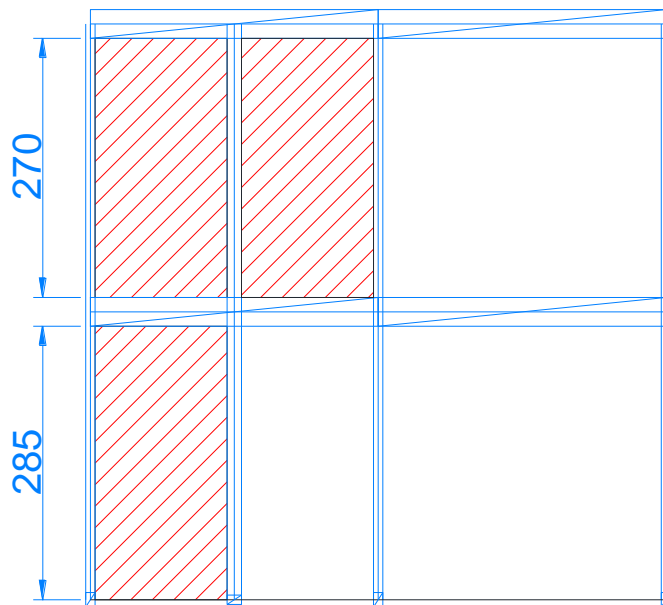
Gambar L.1.4 Tampak atas portal A



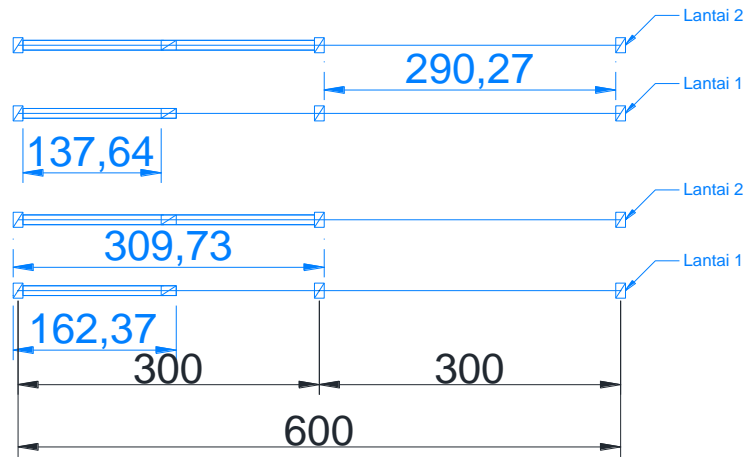
Gambar L.1.5 Portal B



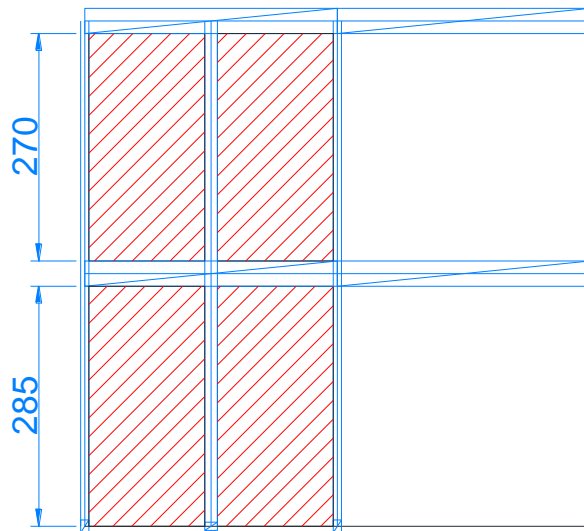
Gambar L.1.6 Tampak atas portal B



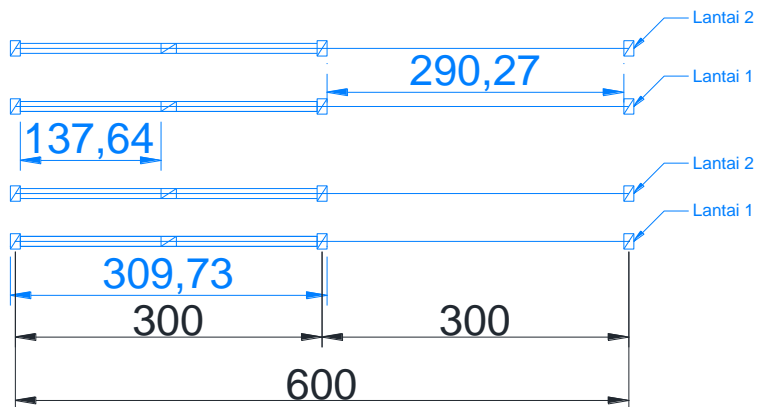
Gambar L.1.7 Portal C



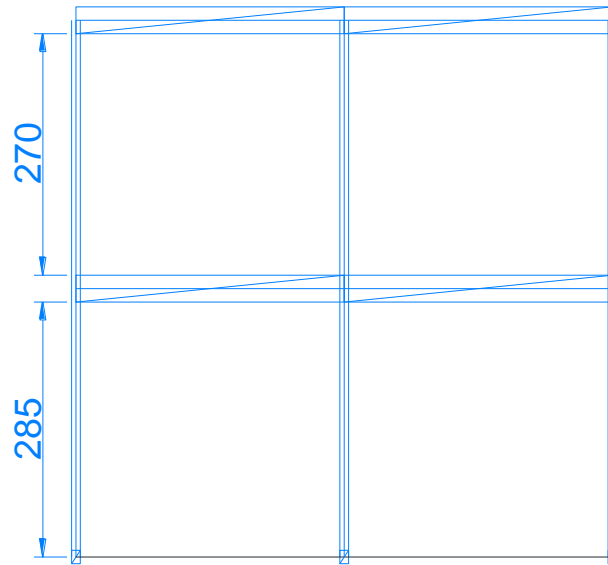
Gambar L.1.8 Tampak atas portal C



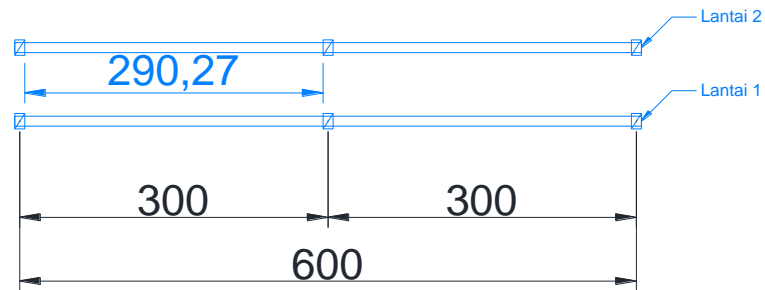
Gambar L.1.9 Portal D



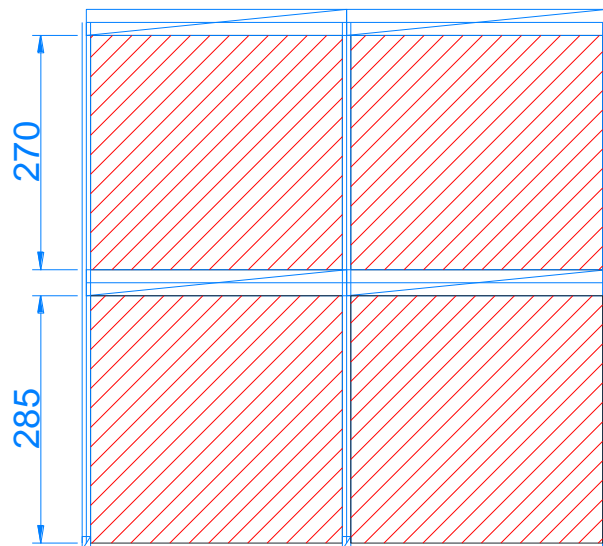
Gambar L.1.10 Tampak atas portal D



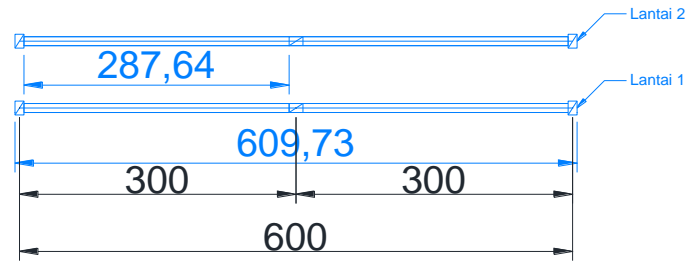
Gambar L.1.11 Portal E



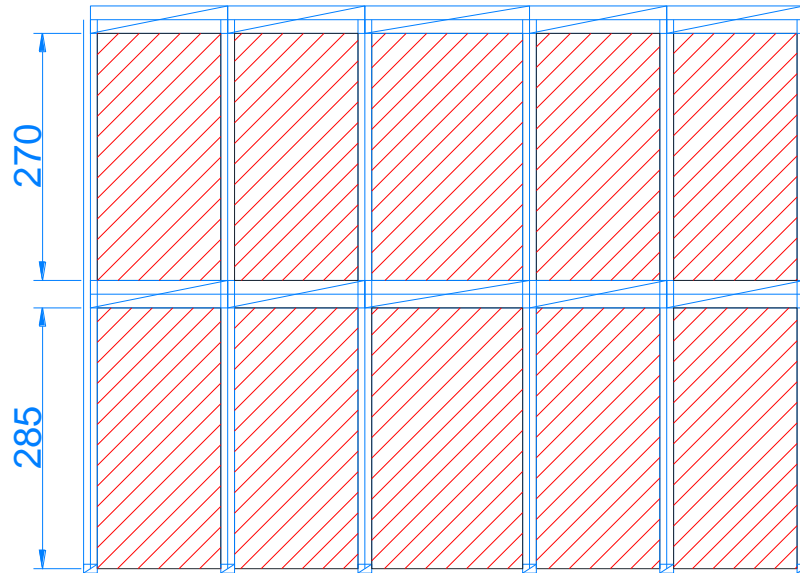
Gambar L.1.12 Tampak atas portal E



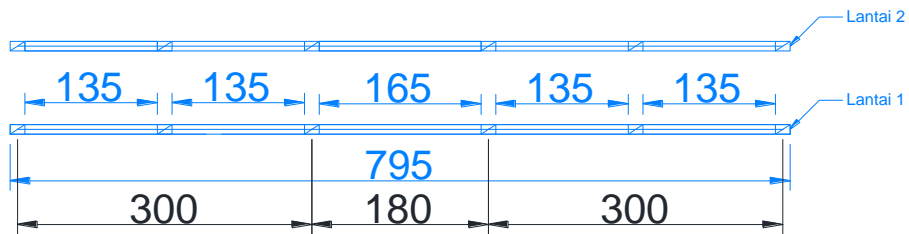
Gambar L.1.13 Portal F



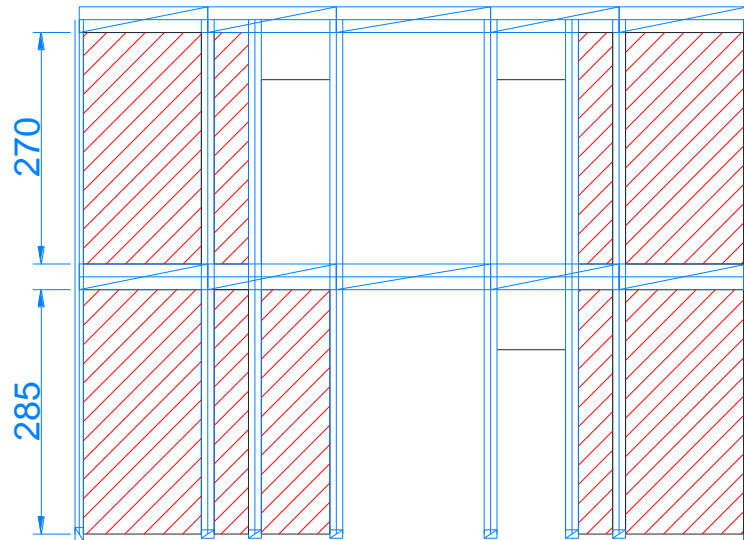
Gambar L.1.14 Tampak atas portal F



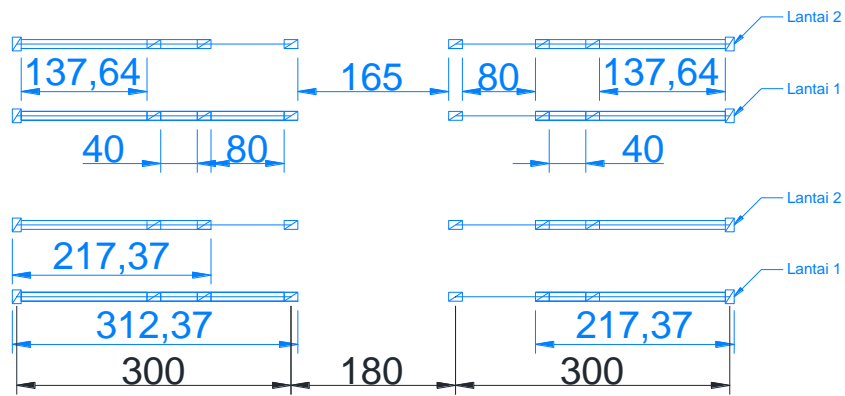
Gambar L.1.15 Portal 1



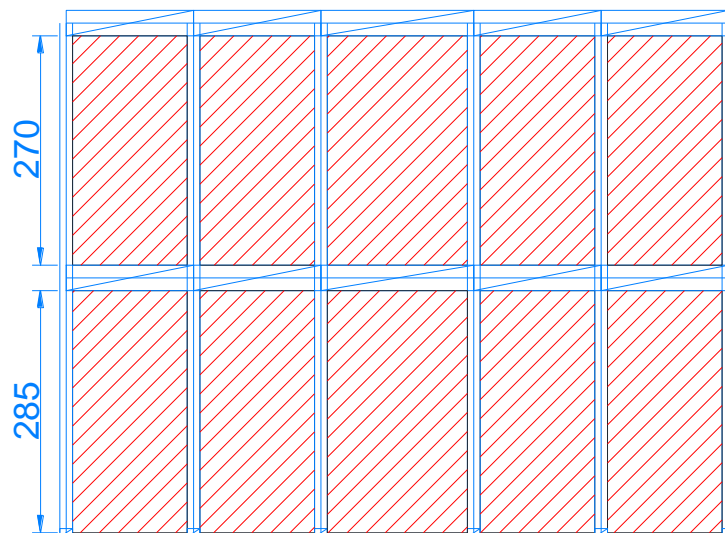
Gambar L.1.16 Tampak atas portal 1



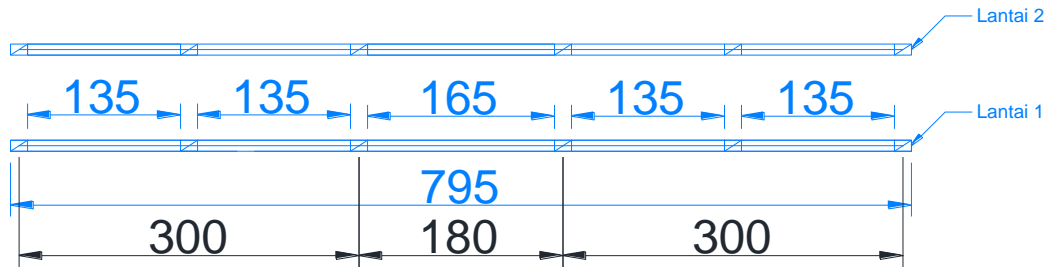
Gambar L.1.17 Portal 2



Gambar L.1.18 Tampak atas portal 2

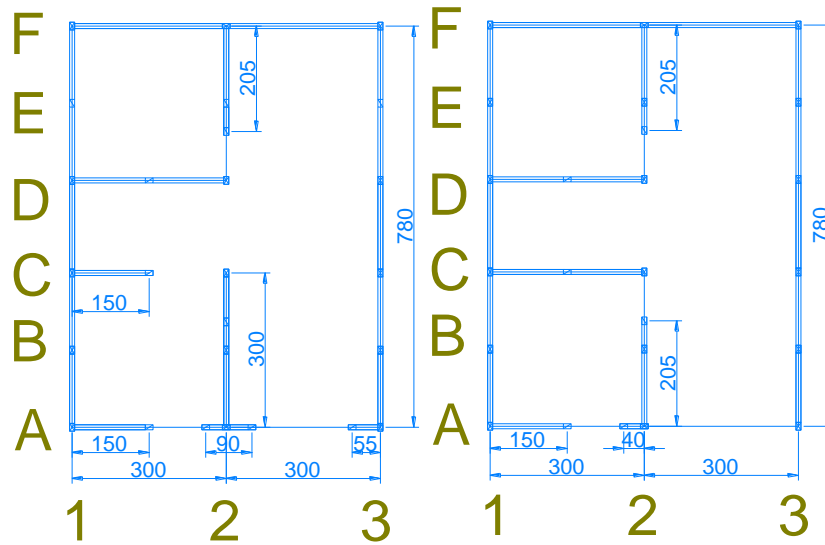


Gambar L.1.19 Portal 3

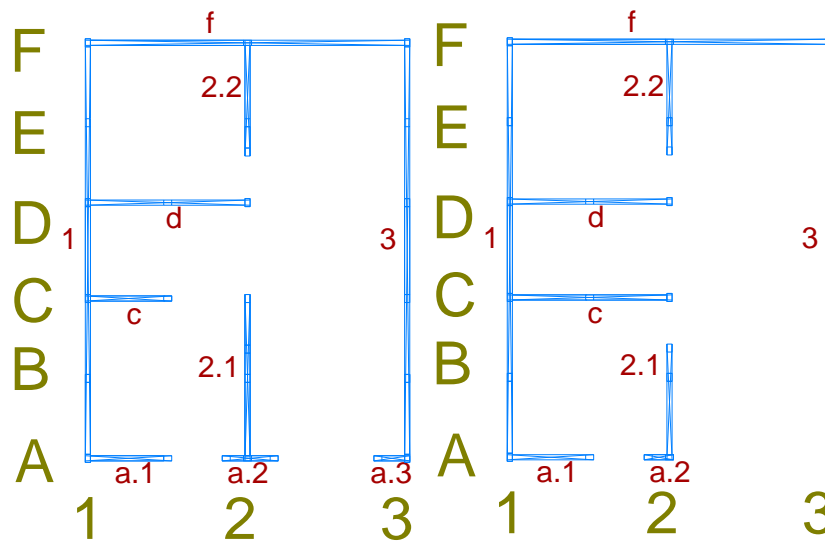


Gambar L.1.20 Tampak atas portal 3

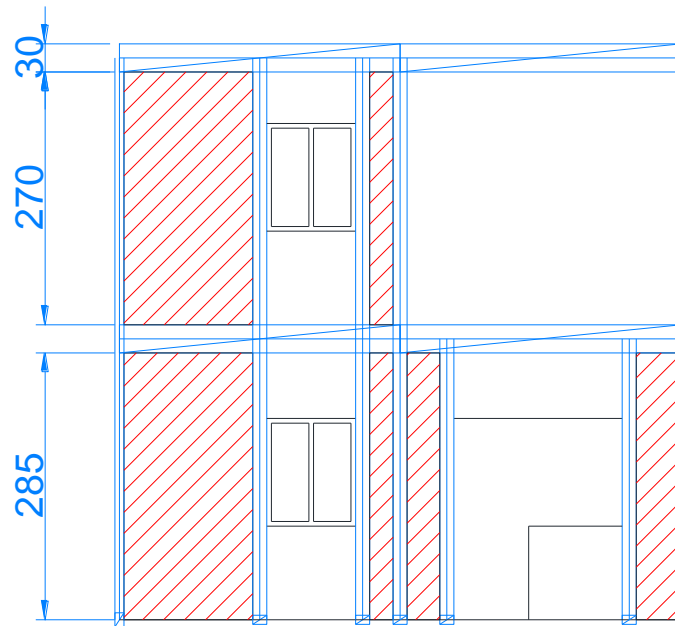
Lampiran 2. Gambar Detail Bata Tulungagung



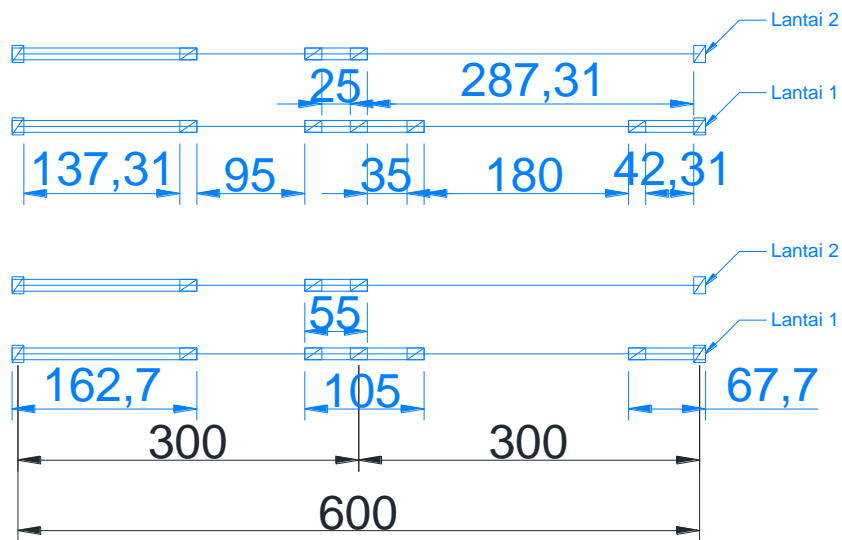
Gambar L.2.1 Denah model lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)



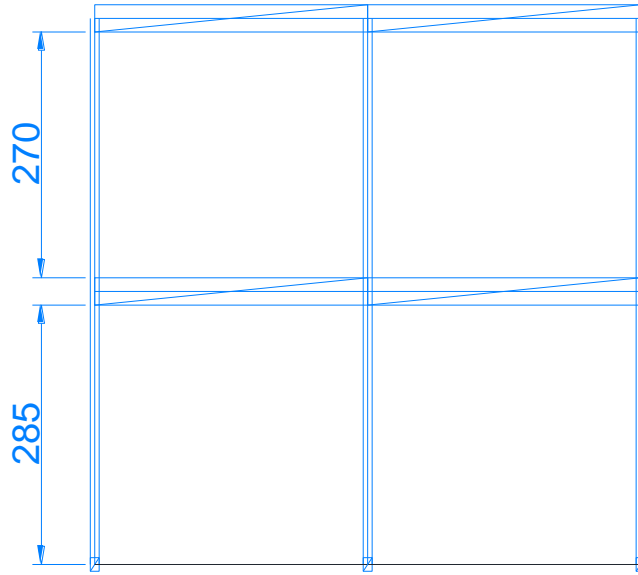
Gambar L.2.2 Penamaan dinding lantai 1 (kiri) dan lantai 2 (kanan)



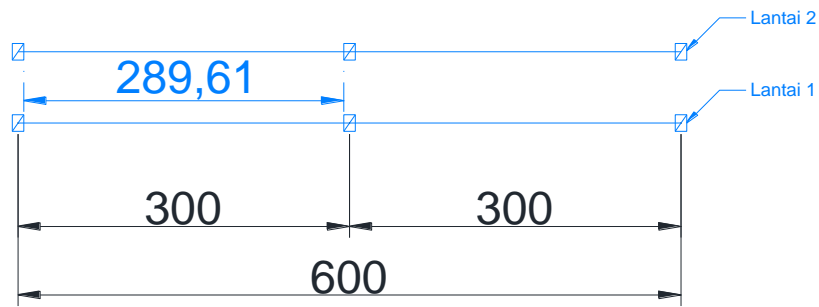
Gambar L.2.3 Portal A



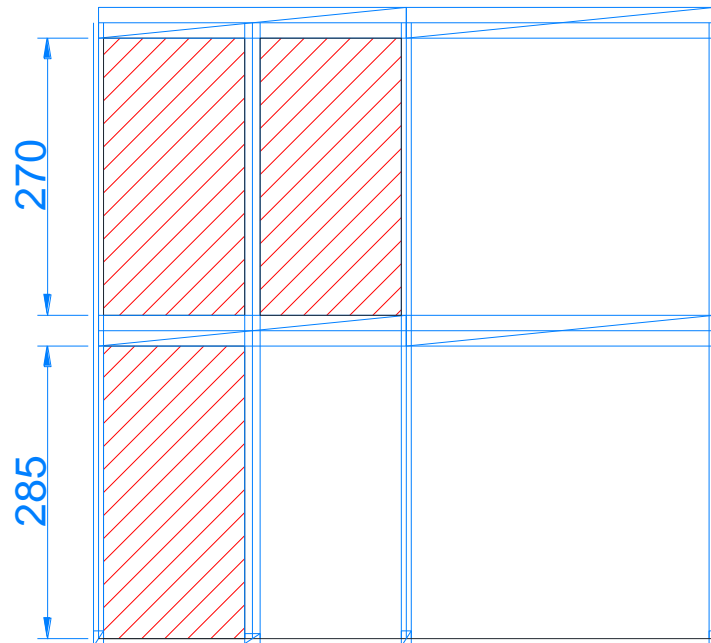
Gambar L.2.4 Tampak atas portal A



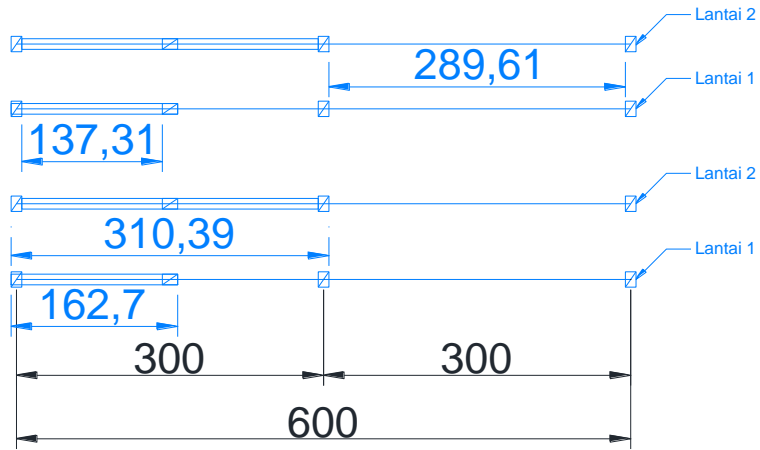
Gambar L.2.5 Portal B



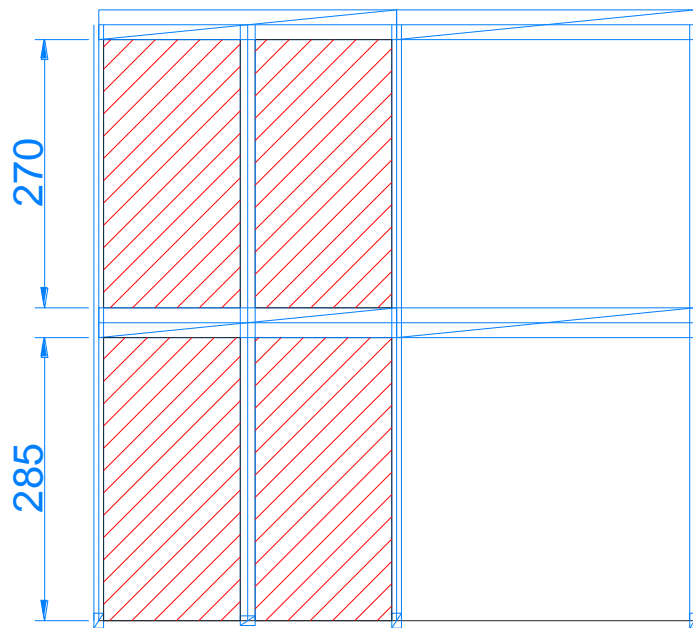
Gambar L.2.6 Tampak atas portal B



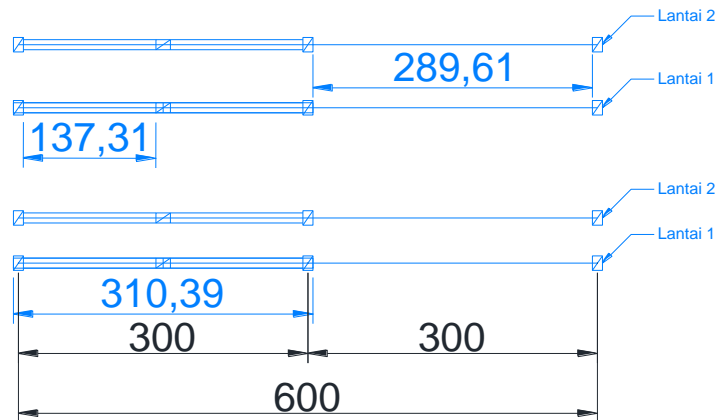
Gambar L.2.7 Portal C



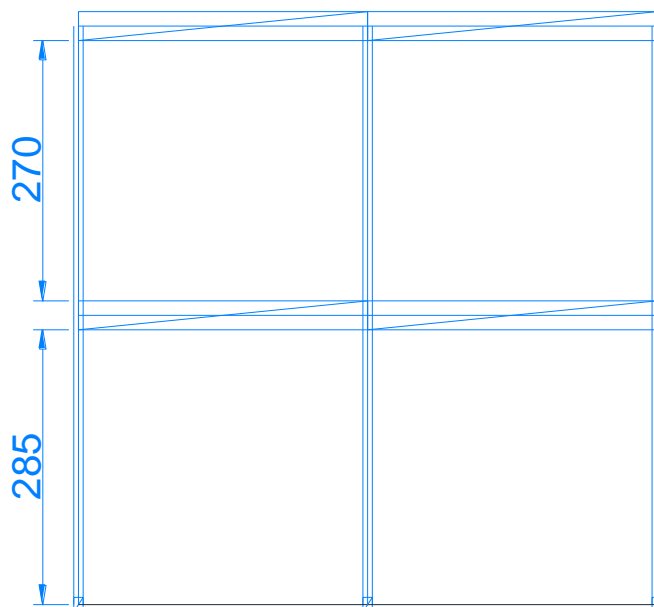
Gambar L.2.8 Tampak atas portal C



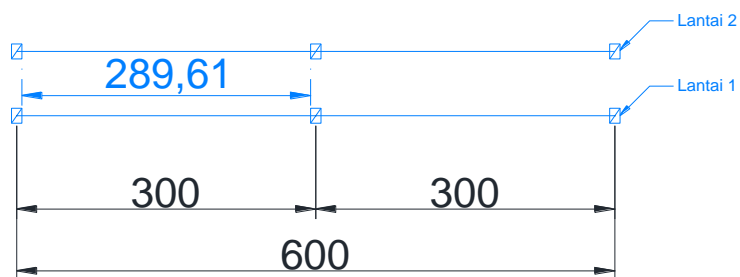
Gambar L.2.9 Portal D



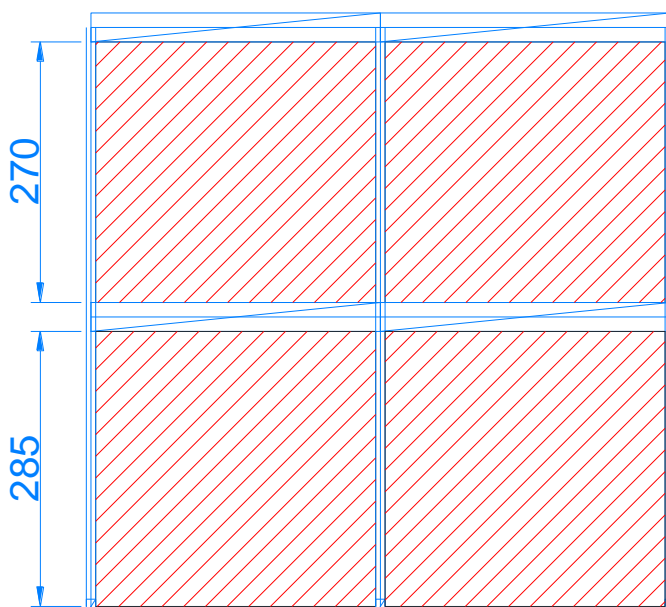
Gambar L.2.10 Tampak atas portal D



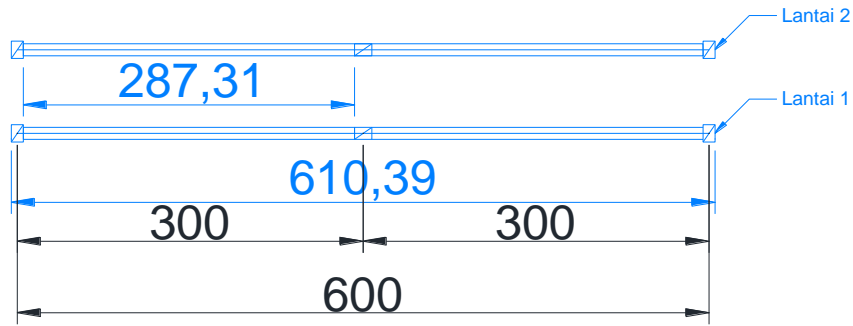
Gambar L.2.11 Portal E



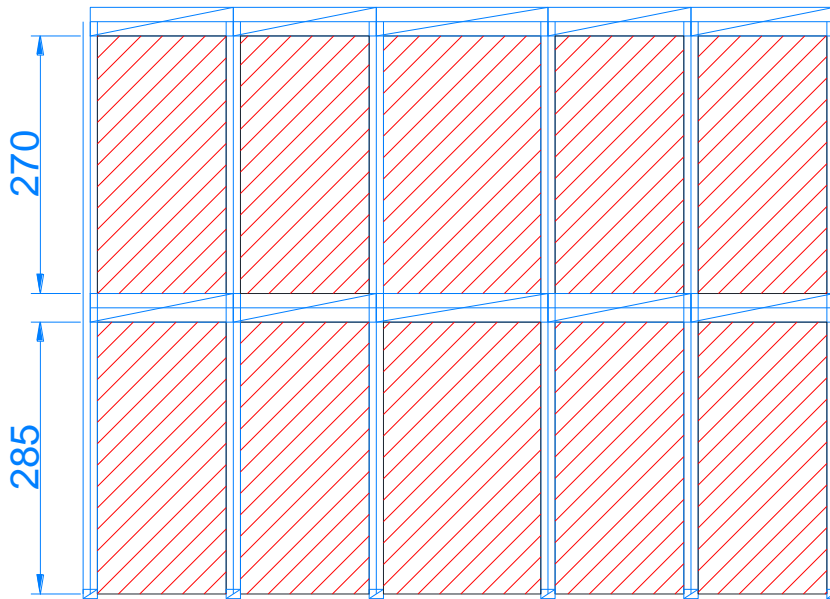
Gambar L.2.12 Tampak atas portal E



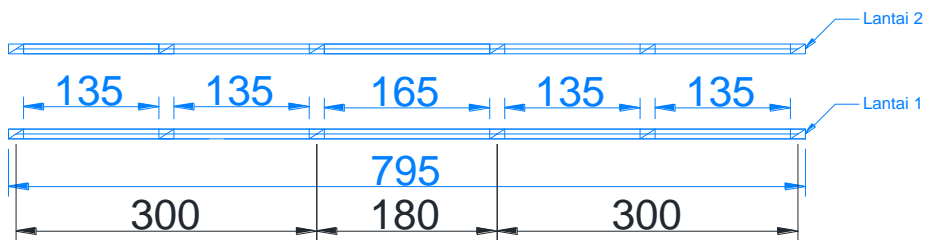
Gambar L.2.13 Portal F



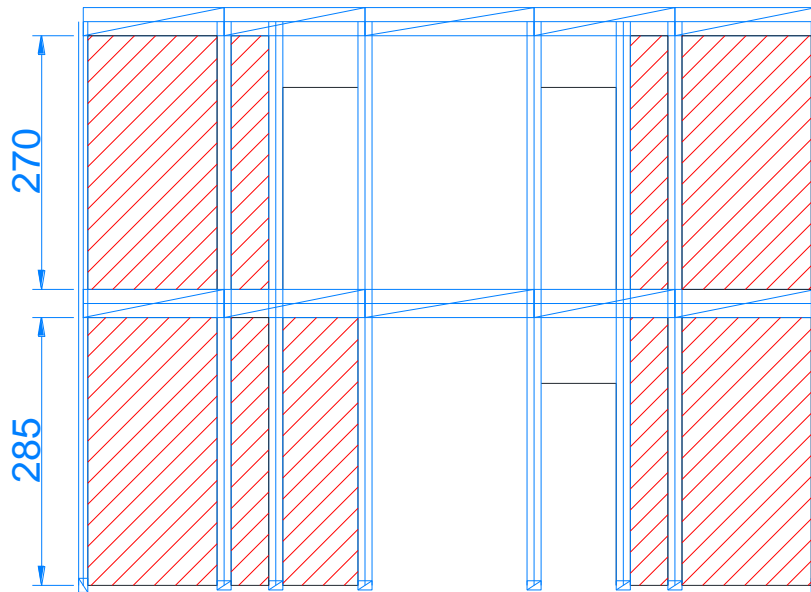
Gambar L.2.14 Tampak atas portal F



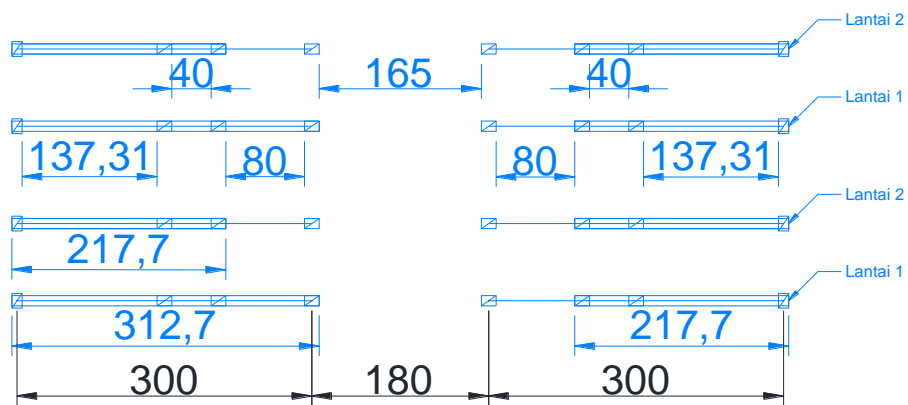
Gambar L.2.15 Portal 1



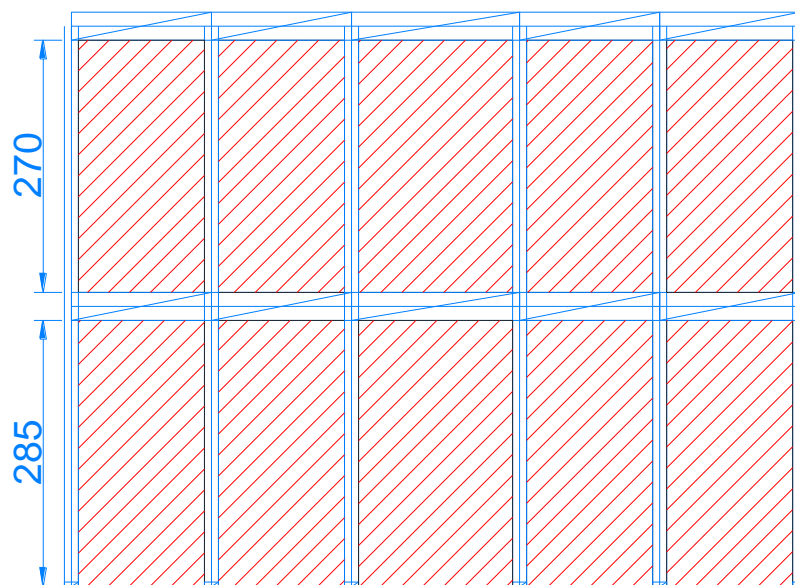
Gambar L.2.16 Tampak atas portal 1



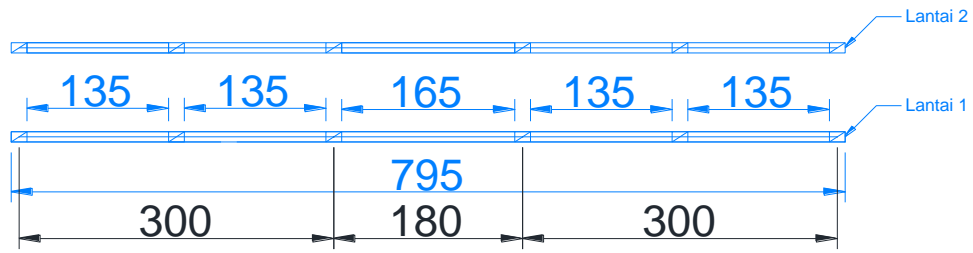
Gambar L.2.17 Portal 2



Gambar L.2.18 Tampak atas portal 2



Gambar L.2.19 Portal 3



Gambar L.2.20 Tampak atas portal 3

Lampiran 3. Perhitungan beban bata Kediri

Tabel L.3.1 Beban portal A bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.102165	3		2400 kg/m ³ =	367.79	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.072975	3		2400 kg/m ³ =	262.71	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.1528		2400 kg/m ³ =	180.49	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	2.4028	2.85	1677.12 kg/m ³ =	558.74	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	1.6264	2.7	1677.12 kg/m ³ =	358.29	
Total Beban Mati						1728.03	
0.5 kolom bawah	0.5	0.072975	3		2400 kg/m ³ =	262.71	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	0.8031		2400 kg/m ³ =	28.13	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	1.6264	2.7	1677.12 kg/m ³ =	132.70	
Total Beban Mati						423.54	

Tabel L.3.2 Beban portal B bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.8054		2400 kg/m ³ =	203.35	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	0	2.85	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	0	2.7	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						518.60	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.8054		2400 kg/m ³ =	203.35	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	0	2.7	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						360.98	

Tabel L.3.3 Beban portal C bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.6555		2400 kg/m ³ =	198.10	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	1.3764	2.85	1677.12 kg/m ³ =	112.30	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	2.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	224.61	
Total Beban Mati						955.35	
0.5 kolom bawah	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.6555		2400 kg/m ³ =	198.10	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	2.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	224.61	
Total Beban Mati						632.87	

Tabel L.3.4 Beban portal D bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.6555		2400 kg/m ³ =	198.10	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	2.7528	2.85	1677.12 kg/m ³ =	224.61	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	2.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	224.61	
Total Beban Mati						1067.65	
0.5 kolom bawah	0.5	0.05838	3		2400 kg/m ³ =	210.17	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.6555		2400 kg/m ³ =	198.10	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	2.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	224.61	
Total Beban Mati						632.87	

Tabel L.3.5 Beban portal E bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.8054		2400 kg/m ³ =	203.35	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	0	2.85	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	0	2.7	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						518.60	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.8054		2400 kg/m ³ =	203.35	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	0	2.7	1677.12 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						360.98	

Tabel L.3.6 Beban portal F bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.7528		2400 kg/m ³ =	201.51	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	5.7528	2.85	1677.12 kg/m ³ =	469.38	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	5.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	469.38	
Total Beban Mati						1455.52	
0.5 kolom bawah	0.5	0.043785	3		2400 kg/m ³ =	157.63	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	5.7528		2400 kg/m ³ =	201.51	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	5.7528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	469.38	
Total Beban Mati						828.52	

Tabel L.3.7 Beban portal 1 bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	7.05		2400 kg/m ³ =	246.95	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	7.05	2.85	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	7.05	2.7	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
Total Beban Mati						2027.90	
0.5 kolom bawah	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	7.05		2400 kg/m ³ =	246.95	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	7.05	2.7	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
Total Beban Mati						1137.42	

Tabel L.3.8 Beban portal 2 bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.14595	3		2400 kg/m ³ =	525.42	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.131355	3		2400 kg/m ³ =	472.88	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	6.8028		2400 kg/m ³ =	238.29	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	4.3528	2.85	1677.12 kg/m ³ =	355.15	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	3.5528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	289.88	
Total Beban Mati						1881.62	
0.5 kolom bawah	0.5	0.131355	3		2400 kg/m ³ =	472.88	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	6.8028		2400 kg/m ³ =	238.29	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	3.5528	2.7	1677.12 kg/m ³ =	289.88	
Total Beban Mati						1001.05	

Tabel L.3.9 Beban portal 3 bata Kediri

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	
Balok 15 cm	0.15	0.0973	7.05		2400 kg/m ³ =	246.95	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	7.05	2.85	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
0.5 dinding atas	0.5	0.0973	7.05	2.7	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
Total Beban Mati						2027.90	
0.5 kolom bawah	0.5	0.08757	3		2400 kg/m ³ =	315.25	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.0973	7.05		2400 kg/m ³ =	246.95	
0.5 dinding bawah	0.5	0.0973	7.05	2.7	1677.12 kg/m ³ =	575.22	
Total Beban Mati						1137.42	

Tabel L.3.10 Beban mati merata bata Kediri

Beban Mati				Keterangan	
Pelat lantai tebal 12 cm	0.12	46.8	2400 kg/m ³ =	13478.40	Lantai 1
Spesi lantai keramik tebal 2 cm		46.8	42 kg/m ² =	1965.60	
Penutup lantai kermik		46.8	24 kg/m ² =	1123.20	Lantai 2
Plafond + penggantung ME		46.8	18 kg/m ² =	842.40	
		46.8	20 kg/m ² =	936.00	
			Total Beban Mati	18345.60	
Plafond + penggantung ME		37.8	18 kg/m ² =	680.40	Lantai 2
		37.8	20 kg/m ² =	756.00	
			Total Beban Mati	1436.40	

Tabel L.3.11 Beban hidup merata bata Kediri

Beban Hidup				Keterangan	
Lantai rumah tinggal		46.8	125 kg/m ² =	5850.00	Lantai 1
			Total Beban Mati	5850.00	
Atap		37.8	100 kg/m ² =	3780.00	Lantai 2
			Total Beban Mati	3780.00	

Lampiran 4. Perhitungan Beban Bata Tulungagung

Tabel L.4.1 Beban portal A bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.109095	3		2400 kg/m ³ =	392.74	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.077925	3		2400 kg/m ³ =	280.53	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.1462		2400 kg/m ³ =	192.49	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	2.3962	2.85	1691.808 kg/m ³ =	600.21	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	1.6231	2.7	1691.808 kg/m ³ =	385.16	
Total Beban Mati						1851.14	
0.5 kolom bawah	0.5	0.077925	3		2400 kg/m ³ =	280.53	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.4462		2400 kg/m ³ =	203.71	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	1.6231	2.7	1691.808 kg/m ³ =	142.65	
Total Beban Mati						626.89	

Tabel L.4.2 Beban portal B bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7922		2400 kg/m ³ =	216.65	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	0	2.85	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	0	2.7	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						553.29	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7922		2400 kg/m ³ =	216.65	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	0	2.7	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						384.97	

Tabel L.4.3 Beban portal C bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.6423		2400 kg/m ³ =	211.04	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	1.3731	2.85	1691.808 kg/m ³ =	120.68	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	2.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	241.36	
Total Beban Mati						1021.94	
0.5 kolom bawah	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.6423		2400 kg/m ³ =	211.04	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	2.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	241.36	
Total Beban Mati						676.83	

Tabel L.4.4 Beban portal D bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.6423		2400 kg/m ³ =	211.04	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	2.7462	2.85	1691.808 kg/m ³ =	241.36	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	2.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	241.36	
Total Beban Mati						1142.62	
0.5 kolom bawah	0.5	0.06234	3		2400 kg/m ³ =	224.42	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.6423		2400 kg/m ³ =	211.04	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	2.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	241.36	
Total Beban Mati						676.83	

Tabel L.4.5 Beban portal E bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7462		2400 kg/m ³ =	214.93	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	0	2.85	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	0	2.7	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						551.57	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7462		2400 kg/m ³ =	214.93	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	0	2.7	1691.808 kg/m ³ =	0.00	
Total Beban Mati						383.25	

Tabel L.4.6 Beban portal F bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7462		2400 kg/m ³ =	214.93	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	5.7462	2.85	1691.808 kg/m ³ =	505.03	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	5.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	505.03	
Total Beban Mati						1561.63	
0.5 kolom bawah	0.5	0.046755	3		2400 kg/m ³ =	168.32	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	5.7462		2400 kg/m ³ =	214.93	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	5.7462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	505.03	
Total Beban Mati						888.28	

Tabel L.4.7 Beban portal 1 bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	7.05		2400 kg/m ³ =	263.70	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	7.05	2.85	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	7.05	2.7	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
Total Beban Mati						2176.21	
0.5 kolom bawah	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	7.05		2400 kg/m ³ =	263.70	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	7.05	2.7	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
Total Beban Mati						1219.95	

Tabel L.4.8 Beban portal 2 bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.15585	3		2400 kg/m ³ =	561.06	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.140265	3		2400 kg/m ³ =	504.95	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	6.7962		2400 kg/m ³ =	254.21	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	4.3462	2.85	1691.808 kg/m ³ =	381.99	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	3.5462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	311.67	
Total Beban Mati						2013.88	
0.5 kolom bawah	0.5	0.140265	3		2400 kg/m ³ =	504.95	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	6.7962		2400 kg/m ³ =	254.21	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	3.5462	2.7	1691.808 kg/m ³ =	311.67	
Total Beban Mati						1070.83	

Tabel L.4.9 Beban portal 3 bata Tulungagung

Beban Mati						Keterangan	
0.5 kolom bawah	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	Lantai 1
0.5 kolom atas	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	
Balok 15 cm	0.15	0.1039	7.05		2400 kg/m ³ =	263.70	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	7.05	2.85	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
0.5 dinding atas	0.5	0.1039	7.05	2.7	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
Total Beban Mati						2176.21	
0.5 kolom bawah	0.5	0.09351	3		2400 kg/m ³ =	336.64	Lantai 2
Balok 15 cm	0.15	0.1039	7.05		2400 kg/m ³ =	263.70	
0.5 dinding bawah	0.5	0.1039	7.05	2.7	1691.808 kg/m ³ =	619.62	
Total Beban Mati						1219.95	

Tabel L.4.10 Beban mati merata bata Tulungagung

Beban Mati				Keterangan	
Pelat lantai tebal 12 cm	0.12	46.8	2400 kg/m ³ =	13478.40	Lantai 1
Spesi lantai keramik tebal 2 cm		46.8	42 kg/m ² =	1965.60	
Penutup lantai kermik		46.8	24 kg/m ² =	1123.20	
Plafond + penggantung ME		46.8	18 kg/m ² =	842.40	
		46.8	20 kg/m ² =	936.00	
			Total Beban Mati	18345.60	
Plafond + penggantung ME		37.8	18 kg/m ² =	680.40	Lantai 2
		37.8	20 kg/m ² =	756.00	
			Total Beban Mati	1436.40	

Tabel L.4.11 Beban hidup merata bata Tulungagung

Beban Hidup				Keterangan	
Lantai rumah tinggal		46.8	125 kg/m ² =	5850.00	Lantai 1
			Total Beban Mati	5850.00	
Atap		37.8	100 kg/m ² =	3780.00	Lantai 2
			Total Beban Mati	3780.00	