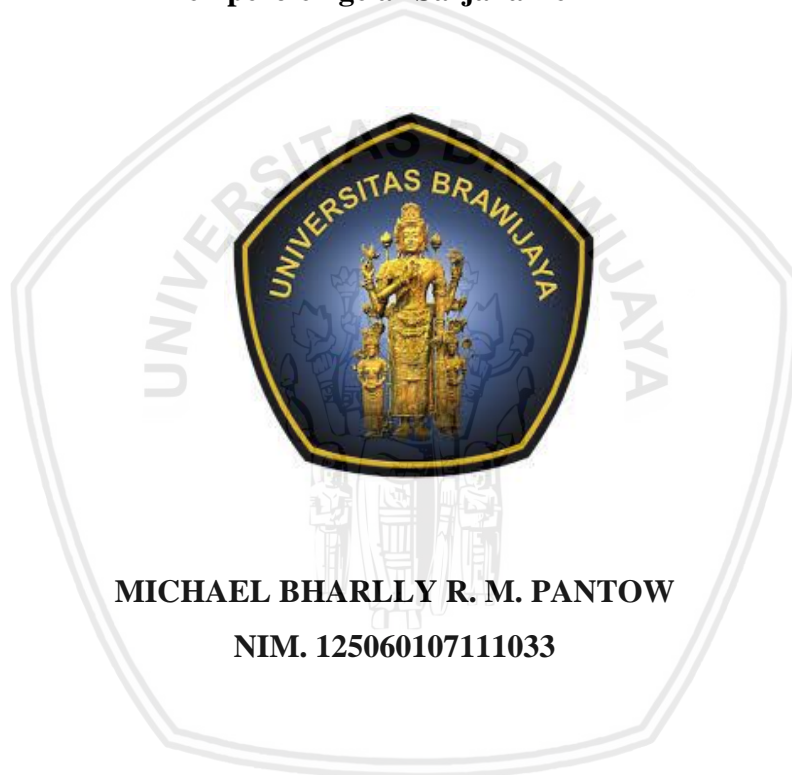


**PENENTU KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH SATU  
LANTAI DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN BATA LOKAL  
MENGGUNAKAN METODE *WALL DENSITY INDEX***

**SKRIPSI**

**Teknik Sipil**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**MICHAEL BHARLLY R. M. PANTOW**

**NIM. 125060107111033**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2019**

repository.ub.ac.id

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENENTU KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH TINGGAL  
SATU LANTAI DI KOTA MALANG DENGAN BATA LOKAL  
MENGUNAKAN METODE *WALL DENSITY INDEX***

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi sebagian  
persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MICHAEL BHARLLY R. M. PANTOW**  
**125060107111033**

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 17 Juli 2019

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MS.**

NIP. 19560412 198303 1 005

**Dr. Ir. Wisnumurti, MT.**

NIP. 19641207 199002 1 001

Mengetahui,  
**Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng. Indradi W, ST., M.Eng., (Prac.)**

NIP. 19810220 200604 1 002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI**

## Judul Skripsi:

Penentu Kapasitas Gempa Rumah Tinggal Satu Lantai di Kota Malang dengan Bata Lokal Menggunakan Metode *Wall Density Index*

Nama Mahasiswa : Michael Bharlly R. M. Pantow

NIM : 125060107111033

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

## Tim Dosen Penguji:

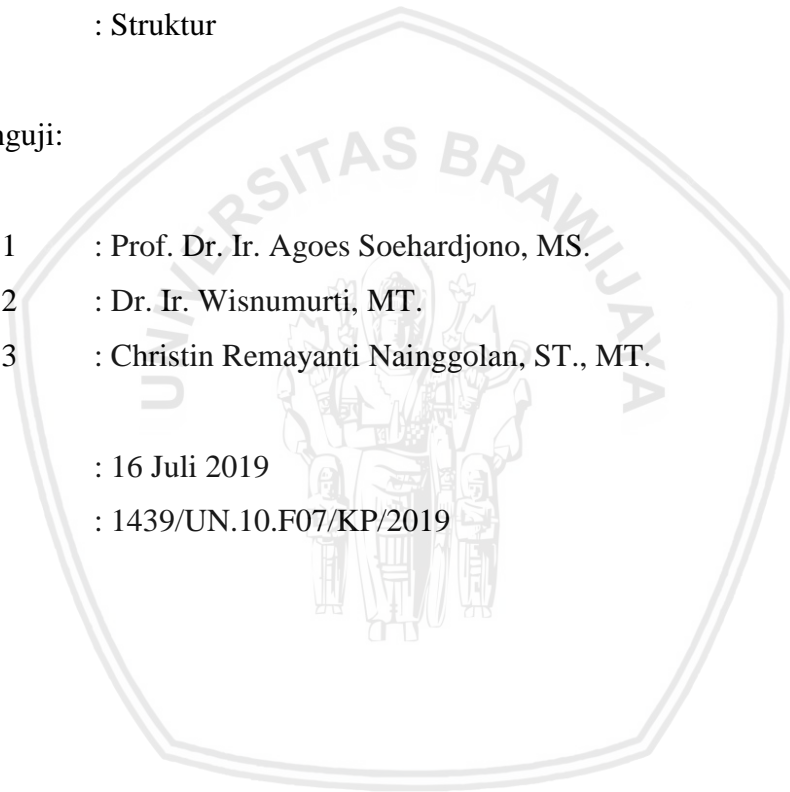
Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MS.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Dosen Penguji 3 : Christin Remayanti Nainggolan, ST., MT.

Tanggal Ujian : 16 Juli 2019

SK Penguji : 1439/UN.10.F07/KP/2019



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil 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 jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Juli 2019

Michael Bharlly R. M.

NIM. 125060107111033



## RIWAYAT HIDUP

Michael Bharlly Radot Mancini Pantow, lahir di Jakarta, 9 Februari 1994, putra satu-satunya dari Bapak Ricky Pantow dan Elly Pardede. Menjalani pendidikan sekolah dasar di SD Ignatius Slamet Riyadi 1, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP St. Vincetius Jakarta, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Kolese Gonzaga dan lulus pada tahun 2012. Kemudian dilanjutkan dengan mengambil pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2019.

Semasa kuliah aktif mengikuti Himpunan Mahasiswa Sipil sebagai anggota Departemen Akademis periode 2013/2014, Wakil Ketua Departemen Akademis periode 2014/2015, Ketua Departemen Akademis periode 2015/2016, dan sebagai Wakil Ketua Himpunan II periode 2015/2016. Pada beberapa kegiatan aktif sebagai anggota dari beberapa kepanitiaan seperti PROBIN MABA, Civil Camp, KMS, Temu Angkatan, Kuliah Tamu, Ketua Seminar Nasional 2014, Ketua Kuliah Tamu 2013, dan 2016.

Malang, 19 Juli 2019

Penulis





*Dari buah hatimu,  
Papa dan Mama tercinta*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat serta kasih karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Penentu Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal Satu Lantai di Kota Malang Menggunakan Bata Lokal dengan Metode *Wall Density Index***” dengan baik. tugas akhir ini diperuntukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Tentunya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Eng. Indradi W., ST., M. Eng., (Prac.) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional dan dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penulisan tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Ir. Agoes Soehardjono, MS., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama proses penulisan tugas akhir ini.
4. Seluruh Bapak Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang telah memberikan waktu dan ilmunya selama masa perkuliahan.
5. Ayahanda Ricky Pantow dan Ibunda Elly Pardede yang telah melahirkan dan mendidik saya dari kecil sampai detik ini. Terima kasih atas dukungan, motivasi, kesabaran, dan kepercayaan selama menjalani perkuliahan dan proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Keluarga besar dari papa dan mama yang terus memberikan doa dan semangat.
7. Ludo, Andiza, Andy, Leon, Patrick, Randhan, Soni, Dito, Syauqi, Janet, Mas Derry, Paun, Dipo, Adit, Fandy, Vian, Valen, Yandri (Yansen), Ilmi, Farouq, Rifky (Kupro), Fadli, Putri (Putau), Marcella, Dila, Adam, Ghana, Stanley, Christian Bradley (Andre), Andre (Noobpeople), Irva, Andi, dan Nico, teman-teman yang telah memberikan dukungan dan inspirasi.
8. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil dan Teknik Sipil 2012, serta Civitas Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijawa.

repository.ub.ac.id

Saya berharap Tuhan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu pengerjaan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun diharapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhir kata semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian-penelitian selanjutnya.

Malang, 7 Juli 2019

Penulis





## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	xi
<b>SUMMARY</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Tujuan Penelitian .....	3
1.6 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Teori Gempa Bumi .....	5
2.1.1 Pengertian .....	5
2.1.2 Jenis-Jenis Gempa Bumi .....	5
2.2 Penyebab Kerusakan Bangunan Akibat Gempa .....	6
2.2.1 Penyebab Kerusakan Akibat Sifat Gempa .....	6
2.2.2 Penyebab Lain Kerusakan pada Struktur .....	6
2.3 Kategori Kerusakan Gempa .....	8
2.4 Kerusakan Tipikal Bangunan .....	8
2.5 Dasar Perencanaan Bangunan Tahan Gempa .....	9
2.5.1 Denah Bangunan .....	9
2.5.2 Pemilihan Lokasi .....	13
2.5.3 Desain Struktur .....	13
2.5.4 Ketahanan terhadap Kebakaran .....	14
2.6 Bangunan Tembokan dengan Perkuatan ( <i>Confined Masonry Buildings</i> ) .....	14
2.6.1 Pengertian .....	14
2.6.2 Perbedaan Konstruksi Bangunan <i>Confined Masonry</i> dan Bangunan Beton Bertulang .....	14
2.7 Komponen Bangunan <i>Confined Masonry</i> .....	16
2.7.1 Dinding Pasangan .....	16
2.7.2 Komponen Pengikat Balok-Kolom .....	21



2.7.3 Pondasi.....	25
2.8 Pembebanan.....	26
2.9 Beban Gempa .....	27
2.9.1 Spektrum Respons Desain .....	27
2.9.2 Koefisien Respons Seismik .....	30
2.10 Perhitungan Sederhana <i>Wall Density Index</i> .....	30
2.10.1 Perhitungan Gaya Geser Akibat Beban Gempa.....	30
2.10.2 Perhitungan Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi .....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>37</b>
3.1 Data Umum Bangunan .....	37
3.2 Desain Awal .....	37
3.3 Metode Analisa Struktur .....	42
3.4 Diagram Alir Analisis.....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>45</b>
4.1 Kapasitas Bentuk Bangunan.....	45
4.1.1 Keteraturan Bentuk ( <i>Regular</i> ).....	45
4.1.2 Bangunan Tidak Terlalu Panjang.....	47
4.1.3 Distribusi Dinding Simetris dan Merata.....	48
4.2 Kapasitas Dinding Bangunan .....	67
4.2.1 Perhitungan Gaya Gempa.....	67
4.2.2 <i>Wall Density Index</i> .....	69
4.3 Pembahasan .....	106
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>109</b>
5.1 Kesimpulan.....	109
5.2 Saran .....	110
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Perbedaan Sistem Bangunan Confined Masonry dan RC Frame .....	15
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi menurut Kekuatan Tekan Rata-rata.....	16
<b>Tabel 2.3</b> Dimensi dan Toleransi Bata Merah .....	17
<b>Tabel 2.4</b> Indeks Kerapatan Dinding $d$ (%) untuk Setiap Arah dari Rencana Bangunan... ..	18
<b>Tabel 2.5</b> Koefisien Situs $F_a$ .....	28
<b>Tabel 2.6</b> Koefisien Situs $F_v$ .....	28
<b>Tabel 2.7</b> Maksimum Rasio $B/t$ untuk Sistem Pelat Dua Arah.....	36
<b>Tabel 4.1</b> Massa Daerah 1 Denah Tipe 54.....	49
<b>Tabel 4.2</b> Massa Daerah 2 Denah Tipe 54.....	50
<b>Tabel 4.3</b> Massa Daerah 3 Denah Tipe 54.....	50
<b>Tabel 4.4</b> Pusat Massa Denah Tipe 54.....	50
<b>Tabel 4.5</b> Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 54.....	52
<b>Tabel 4.6</b> Massa Daerah 1 Denah Tipe 60.....	55
<b>Tabel 4.7</b> Massa Daerah 2 Denah Tipe 60.....	55
<b>Tabel 4.8</b> Massa Daerah 3 Denah Tipe 60.....	55
<b>Tabel 4.9</b> Massa Daerah 4 Denah Tipe 60.....	56
<b>Tabel 4.10</b> Pusat Massa Denah Tipe 60.....	56
<b>Tabel 4.11</b> Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 60.....	58
<b>Tabel 4.12</b> Massa Daerah 1 Denah Tipe 70.....	61
<b>Tabel 4.13</b> Massa Daerah 2 Denah Tipe 70.....	62
<b>Tabel 4.14</b> Massa Daerah 3 Denah Tipe 70.....	62
<b>Tabel 4.15</b> Massa Daerah 4 Denah Tipe 70.....	62
<b>Tabel 4.16</b> Massa Daerah 5 Denah Tipe 70.....	63
<b>Tabel 4.17</b> Pusat Massa Denah Tipe 70.....	63
<b>Tabel 4.18</b> Pusat Kekakuan Dinding Denah Tipe 70.....	65
<b>Tabel 4.19</b> Berat Bangunan Tipe 54 .....	71
<b>Tabel 4.20</b> Berat Bangunan Tipe 60 .....	82
<b>Tabel 4.21</b> Berat Bangunan Tipe 70 .....	94
<b>Tabel 4.22</b> Perbandingan Tiga Tipe Bangunan.....	106



(halaman yang dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Efek Rocking pada Bangunan .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Kerusakan Tipikal pada Bangunan <i>Non-Engineered</i> .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Efek Torsi pada Bangunan Tidak Simetris .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Syarat Bentuk Simetris pada Bangunan .....	10
<b>Gambar 2.5</b> Bentuk Bangunan Irregular dan Regular.....	11
<b>Gambar 2.6</b> Persyaratan Bentuk Bangunan Dikatakan Irregular .....	11
<b>Gambar 2.7</b> Rasio Panjang dan Lebar Denah Bangunan .....	12
<b>Gambar 2.8</b> Denah Bangunan Terpisah .....	12
<b>Gambar 2.9</b> Bentuk Ruang yang Kaku .....	13
<b>Gambar 2.10</b> Persyaratan untuk Bangunan Sederhana .....	19
<b>Gambar 2.11</b> Dinding Gable .....	20
<b>Gambar 2.12</b> Toothing pada Dinding .....	21
<b>Gambar 2.13</b> Rekomendasi Ikatan Bangunan Non-Struktur Tahan Gempa.....	22
<b>Gambar 2.14</b> Lokasi Kolom.....	22
<b>Gambar 2.15</b> Konstruksi Balok.....	23
<b>Gambar 2.16</b> Detail Tulangan Balok .....	23
<b>Gambar 2.17</b> Kait Tulangan Longitudinal Kolom dan Balok.....	24
<b>Gambar 2.18</b> Tambahan Pengikat untuk Tulangan Vertikal pada Ujung Join Kolom dan Balok.....	24
<b>Gambar 2.19</b> Layout dan Detail Sengkang .....	25
<b>Gambar 2.20</b> Pengurangan Spasi Sengkang pada Ujung Sengkang .....	25
<b>Gambar 2.21</b> Detail Pondasi untuk Konstruksi Tahan Gempa .....	26
<b>Gambar 2.22</b> Spektrum Respons Desain .....	29
<b>Gambar 2.23</b> Jarak Antar Tengah Dinding .....	34
<b>Gambar 2.24</b> <i>Tributary Area (TA)</i> .....	35
<b>Gambar 3.1</b> Denah Rumah Tipe 54 .....	38
<b>Gambar 3.2</b> Model Rumah Tipe 54 .....	38
<b>Gambar 3.3</b> Denah Rumah Tipe 60 .....	39
<b>Gambar 3.4</b> Model Rumah Tipe 60 .....	40
<b>Gambar 3.5</b> Denah Rumah Tipe 70 .....	41
<b>Gambar 3.6</b> Model Rumah Tipe 70 .....	41
<b>Gambar 3.7</b> Diagram Alir <i>Wall Density Index</i> .....	43
<b>Gambar 4.1</b> Penentuan Bagian <b>X</b> , <b>X<sub>p</sub></b> , <b>Y</b> , dan <b>Y<sub>p</sub></b> Denah Tipe 54 .....	45
<b>Gambar 4.2</b> Penentuan Bagian <b>X</b> , <b>X<sub>p</sub></b> , <b>Y</b> , dan <b>Y<sub>p</sub></b> Denah Tipe 60 .....	46
<b>Gambar 4.3</b> Penentuan Bagian <b>X</b> , <b>X<sub>p</sub></b> , <b>Y</b> , dan <b>Y<sub>p</sub></b> Denah Tipe 70 .....	47
<b>Gambar 4.4</b> Pembagian Daerah untuk Daerah 1, 2, dan 3 Denah Tipe 54 .....	48
<b>Gambar 4.5</b> Denah Balok Rumah Tipe 54.....	49
<b>Gambar 4.6</b> Penomoran Dinding Denah Tipe 54.....	51



<b>Gambar 4.7</b> Koordinat Pusat Massa dan Kekakuan Dinding Denah Tipe 54.....	52
<b>Gambar 4.8</b> Detail Eksentrisitas .....	53
<b>Gambar 4.9</b> Pembagian Daerah untuk Daerah 1, 2, 3, dan 4 Denah Tipe 60 .....	54
<b>Gambar 4.10</b> Denah Balok Rumah Tipe 60.....	54
<b>Gambar 4.11</b> Penomoran Dinding Denah Tipe 60.....	57
<b>Gambar 4.12</b> Koordinat Pusat Massa dan Kekakuan Dinding Denah Tipe 60.....	59
<b>Gambar 4.13</b> Detail Eksentrisitas.....	59
<b>Gambar 4.14</b> Pembagian Daerah untuk Daerah 1, 2, 3, 4,dan 5 Denah Tipe 54 .....	60
<b>Gambar 4.15</b> Denah Balok Rumah Tipe 70.....	61
<b>Gambar 4.16</b> Penomoran Dinding Denah Tipe 70.....	64
<b>Gambar 4.17</b> Koordinat Pusat Massa dan Kekakuan Dinding Denah Tipe 70.....	66
<b>Gambar 4.18</b> Detail Eksentrisitas.....	66
<b>Gambar 4.19</b> $S_s$ , Titik Hitam Lokasi di Kota Malang.....	67
<b>Gambar 4.20</b> $S_1$ , Titik Hitam Lokasi di Kota Malang .....	68
<b>Gambar 4.21</b> Tampak Samping Kiri Bangunan Tipe 54 .....	70
<b>Gambar 4.22</b> Tampak Samping Kanan Bangunan Tipe 54 .....	70
<b>Gambar 4.23</b> Penamaan Dinding Rumah Tipe 54 .....	74
<b>Gambar 4.24</b> Tampak Samping Kiri Bangunan Tipe 60 .....	81
<b>Gambar 4.25</b> Tampak Samping Kanan Bangunan Tipe 60 .....	81
<b>Gambar 4.26</b> Penamaan Dinding Rumah Tipe 60 .....	84
<b>Gambar 4.27</b> Tampak Samping Kiri Bangunan Tipe 70 .....	93
<b>Gambar 4.28</b> Tampak Samping Kanan Bangunan Tipe 70 .....	93
<b>Gambar 4.29</b> Penamaan Dinding Rumah Tipe 70 .....	96

## DAFTAR LAMPIRAN

**Lampiran 1** Kuat Geser Dinding,  $V_m$  dan Kuat Tekan Dinding,  $f_m'$





(halaman ini dikosongkan)



## RINGKASAN

**Michael Bharlly R. M. Pantow**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang, Juli 2019, *Penentu Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal Satu Lantai di Kota Malang Menggunakan Bata Lokal Dengan Metode Wall Density Index*, Dosen Pembimbing: Agoes Soehardjono dan Wisnumurti.

Secara geografis Kota Malang terletak pada perbatasan lempeng tektonik dan dikelilingi oleh beberapa gunung aktif. Kondisi tersebut mengategorikan Malang sebagai daerah rawan gempa. Dari catatan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), pada tahun 2018, telah terjadi gempa sebanyak 13 kali di daerah Malang. Efek dari gempa menyebabkan bangunan rusak dan apabila gempa berkekuatan besar, bangunan dapat runtuh secara total. Rata-rata bangunan yang rusak ataupun runtuh adalah bangunan *non-engineered*, seperti bangunan penduduk, rumah tinggal, sekolah, dan bangunan lainnya yang dirancang tanpa bantuan ahli. Berdasarkan pengalaman yang sudah dipaparkan, keruntuhan total bangunan menjadi penyebab utama jatuhnya korban jiwa dan hal ini sering dijumpai pada bangunan rumah tinggal sederhana. Masalah ini timbul karena pada saat perencanaan, rumah tidak dibangun sesuai syarat-syarat yang berlaku untuk menunjang kapasitas bangunan supaya tahan terhadap gempa. Oleh karenanya penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kapasitas bentuk dan kapasitas dinding berbagai tipe rumah agar dapat ditentukan kapasitas yang paling berpengaruh pada bangunan rumah tinggal saat terjadi gempa.

Pada penelitian ini digunakan rumah satu lantai dengan tiga tipe, yakni tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 menggunakan bata merah lokal. Kapasitas bangunan ditinjau berdasarkan bentuk desain rumah dan kekuatan dinding. Kekuatan dinding dianalisa menggunakan metode *Wall Density Index*. Sesuai persyaratan bentuk rumah tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 memiliki bentuk *irregular*, sehingga bangunan bisa timbul efek torsi pada bangunan. Untuk tipe 54, tipe 60 dan tipe 70 memiliki rasio panjang dan lebar tidak lebih dari tiga ( $P/L > 3$ ), namun pada ketiga tipe bangunan yang dianalisa bentuk denah rumah tidak terlalu panjang, sehingga dikategorikan tiga tipe rumah tersebut memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa.

Kapasitas ketahanan gempa bukan terfokus pada bentuk tetapi juga pada kapasitas dinding rumah. Hal ini dikarenakan rumah di Indonesia menerapkan sistem *RC frame Confined Masonry*. Setiap tipe ruma indeks kerapatan dinding atau *Wall Density Index* ( $d$ ) yang telah memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa. Kontrol seismik pada dinding tiap tipe rumah, diperoleh hasil analisa yang memenuhi faktor keamanan bangunan tahan gempa. Kontrol terhadap gaya gravitasi ditinjau berdasarkan dinding interior dan eksteriornya didapatkan nilai untuk semua tipe rumah telah memenuhi angka keamanan yang menyatakan bangunan tahan terhadap gempa. Adapun kontrol daya dukung pada setiap dinding yang ditinjau pada dinding paling kritis didapatkan nilai angka keamanan yang dikategorikan aman pada persyaratan tahan gempa. Ketiga tipe bangunan telah

memenuhi persyaratan kapasitas dengan demikian tiap rumah telah memiliki kapasitas ketahanan gempa untuk



repository.ub.ac.id

rumah satu lantai dan dari semua persyaratan kapasitas kontrol seismik yang menjadi penentu kapasitas bangunan untuk ketahanan terhadap gempa.

Kata kunci: kapasitas gempa, *Wall Density Index*, kapasitas bentuk, kapasitas dinding, *Confined Masonry*





## SUMMARY

**Michael Bharlly R. M. Pantow**, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2019, Determinant of Seismic Capacities House One-Storey in Malang using Local Brick with Wall Density Index, Academic Supervisor: Agoes Soehardjono and Wisnumurti.*

Geographically, Malang City is located on the border of tectonic plates and is approved by several active mountains. This condition categorizes Malang as an earthquake prone area. From the records of Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), in 2018, there were 13 earthquakes in the Malang area. The effects of the earthquake caused buildings to be damaged and to overcome large-scale earthquakes, buildings could collapse completely. The average building that is damaged or collapsed is a building that is not engineered, such as residential buildings, houses, schools, and other buildings that are made without the help of experts. Based on the experience presented, the total collapse of buildings is the main cause of casualties and this is often found in simple residential buildings. This problem arises because at the time of planning, the house was not built according to the requirements needed to support earthquake-resistant building construction. By determining this research was carried out to assess the capacity of the shape and capacity of the walls of various types of houses in order to determine the most decisive capacity in residential buildings during an earthquake.

In this study used a one-story house with three types, namely type 54, type 60, and type 70 using local red brick. Building capacity is reviewed based on the shape of the house design and wall strength. Wall strength is analyzed using the Wall Density Index method. According to the requirements of type 54 house, type 60, and type 70 it has an irregular shape, so the building can have a torque effect on the building. For type 54, type 60 and type 70 have a ratio of length and width of no more than three ( $P / L > 3$ ), but in the three types of buildings analyzed the shape of the house plan is not too long, so it is categorized as three types of houses that meet the building requirements earthquake.

The capacity of earthquake resistance is not focused on the shape but also on the capacity of the walls of the house. This is because houses in Indonesia apply the RC frame Confined Masonry system. Each type of wall density index ( $d$ ) that meets the requirements of earthquake resistant buildings. Seismic control on the walls of each type of house, obtained the results of analysis that meets the safety factors of earthquake resistant buildings. Control of the gravitational force reviewed based on the interior and exterior walls is rated for all types of houses that meet the safety figures that state the building is earthquake resistant. The control of carrying capacity on each wall reviewed on the most critical wall has a safety value that is categorized as safe for earthquake resistance requirements. The three types of buildings have met the capacity requirements so that each house has an earthquake resistance capacity for one-story houses and from all

*requirements for seismic control capacity that determines building capacity for earthquake resistance.*



*Keywords: seismic capacity, Wall Density Index, design capacity, wall capacity, Confined Masonry*







## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bencana alam menjadi fenomena yang sering dijumpai di Indonesia, bahkan tiap tahun ke tahun kejadian bencana alam bertambah di Indonesia. Walaupun sebagian besar dikarenakan faktor cuaca namun tidak jarang bencana lainnya terjadi, seperti gempa bumi. Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang tidak dapat dihilangkan, bersifat merusak, dan menimbulkan kerugian yang besar bahkan menelan korban jiwa. Selain itu efek gempa bumi dengan skala besar dapat memicu bencana susulan seperti tsunami, tanah longsor, dan gunung meletus.

Sudah tidak asing lagi bahwa Indonesia adalah salah satu negara yang wilayahnya dianggap rawan terhadap gempa bumi. Penyebabnya Indonesia terletak pada wilayah yang dilewati oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik sehingga Indonesia memiliki tingkat aktivitas gempa bumi tinggi. Pergerakan ketiga lempeng tersebut dan dua lempeng lain yaitu Laut Philipina dan Carolina mengakibatkan terjadi gempa bumi pada daerah-daerah pertemuan antar lempeng dan menimbulkan sesar-sesar regional yang menjadi pusat gempa. Kota Malang secara astronomis terletak  $12,06^{\circ}$  –  $112,07^{\circ}$  BT dan  $7,06^{\circ}$  –  $8,02^{\circ}$  LS dan terletak pada ketinggian 440-667 meter di atas permukaan laut serta dikelilingi gunung-gunung yaitu Gunung Arjuno di sebelah utara, Gunung Semeru di sebelah timur, Gunung Kawi dan Panderman di sebelah barat, Gunung Kelud di sebelah selatan. Letak geografis Malang yang berada pada perbatasan lempeng tektonik dan dikelilingi oleh beberapa gunung yang masih aktif mengakibatkan Malang termasuk salah satu kota yang sering terjadi gempa bumi.

Pada tahun 2018, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melaporkan kejadian gempa bumi terjadi sebanyak 13 kali. Akibat dari peristiwa tersebut, diestimasi puluhan orang menjadi korban dan ratusan rumah rusak bahkan runtuh. Sebagian besar korban, baik luka-luka atau yang meninggal, terkena dampak dari kerusakan maupun keruntuhan bangunan. Penyebabnya rata-rata akibat bangunan *non-engineered*, bangunan sederhana seperti rumah. Karena gempa bumi tidak dapat dicegah dan tidak dapat diketahui kapan dan besarnya gempa yang akan terjadi, maka untuk

mencegah korban jiwa diperlukan perencanaan bangunan yang sedemikian rupa sehingga dapat meminimalkan kemungkinan



korban jiwa. Namun dari keseluruhan bangunan yang rusak akibat gempa, kerusakan sebagian besar terjadi pada rumah tinggal sederhana yang dibangun tanpa ada perencanaan untuk ketahanan terhadap gempa. Berdasarkan pengalaman yang sudah dipaparkan, dibutuhkan pengetahuan lebih terhadap konstruksi sederhana terutama bangunan rumah tinggal. Terutama kualitas bangunan rumah tinggal untuk menganggapi bencana gempa bumi.

Tertera pada SNI 1726, bahwa perencanaan rumah tinggal harus tahan terhadap beban akibat gempa bumi. Dinding rumah menjadi komponen yang pertama kali terpengaruh bila terjadi kerusakan saat gempa terjadi. Kualitas material utama yang digunakan untuk membuat dinding adalah batu bata. Batu bata merah yang banyak beredar di kota Malang memiliki kualitas beraneka ragam dan berbeda dari acuan standar. Kapasitas dinding pasangan batu bata merah berkaitan erat dengan respon gempa pada suatu rumah. Kekuatan dinding sebagai struktur penahan gaya gempa yang utama dapat dijadikan acuan untuk performa sebuah rumah (Wisnumurti et al., 2011).

Melihat banyaknya aktifitas gempa di kota Malang serta banyaknya penduduk yang membutuhkan rumah tinggal sehingga diperlukan penelitian terhadap ketahanan gempa pada rumah tinggal satu lantai dengan dinding pasangan batu bata merah untuk mengetahui seberapa besar kapasitas bangunan rumah tinggal tersebut terhadap gaya gempa di kota Malang.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Perumahan di kota Malang umumnya direncanakan masih belum memenuhi standar yang berlaku di Indonesia. Kualitas dari konfigurasi bangunan rumah tinggal terutama dinding akan menjadi perhatian utama dalam penelitian ini, dalam rangka keamanan serta kenyamanan bagi penghuninya. Kemudian kualitas dari bahan baku rumah akan lebih diperhatikan, teruntuk batu bata merah sebagai pasangan dinding. Bata merah digunakan sesuai produksi di daerah Malang.

## **1.3 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh desain rumah tinggal tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 sehubungan dengan peraturan bangunan tahan gempa?
2. Bagaimana kapasitas bangunan rumah tinggal 54, tipe 60, dan tipe 70 sehubungan persyaratan bangunan tahan gempa?

## **1.4 Batasan Masalah**

1. Objek penelitian diambil dari tiga tipe rumah tinggal pada dua perumahan di kota Malang.

2. Digunakan SNI-1726-2012 untuk menganalisis gaya gempa.
3. Struktur bangunan rumah tinggal dimodelkan sesungguhnya dengan penyederhanaan komponen struktur sekunder.
4. Analisa dilakukan hanya pada bagian struktur atas, struktur bawah (pondasi) tidak diikutsertakan dalam penelitian ini.
5. Digunakan metode penyederhaan *Wall Density Index*.
6. Kualitas bata merah digunakan sesuai keadaan mutu yang sesungguhnya yang ada di kota Malang.
7. Dinding berperan sebagai bagian struktural dari rumah tinggal.
8. Struktur atap berperan sebagai sistem diafragma kaku.
9. Lokasi bangunan berdiri di atas tanah sedang.

### **1.5 Tujuan Masalah**

1. Mengetahui pengaruh bentuk desain bangunan rumah tinggal tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 sehubungan dengan peraturan bangunan tahan gempa.
2. Mengetahui besar kapasitas bangunan rumah tinggal rumah tinggal tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 dalam menanggapi gempa.

### **1.6 Manfaat Masalah**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran kepada masyarakat dan pemerintah pengaruh ketahanan rumah tinggal dalam menghadapi gempa yang terjadi di kota Malang.
2. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat sehingga masyarakat dapat mengerti seberapa penting pembangunan rumah tinggal yang tahan gempa.
3. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, pemerintah kota Malang lebih memperhatikan bangunan rumah tinggal yang tidak sesuai standar untuk menghindari kerusakan yang lebih besar pada saat terjadi gempa bumi sehingga meminimalisir adanya korban jiwa.



(halaman ini dikosongkan)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teori Gempa Bumi

#### 2.1.1 Pengertian

Gempa bumi merupakan peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan atau pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik (Sunarjo, 2012). Pergerakan tiba-tiba dari lapisan batuan di dalam bumi menghasilkan energi yang dipancarkan ke segala arah dengan rupa gelombang seismik. Ketika gelombang ini merambat sampai ke permukaan bumi, getarannya dapat merusak segala sesuatu yang berada di atasnya seperti bangunan dan infrastruktur lainnya sehingga dapat menimbulkan jatuhnya korban jiwa dan harta benda.

Besar dan lama getaran menjadi salah satu faktor kerusakan yang ditimbulkan gempa, namun hal itu juga bergantung kondisi tanah serta kekuatan struktur bangunan. Pergeseran lempeng-lempeng sebenarnya terjadi setiap saat namun efek getarannya tidak terasa oleh manusia, tetapi alat seismograf dapat mencatat besarnya. Sering kali gempa bumi disusul oleh bencana alam lainnya seperti tanah longsor dan gelombang tsunami.

#### 2.1.2 Jenis-jenis gempa bumi

Gempa bumi dapat dibedakan menjadi lima macam berdasarkan penyebabnya, yakni:

a. Gempa Tektonik

Gempa tektonik terjadi disebabkan energi yang disebabkan karena adanya dinamika pada lapisan mantel bumi, sehingga memicu pergerakan lempeng tektonik. Masing-masing lempeng bergerak ke arah yang berlainan sehingga tubrukan tidak dapat dihindari. Dikarenakan tepian lempeng yang tidak rata maka timbulah friksi yang kemudian melepaskan energi guncangan ke permukaan.

b. Gempa Vulkanik

Peristiwa gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas gunung berapi. Aktivitas magma yang berada pada kantong bumi mendapatkan tekanan dan melepaskan energi secara tiba-tiba yang menimbulkan getaran pada permukaan bumi. Biasanya gunung berada pada kondisi aktif dan gempa terjadi sesaat sebelum gunung meletus.

c. Gempa Runtuhan

Gempa runtuh merupakan gempa yang bersifat lokal dikarenakan gempa berasal dari tanah atau batuan yang runtuh. Hal ini biasa terjadi di daerah lereng atau tebing dan juga terjadi pada lokasi pertambangan.

d. Gempa Tumbukan

Peristiwa ini terjadi karena tumbukan benda asing dari luar angkasa, seperti meteor atau asteroid yang jatuh ke permukaan bumi. Benda langit yang menabrak permukaan bumi menghasilkan getaran keras pada permukaan bumi, namun peristiwa ini jarang terjadi.

e. Gempa Buatan

Fenomena ini terjadi bukan dari aktivitas alam melainkan dari ulah manusia, seperti ledakan bom, dinamit, peluncuran nuklir, dan bahan peledak lainnya.

## 2.2 Penyebab Kerusakan Bangunan

### 2.2.1 Penyebab kerusakan akibat sifat gempa

Sebenarnya ada empat penyebab dasar kerusakan akibat gempa, yaitu guncangan tanah, kegagalan tanah, tsunami, dan kebakaran. Dari keempat hal tersebut guncangan tanah menjadi penyebab utama dibandingkan dengan ketiga penyebab lainnya, yang merupakan bencana susulan setelah gempa bumi.

Kerusakan gempa karena guncangan tanah menjadi faktor penyebab utama kehancuran bangunan pada bangunan. Saat bumi bergetar, getaran yang merambat ke segala arah tersebut akan tersalurkan ke semua bangunan-bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Percepatan, kecepatan, dan perpindahan yang dibawa oleh gempa dapat merusak atau menghancurkan bangunan terkecuali bangunan telah didesain dan dibangun atau diperkuat agar tahan terhadap gempa. Oleh karenanya, efek dari guncangan tanah pada pembangunan merupakan pertimbangan utama dalam mendesain bangunan tahan gempa. Desain beban seismik sangat sulit untuk ditentukan karena sifat alami gerakan gempa.

### 2.2.2 Penyebab kerusakan struktur

Menurut Boen et al. (2010) dan Arya, Boen, dan Ishiyama (2013) menyatakan bahwa penyebab-penyebab lain kerusakan bangunan, yakni:

a. Kondisi Tanah

Gaya yang diterima akibat beban gempa disalurkan melalui tanah menuju pondasi diteruskan ke struktur bangunan atas lainnya, sehingga kondisi tanah sangat mempengaruhi kerusakan pada bangunan. Karakteristik guncangan akibat gempa dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah yang mendukung bangunan di atasnya.



#### b. Konfigurasi Bangunan

Bagian penting lainnya merupakan bentuk keseluruhan bangunan yang teratur (*regularity*) dan simetris. Bangunan yang berbentuk persegi dan persegi panjang lebih unggul menahan gempa dibandingkan dengan bentuk huruf L, T, dan U. Ketidakteraturan gedung akan memberikan efek torsi saat bangunan bergetar.

#### c. Ukuran Bukaannya

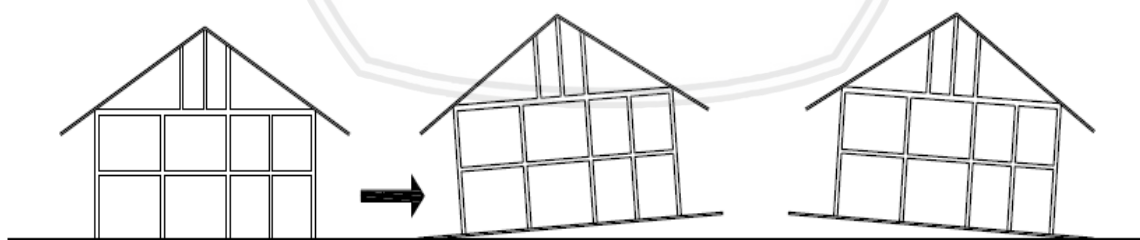
Secara umum bukaan pada dinding cenderung memperlemah dinding. Semakin sedikit jumlah bukaan dan semakin kecil luasnya semakin kecil kerusakan dinding saat gempa.

#### d. Distribusi Kekakuan

Kekakuan suatu bangunan dalam arah vertikal dan horizontal harus terdistribusi secara merata. Perbedaan kekakuan suatu bangunan dari satu lantai ke lantai berikutnya meningkatkan kecenderungan rusaknya bangunan jika digoncang gempa. Jarak pusat massa dan pusat kekakuan yang jauh meningkatkan kecenderungan rusaknya bangunan tersebut jika digoncang gempa.

#### e. Kekuatan Bangunan

Struktur harus memiliki kekuatan untuk menahan guncangan gempa dan terutama pengaruh *rocking* seperti pada *Gambar 2.1*. Efek *rocking* biasa terjadi pada rumah yang kaku secara satu kesatuan. Semua komponen bangunan, seperti pondasi, kolom, balok, dinding, rangka atap, harus disambung satu dengan lainnya sehingga apabila saat digoncang dengan gempa bangunan akan bergetar seirama sebagai satu



kesatuan.

*Gambar 2.1* Efek *Rocking* pada bangunan

Sumber : Arya et al. (2013)

#### f. Daktilitas

Merupakan kemampuan gedung cenderung untuk melengkung, berayun, dan berdeformasi secara besar tanpa mengalami keruntuhan. Sebaiknya bangunan

direncanakan agar berperilaku daktil, tidak terlalu kaku. Apabila terlalu kaku maka getas sehingga akan mudah hancur apabila berat beban yang diterima terlalu berat pada material, kemudian saat terjadi gempa akan langsung runtuh tidak akan mengalami lendutan yang besar.

g. Pondasi

Bangunan yang kuat pada bagian atas kadang-kadang mengalami kegagalan karena pondasinya tidak kuat. Likuifikasi dan perbedaan penurunan pondasi dapat menyebabkan bangunan miring, retak, dan bahkan kehacuran struktur bagian atas.

h. Mutu Konstruksi

Banyak kasus keruntuhan bangunan disebabkan karena mutu bahan yang rendah dan rendahnya kualitas konstruksi saat pembangunan.

### 2.3 Kategori Kerusakan Gempa

Saat gempa terjadi, bangunan menyalurkan getaran dari struktur bawah ke struktur bagian atas yang kemudian merusaknya. Kerusakan yang ditimbulkan beban gempa dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yakni:

1. Kerusakan non-struktural

Kerusakan yang terjadi pada elemen non-struktural dari bangunan seperti jendela, pintu, dinding-dinding partisi, dan bagian-bagian non-struktural lainnya.

2. Kerusakan struktur sebagian

Kerusakan terjadi pada beberapa bagian-bagian struktur seperti keretakan pada kolom, balok, pelat, dan elemen struktur utama lainnya.

3. Kerusakan struktur total

Kerusakan berat pada struktur utama seperti balok, kolom, pelat, atap, dan lainnya akibatnya terjadi keruntuhan total sehingga menyebabkan bangunan runtuh total atau *collapsed*.

### 2.4 Kerusakan Tipikal Bangunan

Setelah melalui banyak peristiwa gempa bumi di Indonesia menurut Teddy Boen et al. (2010). Kerusakan dan/ atau robohnya suatu bangunan pada umumnya disebabkan beban tegak lurus bidang dinding dan beban yang sejajar bidang dinding, namun penyebab utama kerusakan merupakan akibat beban tegak lurus terhadap bidang dinding. Kerusakan tipikal yang terjadi di Indonesia dalam kurun 35 tahun belakangan, seperti pada *Gambar 2.2*, adalah sebagai berikut:

1. Genteng melorot

2. Dinding berpisah pada pertemuan dua dinding

3. Kehancuran pada pojok-pojok dinding
4. Dinding retak di sudut-sudut bukaan
5. Dinding retak diagonal
6. Dinding roboh
7. Kegagalan pada sambungan balok dengan kolom
8. Bangunan roboh



Gambar 2.2 Kerusakan tipikal pada bangunan *non-engineered*

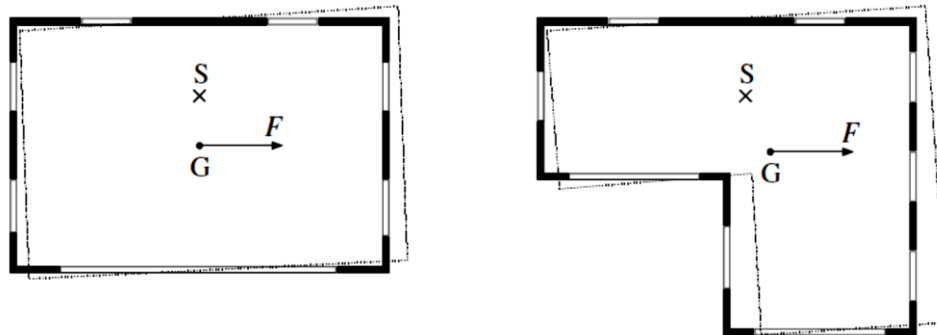
Sumber : Boen et al. (2010)

## 2.5 Dasar Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

### 2.5.1 Denah bangunan

#### a. Simetris

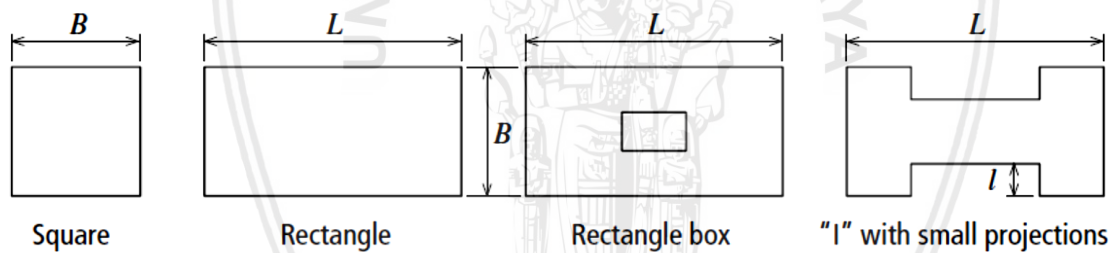
- Denah bangunan sebaiknya berbentuk simetris di kedua sumbu bangunan.
- Bentuk yang simetris, apabila tidak simetris akan menimbulkan gaya torsi seperti pada *Gambar 2.3*.
- Berdasarkan Arya et al. (2013) bentuk simetris harus memenuhi syarat  $L < 3B$  dan untuk bentuk huruf I harus memenuhi syarat  $l < B/3$  seperti pada *Gambar 2.4*.



$F$ : earthquake force,  
 $S$ : centre of stiffness or resisting force,  
 $G$ : centre of gravity or applied inertia force

Gambar 2.3 Efek torsi pada bangunan tidak simetris

Sumber : Arya et al. (2013)

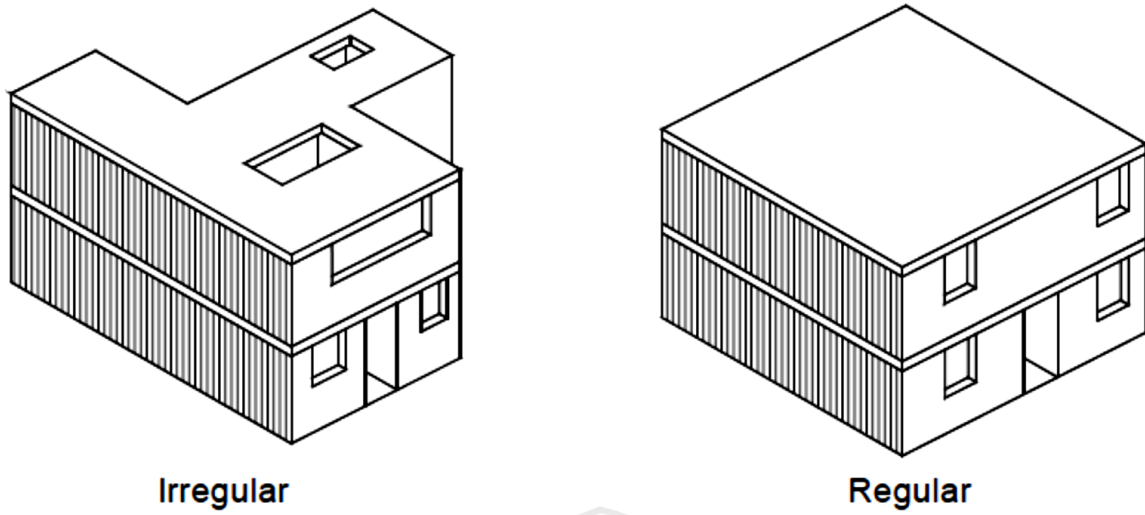


Gambar 2.4 Syarat bentuk simetris pada bangunan

Sumber : Arya et al. (2013)

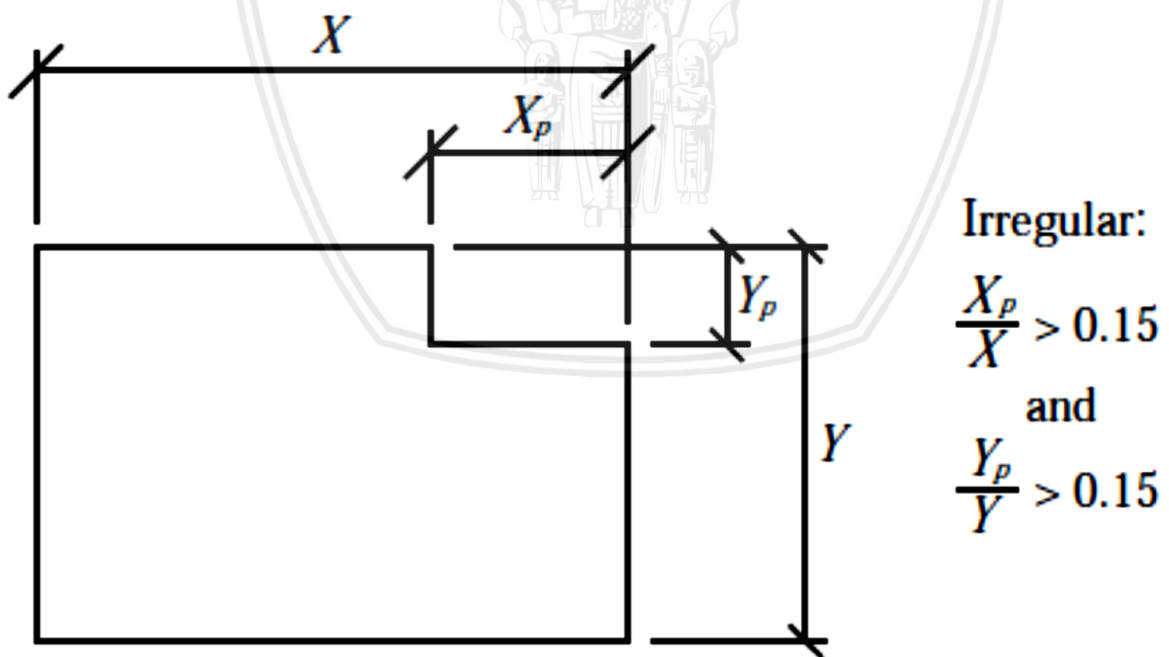
#### b. Keteraturan

- Menggunakan bentuk denah yang lebih sederhana seperti persegi akan lebih tahan menanggapi gempa, seperti pada Gambar 2.5.
- Berdasarkan Building Seismic Safety Council (2011), persyaratan bentuk denah bangunan dikatakan *irregular* apabila  $\frac{x_p}{x} > 0,15$  dan  $\frac{y_p}{y} > 0,15$  seperti pada Gambar 2.6.
- Bentuk denah persegi yang sangat panjang harus dihindari karena menimbulkan efek torsi. Berdasarkan Meli et al. (2011) bentuk bangunan tidak boleh terlalu panjang dengan syarat  $L < 4B$  seperti pada Gambar 2.7.



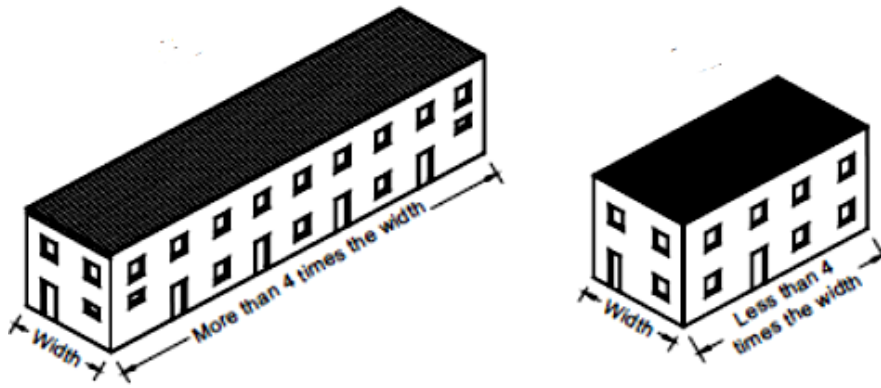
Gambar 2.5 Bentuk bangunan *irregular* dan *regular*

Sumber : Meli et al. (2011)



Gambar 2.6 Persyaratan bentuk bangunan dikatakan *irregular*

Sumber : Building Seismic Safety Council (2009)

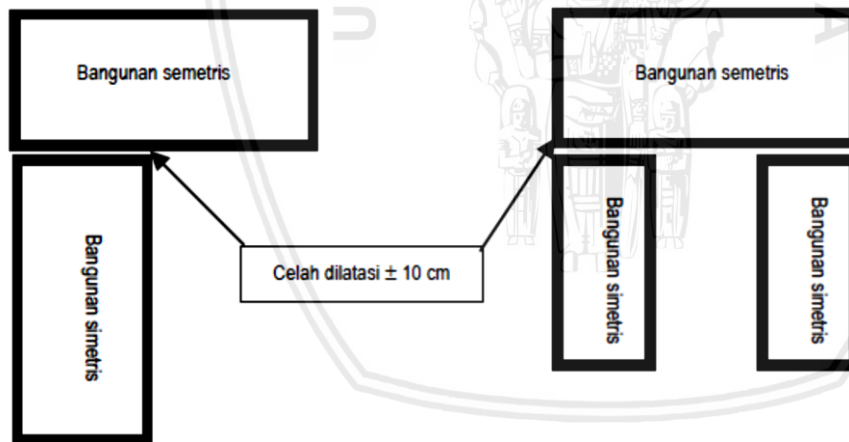


Gambar 2.7 Rasio panjang dan lebar denah bangunan

Sumber : Meli et al. (2011)

c. Pemisahan Blok Bangunan

Pada bangunan yang luas, perlu diadakan pemisahan menjadi beberapa blok agar



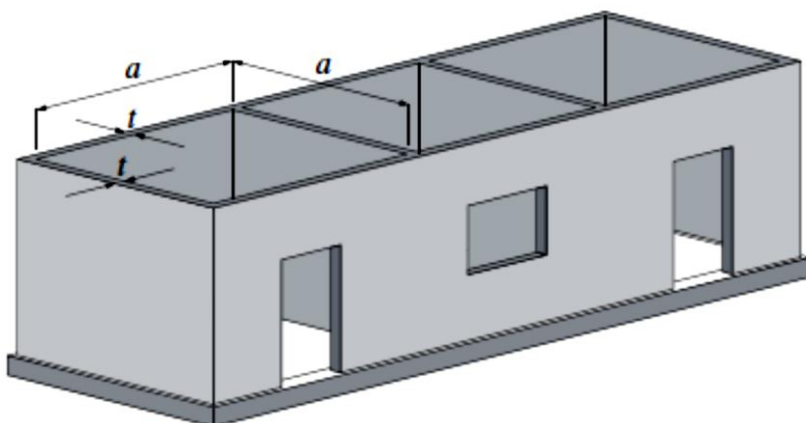
bentuk menjadi simetris dan teratur, terlihat seperti Gambar 2.9 bahwa bangunan dipisah dengan ukuran celah kurang lebih 10 cm.

Gambar 2.8 Denah bangunan terpisah

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2006)

d. Keteraturan Bentuk Ruang

Bentuk ruang persegi yang kaku berperan sangat baik saat menghadapi gempa. Kemudian untuk bangunan dengan dinding pasangan batu bata dengan perkuatan



(*confined masonry*), tebal dinding ( $t$ ) dan luas dinding ( $a$ ) mempunyai rasio  $a/t = 40$ , seperti pada *Gambar 2.10*.

*Gambar 2.9* Bentuk ruang yang kaku

Sumber : Arya et al. (2013)

#### e. Kesederhanaan Bentuk

Ornamen melibatkan kornis yang besar, proyeksi kantilever arah horizontal maupun vertikal dan ornamen lainnya sebaiknya dihindari karena sangat berbahaya terhadap gaya seismik yang ditimbulkan gempa.

### 2.5.2 Pemilihan lokasi

#### a. Jenis Tanah

Dihindari bangunan berdiri di atas pasir yang sangat halus dan tanah liat yang sensitif, karena sifat kohesi yang mudah lepas maka dengan mudah kehilangan kekuatannya. Apabila kondisi kedua jenis tanah jenuh air, maka terjadi likuifaksi sehingga menyebabkan kerusakan saat digoncang oleh gempa.

#### b. Kestabilan Lereng

Untuk bangunan terletak pada lereng bukit harus dipilih yang stabil agar tidak mudah terjadi tanah longsor saat gempa bumi.

### 2.5.3 Desain struktur

#### a. Kekuatan Struktur

Spesifikasi struktur bangunan memiliki kemampuan struktur yang tidak terlalu kaku agar dapat menahan guncangan gempa dan mencegah efek *rocking*. Kemudian semua komponen dimulai dari pondasi, kolom, balok, dinding, rangka atap, atap, dan lainnya harus tersambung menjadi satu dengan yang lainnya agar saat terjadi guncangan bangunan bergetar seirama sebagai satu kesatuan.

b. Kekakuan

Kekakuan struktur bangunan harus tersebar merata dalam arah vertikal maupun horizontal, terutama untuk bangunan bertingkat. Kemudian perencanaan jarak antara pusat kekakuan dengan pusat massa agar tidak terlalu jauh. Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 5.4.3 bahwa mengatur jarak pusat massa dan pusat kekakuan sehingga nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila nilai  $0 < e < 0,3b$  dan dikatakan besar apabila nilai  $e > 0,3b$  dengan  $b$  adalah lebar bangunan dan  $e$  adalah jarak pusat massa dan kekakuan.

c. Daktilitas

Bangunan direncanakan memiliki sifat daktil dan menggunakan bahan yang bersifat daktil pula agar mampu berdeformasi saat menahan gaya seismik. Dihindari penggunaan material getas seperti pasangan batu bata tanpa adanya perkuatan beton bertulang.

#### 2.5.4 Ketahanan terhadap kebakaran

Kebakaran pada umumnya terjadi sesaat setelah gempa bumi terjadi. Kebakaran disebabkan oleh hubungan arus pendek listrik atau korslet, kebocoran gas, tergulingnya lampu minyak atau akibat tergulingnya kompor di dapur. Oleh karena itu bangunan harus dikonstruksikan dengan material tahan api dan diatur konfigurasi kelistrikan pada saat pemasangan.

## 2.6 Bangunan Tembokan dengan Perkuatan (*Confined Masonry Buildings*)

### 2.6.1 Pengertian

Sistem bangunan tembokan dengan perkuatan terdiri dari dinding bata atau batako dengan perkuatan dan komponen beton bertulang baik vertikal maupun horizontal yang mengikat dinding pasangan bata pada keempat sisinya. Berdasarkan konstruksi, dinding pasangan akan dibangun terlebih dahulu kemudian disusul dengan *frame* balok-kolom yang akan mengekang tembok tersebut.

### 2.6.2 Perbedaan konstruksi bangunan *confined masonry* dan konstruksi bangunan *reinforced concrete*

Hasil akhir dari bangunan *confined masonry* dan bangunan *RC frame (reinforced concrete frame)* akan terlihat sama dengan menggunakan dinding pasangan sebagai isinya, namun kedua sistem ini memiliki perbedaan pada sistem konstruksinya. Konstruksi *confined masonry* memasang dinding pasangan bata maupun batako terlebih dahulu, disusul dengan komponen balok-kolom beton bertulang sebagai perkuatan yang membungkus dinding pasangan bata atau batako di keempat sisinya. Apabila bangunan



konstruksi *RC frame*, akan mengerjakan portal balok-kolom terlebih dahulu, kemudian dinding pasangan bata maupun batako dibuat sebagai pengisi dari rangka balok-kolom tersebut.

Perbedaan sebenarnya bukan hanya terletak pada konstruksinya, namun juga terletak pada perilaku struktur menahan beban vertikal dan lateral. Hal ini dijelaskan dalam *Tabel 2.1* mengenai perilaku *confined masonry* dan *RC frame*.

*Tabel 2.1* Perbedaan Sistem Bangunan *Confined Masonry* dan *RC Frame*

	<i>Confined Masonry</i>	<i>RC Frame</i>
Sistem penahan beban gravitasi dan beban lateral	Dinding pasangan menjadi elemen penahan beban yang utama dalam menanggapi beban gravitasi dan beban lateral atau beban seismik. Elemen pengikat yakni balok-kolom berukuran lebih kecil daripada ukuran pada bangunan beton bertulang pada umumnya.	Komponen beton bertulang, balok-kolom menahan kedua beban gravitasi maupun lateral sehingga menyebabkan dimensi balok, kolom, dan sambungannya relatif lebih besar. Dinding pasangan tidak termasuk memikul beban, hanya bersifat sebagai pengisi.
Konstruksi pondasi	Digunakan sistem pondasi menerus dan menggunakan balok <i>sloof</i> dengan tulangan.	Pondasi terisolasi langsung dengan tiap-tiap kolom.
Urutan konstruksi struktur bagian atas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dinding pasangan dibuat terlebih dahulu.</li> <li>2. Kemudian kolom pengikat dicetak di tempat.</li> <li>3. Terakhir balok pengikat dikonstruksi di atas dinding pasangan, diikuti dengan plat lantai atau konstruksi atap.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Portal beton kolom dan balok dikonstruksi terlebih dahulu.</li> <li>2. Dinding pasangan dibuat terakhir dan tidak terikat pada kolom. Dinding menjadi bagian non-struktural sehingga dinding tidak berperan sebagai penahan beban.</li> </ol>

Sumber : Arya et al. (2013)

## 2.7 Komponen Bangunan *Confined Masonry*

### 2.7.1 Dinding pasangan

Umumnya di Indonesia dinding pasangan terbuat dari pasangan bata merah. Dalam bukunya Widomoko (1995) menjelaskan bahwa dinding bangunan yang terbuat dari bata merah dapat dibedakan menjadi dinding struktur dan dinding non-struktur. Dinding struktur ialah dinding yang menahan beban bangunan baik vertikal maupun horizontal.

Bata merah merupakan bahan bangunan yang berbentuk prisma segiempat panjang atau berlubang dengan volume lubang 15% dan digunakan untuk konstruksi dinding bangunan, yang dibuat dari tanah liat dengan atau tanpa dicampur bahan aditif dan dibakar pada suhu tertentu (Badan Standardisasi Nasional, 2000). Produksi bata merah biasanya dilakukan oleh masyarakat secara *home industry*, baik dengan cetakan tangan ataupun dengan alat *press*.

Bata merah untuk pasangan dinding memiliki persyaratan bentuk prisma segi empat panjang, harus mempunyai rusuk-rusuk siku yang tajam, bidang-bidang sisi harus datar, tidak menunjukkan retak-retak, tidak mudah hancur atau patah dan perubahan bentuk yang berlebihan. Permukaannya bata merah harus kasar, warnanya merah seragam (merata) dan berbunyi nyaring bila diketok. Bata merah memiliki klasifikasi, dimensi, dan kuat tekan yang tercantum sesuai standar di Indonesia, pada SNI 15-2094-2000 dengan judul Bata Merah untuk Pasangan Dinding seperti berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi menurut Kekuatan Tekan Rata-rata

Kelas	Kuat tekan rata-rata minimum dari 30 bata yang diuji, kg/cm <sup>2</sup> (MPa)
50	50 (5)
100	100 (10)
150	150 (15)

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2000)

Tabel 2.3 Dimensi dan Toleransi Bata Merah

Modul	Tinggi (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
M – 5a	65 ± 2	92 ± 2	190 ± 4
M – 5b	65 ± 2	100 ± 3	190 ± 4
M – 6a	52 ± 3	110 ± 4	230 ± 5
M – 6b	55 ± 3	110 ± 6	230 ± 5
M – 6c	70 ± 3	110 ± 6	230 ± 5
M – 6d	80 ± 3	110 ± 6	230 ± 5

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2000)

Kerapatan dinding adalah indikator kunci keamanan dalam ketahanan bangunan terhadap seismik dan gaya gravitasi. Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding,  $d$ , dengan persamaan:

$$d = A_w/A_p \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan:

$A_p$  = luas pelat lantai bangunan, dan

$A_w$  = luas penampang dinding pada satu arah, yang didapat dari panjang dan lebar dinding.

Luas tidak perlu dikurangi luas ikatan kolom dan luas pori pada pasangan bata yang berlubang. Tidak adanya detail perhitungan rencana, maka minimal nilai yang direkomendasikan untuk indeks kerapatan dinding seperti pada *Tabel 2.4*.

Tabel 2.4 Indeks kerapatan dinding d (%) untuk setiap arah dari rencana bangunan

Jumlah lantai, n	Bahaya Seismik				
	Rendah ( $PGA^a \leq 0,08 g^b$ )	Sedang ( $PGA^a \leq 0,25 g^b$ )		Tinggi ( $PGA^a \leq 0,4 g^b$ )	
	Jenis tanah A, B, atau C <sup>c</sup>	Tanah tipe A	Tanah tipe B dan C	Tanah tipe A	Tanah tipe B dan C
<i>Solid clay bricks</i> (mortar tipe I, II dan III)					
<i>Solid concrete block</i> (mortar tipe I)					
1	1.0	1.0	1.0	1.5	2.5
2	1.5	1.5	2.0	3.0	4.5
<i>Solid concrete block</i> (mortar tipe II dan III)					
<i>Hollow concrete block</i> (mortar tipe I)					
<i>Hollow clay tiles</i> (mortar tipe I)					
1	1.0	1.0	2.0	2.0	3.5
2	1.5	1.5	3.5	4.0	6.5
<i>Hollow concrete block</i> atau <i>Hollow clay tiles</i> (mortar tipe II dan III)					
1	1.0	1.5	2.5	3.0	5.0
2	2.0	3.0	5.0	6.0	9.5

Sumber : Meli et al. (2011)

Keterangan:

<sup>a</sup> adalah *peak ground acceleration*

<sup>b</sup> adalah gal

<sup>c</sup> adalah tipe tanah : A adalah batuan atau *firm soil*

B adalah *compact granular soil*

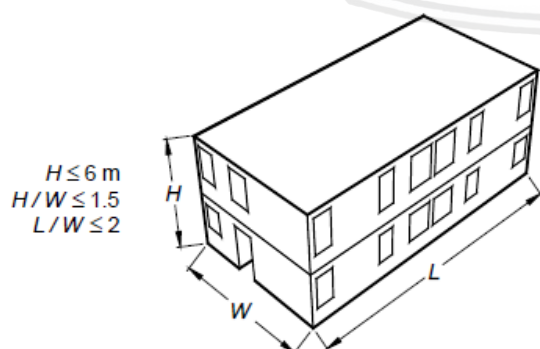
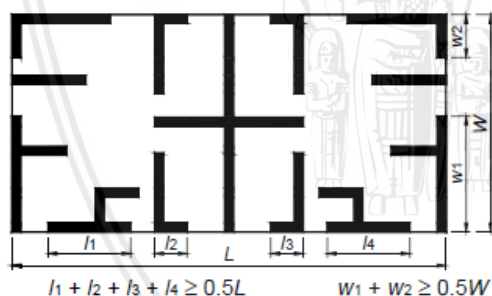
C adalah *soft clay* atau *soft sand*

Nilai-nilai d ini dapat digunakan untuk bangunan sederhana yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

a. Persyaratan umum:

- Rencana bangunan seragam (luas yang sama) atas tinggi gedung.
- *Layout* dinding simetris pada kedua arah ortogonal atas tinggi gedung.

- Eksterior dinding meluas minimal 50% dari panjang tiap ujung gedung pada tiap lantai.
  - Minimal 75% berat bangunan didukung oleh dinding yang tahan gempa.
- b. Dimensi bangunan seperti *Gambar 2.13*:
- Total tinggi bangunan tidak melebihi 6 m ( $H \leq 6$ )
  - Rasio total tinggi dengan lebar bangunan tidak melebihi 1.5 ( $H/W \leq 1.5$ )
  - Rasio panjang dan lebar bangunan tidak melebihi 2 ( $L/W \leq 2$ )
- c. Lantai dan atap sebagai diafragma kaku (tebal minimum beton bertulang 10 cm)
- d. Dinding tahan gempa
- Sifat pasangan bata yang memenuhi spesifikasi kebutuhan,
  - Panel dinding padat (tanpa bukaan) yang disatukan dengan ikatan kolom dan balok pada keempat sisi,
  - Dinding menerus pada tinggi bangunan dan menyambung dengan lantai atau atap
  - Semua dinding dibuat dengan bahan dan sifat yang sama.



*Gambar 2.10* Persyaratan untuk bangunan sederhana.

Sumber : Meli et al. (2011)

Minimum spasi dinding melintang pada tiap bangunan dengan diafragma fleksibel tidak melebihi:

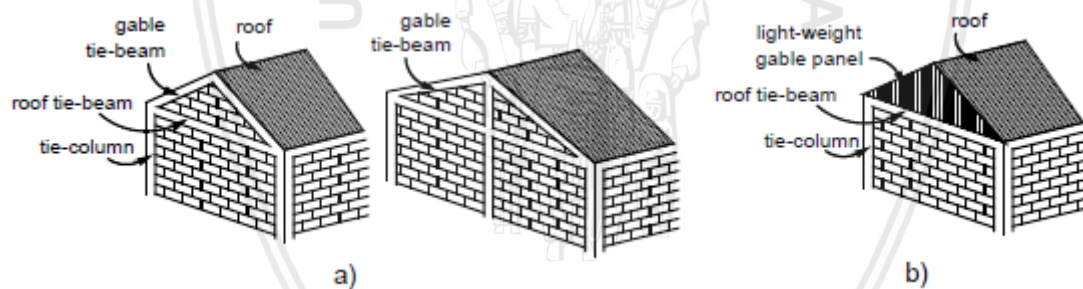
- a. 6 m pada daerah seismik rendah dan sedang, dan
- b. 4,5 m pada daerah seismik tinggi.

Dimensi dinding dan pembatasan rasio tinggi/lebar sebagai berikut:

- a. Minimal lebar dinding 110 mm
- b. Rasio maksimal tinggi dan lebar dinding untuk bangunan 1 atau 2 lantai tidak melebihi 25.
- c. Rasio tinggi dan panjang dinding tidak kurang dari 0,5
- d. Tinggi dinding maksimal 3 m.

Beton pada kolom dan balok harus memanjang sampai tinggi *parapet* seperti pada *Gambar 2.14*. Apabila *parapet* tidak terikat, tinggi tidak melebihi 0,5 m, atau batas tinggi 1,2 m.

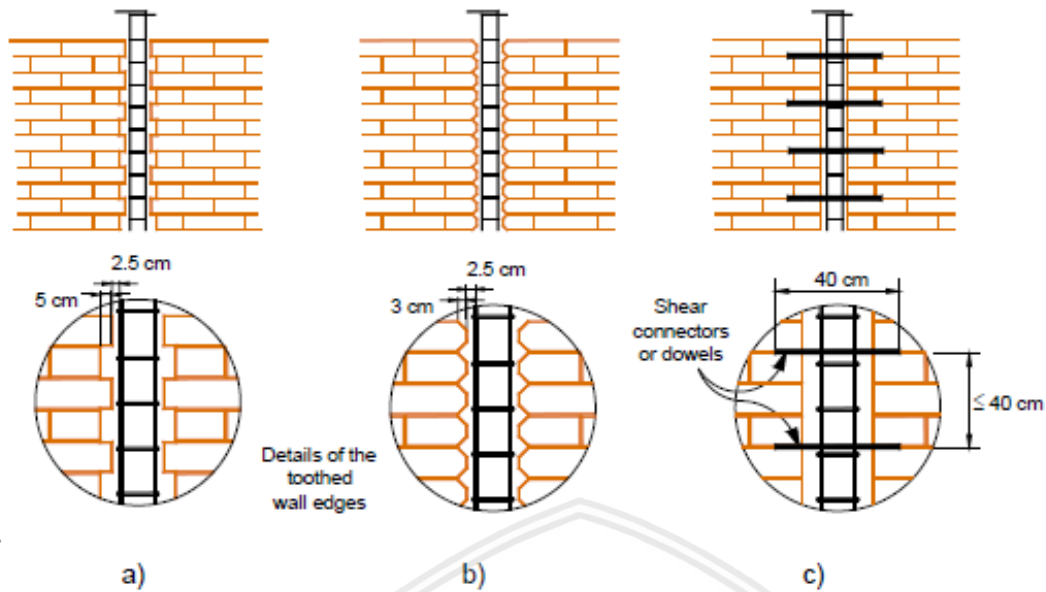
Direkomendasikan pada atas *gable* terikat dengan balok dan kolom terletak di tengah dinding *gable* yang memanjang dari dasar lantai hingga atas dinding *gable* seperti pada *Gambar 2.14*. Alternatif lain, bagian *gable* pada dinding dibuat dari kayu atau material ringan lainnya.



*Gambar 2.11*. Dinding *gable*: a) pembatasan elemen beton, dan b) panel *gable* ringan.

Sumber : Meli et. al (2011)

Ikatan yang baik antara dinding dengan kolom sangat penting dalam menahan gaya gempa, menunda keretakan yang tidak diinginkan dan pemisahan dinding dengan permukaan kolom. Ikatan sangat berpengaruh pada bangunan tahan gempa dan didapatkan dari *toothing* dinding dan permukaan kolom seperti pada *Gambar 2.15*. Panjang *toothing* harus sama dengan satu per empat dari panjang unit pasangan bata tetapi tidak kurang dari 5 m seperti pada *Gambar 2.15*. Pembersihan bagian *toothing* perlu dilakukan dan pemotongan pinggir bata. Tulangan horizontal di ankur pada kolom, disebut *dowels*, dapat digunakan sebagai alternatif *toothing* seperti pada *Gambar 2.15*.



Gambar 2.12 Tothing pada dinding: a) *machine-made hollow unit*, b) *hand-made solid unit*, dan c) ketentuan tulangan horizontal ketika *tothing* tidak memungkinkan.

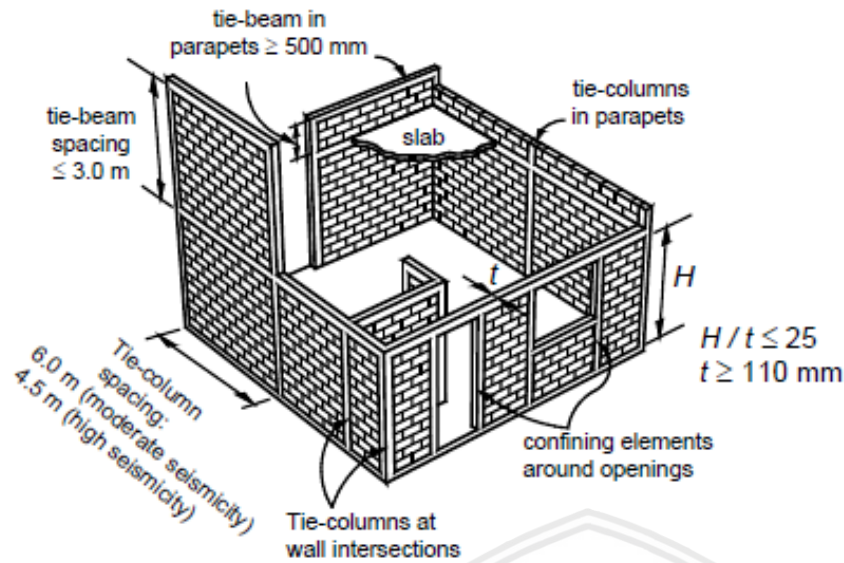
Sumber : Meli et al. (2011)

### 2.7.2 Komponen pengikat balok kolom

Jarak antar kolom tidak boleh melebihi 4,5 m untuk daerah seismik tinggi dan 6 m untuk daerah seismik sedang. Dimensi minimum untuk dinding adalah 150 mm x tebal dinding. Kolom berada pada lokasi berikut:

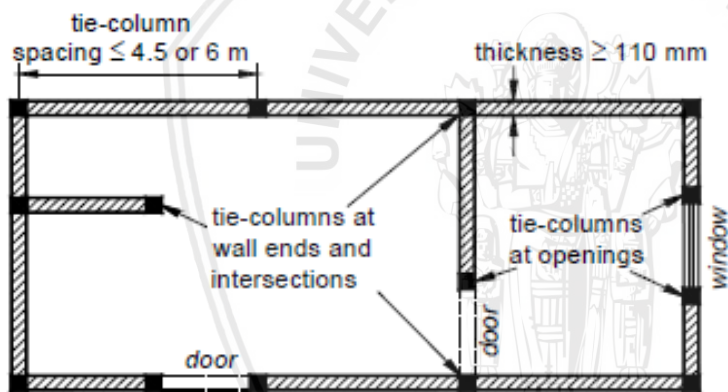
- Pada persimpangan dinding, dan
- Pada ujung panel dinding yang menyediakan ketahanan gaya lateral pada bangunan.

Balok harus ada pada setiap atas dinding dengan maksimum spasi 3 m. Dimensi balok sama dengan dimensi kolom. Direkomendasikan berdasarkan lokasi dan spasi elemen pengikat seperti pada *Gambar 2.16*.



Gambar 2.13 Rekomendasi ikatan bangunan non struktur tahan gempa.

Sumber : Meli et al. (2011)

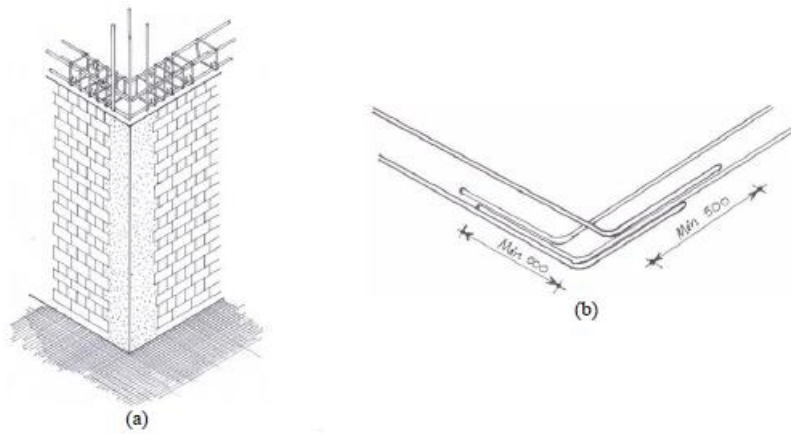


Gambar 2.14 Lokasi kolom

Sumber : Meli et al. (2011)

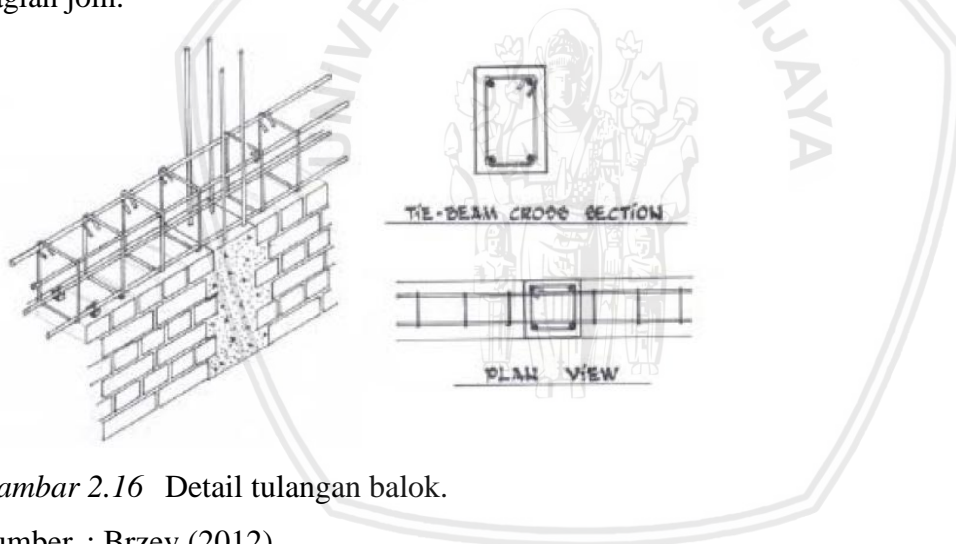
Tulangan kolom dan balok minimal memiliki 4 tulangan dengan ukuran minimum tulangan ulir 10 mm atau 12 mm untuk tulangan polos. Untuk memastikan efektifnya kolom dalam menahan gaya gempa, tulangan harus memiliki kait  $90^0$  pada setiap simpangan seperti pada Gambar 2.18.





*Gambar 2.15* Konstruksi balok: a) simpangan dinding; b) kait pada tulangan longitudinal.  
Sumber : Brzev (2012)

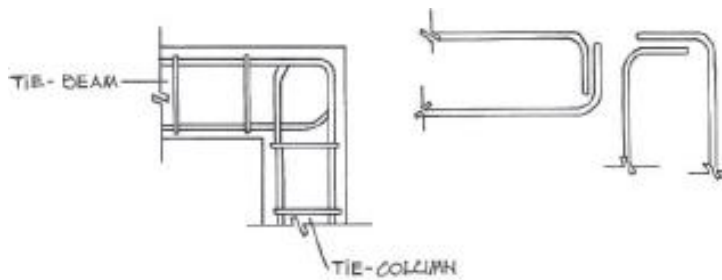
Detail yang benar untuk ikatan kolom-balok dapat menahan gempa pada seluruh bangunan. Pada *Gambar 2.19* menunjukkan detail tulangan pada ikatan balok kolom bagian join.



*Gambar 2.16* Detail tulangan balok.

Sumber : Brzev (2012)

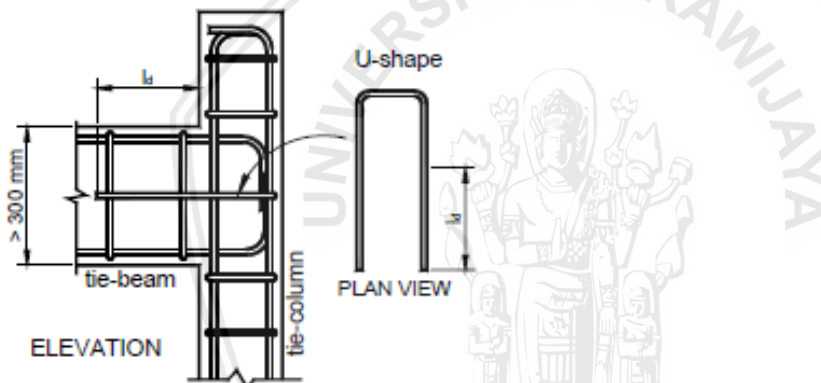
Pada atap, sambungan tulangan kolom dan balok dengan mengaitkan  $90^\circ$  untuk setiap tulangan balok dan kolom seperti pada *Gambar 2.20*.



Gambar 2.17 Kait tulangan longitudinal kolom dan balok.

Sumber : Brzev (2012)

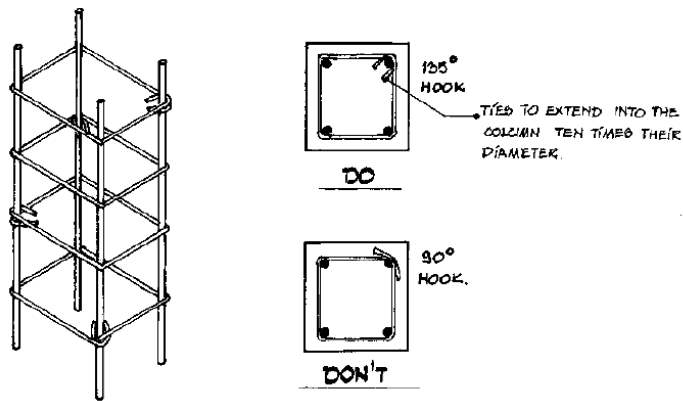
Apabila balok melebihi 300 mm, tulangan vertikal pada kolom harus menggunakan pengikat, bawah dan atas join dan tambahan *U-shaped stirrup* pada bagian tengah tinggi balok seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.18 Tambahan pengikat untuk tulangan vertikal pada ujung join kolom dan balok.

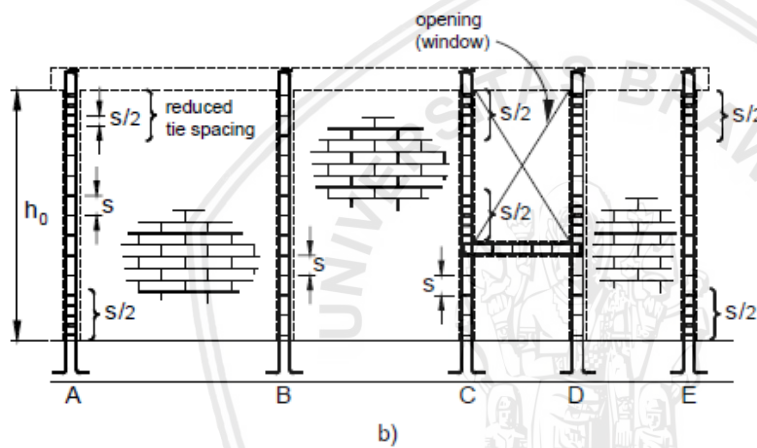
Sumber : Meli et al. (2011)

Pada Gambar 2.22 ikatan sengkang menggunakan diameter minimum 6 mm dan dikait  $135^\circ$  dan jarak tiap sengkang tidak boleh melebihi 200 mm berlaku pada kolom dan balok. Pada daerah seismik tinggi dan sangat tinggi, pengurangan jarak sengkang ( $s/2$ ) diperlukan pada ujung kolom seperti pada Gambar 2.23. Panjang sengkang yang telah dikurangi tidak boleh melebihi 2 kali dimensi kolom ( $2b$ ) dan  $h_0/6$  dengan  $h_0$  adalah tinggi bersih kolom. Pada daerah seismik sedang, sengkang seragam dengan jarak 200 mm digunakan sepanjang kolom tanpa memerlukan pengurangan jarak tiap sengkang.



Gambar 2.19 Layout dan detail sengkang.

Sumber : Brzev (2008)

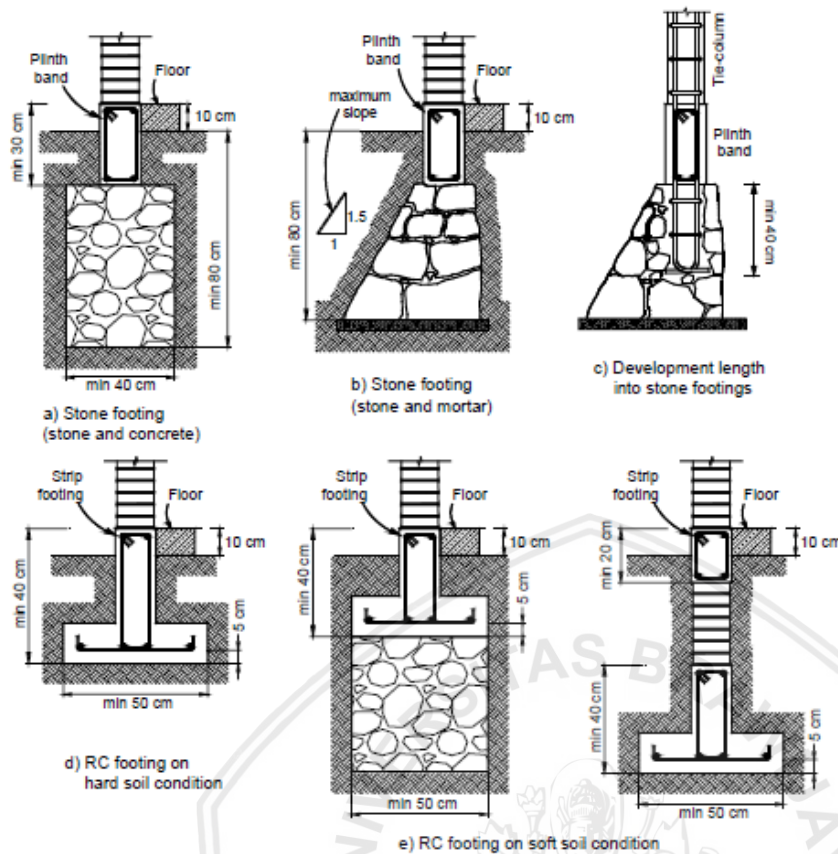


Gambar 2.20 Pengurangan spasi sengkang pada ujung kolom.

Sumber : Meli et al. (2011)

### 2.7.3 Pondasi

Konstruksi pondasi memiliki kesamaan dengan konstruksi tradisional pada pasangan batu belah. Baik menggunakan pasangan batu belah atau beton pada pondasi menerus. Balok sloof diletakkan diatas pondasi untuk mengikat dasar panel dinding dan untuk menghindari kerusakan dinding terhadap dasar bangunan tanah lunak. Panjang tulangan kolom sampai pada balok sloof dan apabila memungkinkan sampai pondasi. Perbedaan pondasi seperti pada Gambar 2.24.



Gambar 2.21 Detail pondasi untuk konstruksi tahan gempa.

Sumber : Meli et al. (2011)

## 2.8 Pembebanan

Pada struktur bangunan beban yang bekerja berasal dari gaya dalam dan gaya luar. Beban-beban ini terbagi menjadi lima macam (PPIUG,1983), yaitu:

### a. Beban Mati

Berat dari semua bagian dari suatu Gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

### b. Beban Hidup

Merupakan beban yang terjadi akibat penghunian/penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat

tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Ke dalam beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa, dan beban khusus.

c. Beban Angin

Semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian Gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

d. Beban Gempa

Semua beban static ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa di sini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

e. Beban Khusus

Beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

## 2.9 Beban Gempa

### 2.9.1 Spektrum respons desain

Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2012), Untuk menentukan respon spektrum percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah diperlukan faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan pada getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \dots \dots \dots (2-2)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \dots \dots \dots (2-3)$$

Keterangan:

$S_s$  = parameter respons spektral gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek

$S_1$  = parameter respons spektral gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Tabel 2.5 Koefisien situs,  $F_a$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS				

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2012)

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier.
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2.6 Koefisien situs,  $F_v$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada perioda 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS				

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2012)

Catatan :

- Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs spesifik

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , ditentukan melalui rumus berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots \dots \dots (2-4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots \dots \dots (2-5)$$

Spektrum respons desain dikembangkan dengan mengacu pada *Gambar 2.20* dan mengikuti ketentuan sebagai berikut ini:

- a. Pada perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0}) \dots \dots \dots (2-6)$$

- b. Pada 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  $S_{DS}$ ,

- c. Pada perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots \dots \dots (2-7)$$

Keterangan:

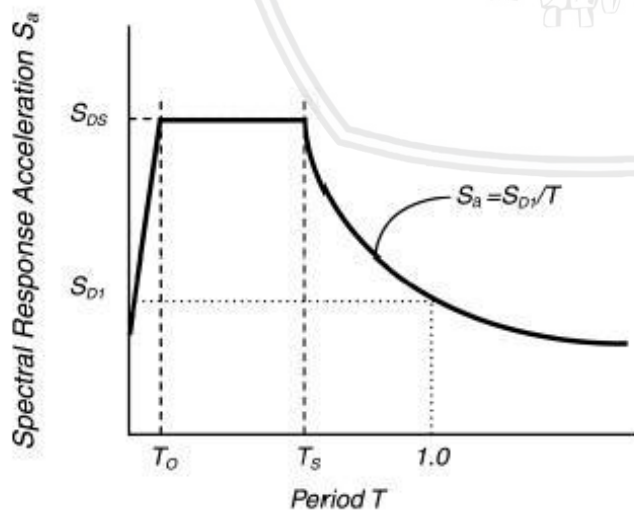
$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek,

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

$T$  = perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2-8)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots \dots \dots (2-9)$$



*Gambar 2.22.* Spektrum respons desain.

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2012)



## 2.9.2 Koefisien respon seismik

Berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2012), Geser dasar seismik,  $V_U$ , ditetapkan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V_U = C_S W_T \dots \dots \dots (2-10)$$

Keterangan:

$C_S$  = koefisien respons seismik

$W_T$  = berat seismik efektif

Koefisien respons seismik,  $C_S$ , ditentukan dengan persamaan:

$$C_S = \frac{S_{D_s}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-11)$$

Keterangan:

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

$R$  = faktor modifikasi respons

Nilai  $C_S$  yang dihitung sesuai dengan persamaan 2-11 tidak melebihi persamaan 2-12

$$C_S = \frac{S_{D_1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots \dots \dots (2-12)$$

$C_S$  harus tidak kurang dari,

$$C_S = 0,044 S_{D_1} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots (2-13)$$

## 2.10 Perhitungan Sederhana Wall Density Index

### 2.10.1 Perhitungan gaya geser akibat beban gempa

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gaya gempa dengan syarat gaya geser seismik pada tiap lantai ( $F_R V_R$ ) lebih besar dari gaya geser seismik ( $F_C V_U$ ) seperti pada persamaan berikut:

$$F_R V_R \geq F_C V_U \dots \dots \dots (2-14)$$

Keterangan:

$V_R$  = gaya geser seismik pada tiap lantai

$V_U$  = gaya geser seismik

$F_R$  = faktor reduksi = 0,7

$F_C$  = faktor beban = 1,1

Persamaan diatas dapat menjadi seperti berikut:

$$\frac{V_R}{V_U} \geq \frac{F_C}{F_R} = F_S \dots \dots \dots (2-15)$$

Dengan  $F_S$  adalah faktor keamanan.  $F_S = 1,1/0,7 = 1,6$ .



Gaya seismik ( $V_U$ ), atau disebut juga gaya geser dasar seismik, tergantung pada bahan bangunan dan kondisi situs. Berat bangunan ( $W_T$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W_T = A_p n w \dots\dots\dots(2-16)$$

Keterangan:

$A_p$  = luas lantai

$W$  = beban per satuan luas dari lantai/atap

$n$  = jumlah lantai

Gaya geser seismik pada tiap lantai ( $V_R$ ) dihitung tiap arah orthogonal bangunan dengan mengalikan kekuatan dinding geser ( $v$ ) dan total luas efektif dinding ( $A_w$ ).

$$V_R = v A_w \dots\dots\dots(2-17)$$

Keterangan:

$A_w$  = total luas efektif dinding sama dengan jumlah luas penampang dinding (panjang x tebal) untuk semua arah dinding yang dievaluasi.

Luas penampang dinding tidak dimasukkan pada perhitungan  $A_w$  apabila rasio tinggi-panjang lebih dari 1,5 ( $H/L > 1,5$ ) dan dinding dengan bukaan dengan luas bukaan lebih dari 10% dari luas permukaan dinding.

Kuat geser dinding ( $v_m$ ) tergantung dengan jenis dinding dan mortar seperti yang digunakan dan didapatkan melalui rumus berikut:

$$v = (0,5v_m + 0,3\sigma) \leq 1,5v_m \dots\dots\dots(2-18)$$

Dengan  $\sigma$  adalah rata-rata tegangan tekan pada daya dukung dinding akibat gaya gravitasi. Nilai  $\sigma$  adalah positif untuk tekan, apabila terjadi tegangan tarik pada dinding maka nilai  $\sigma$  diambil 0. Pada lantai pertama, nilai  $\sigma$  didapatkan dari persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{W_T}{\sum A_w} = \frac{n w A_p}{\sum A_w} = \frac{n w}{(\sum A_w)/A_p} = \frac{n w}{\sum d} \dots\dots\dots(2-19)$$

$$\sum d = d_x + d_y \dots\dots\dots (2-20)$$

Keterangan:

$n$  = jumlah lantai

$w$  = berat lantai/atap per luas

$\sum A_w$  = jumlah luas penampang untuk semua dinding pada lantai satu

$A_p$  = luas lantai rencana pada satu lantai

Berdasarkan persamaan sebelumnya, rasio gaya geser seismik tiap lantai ( $V_R$ ) dengan gaya seismik ( $V_U$ ) sama dengan:

$$\frac{V_R}{V_U} = \frac{v A_w}{C_s n w A_p} = \frac{v}{C_s n w} d \dots \dots \dots (2-21)$$

$$\frac{v}{C_s n w} d \geq F_s$$

$$d \geq \frac{F_s C_s n w}{v} \dots \dots \dots (2-22)$$

### 2.10.2 Perhitungan akibat beban gravitasi

Kontrol sederhana rata-rata tegangan normal, digunakan persamaan berikut.

$$F_R \sigma_R \geq F_C \sigma_U \dots \dots \dots (2-23)$$

Keterangan :

$\sigma_R$  = kuat tekan dinding

$\sigma_U$  = rata-rata tegangan tekan

$F_R$  = faktor reduksi = 0,6

$F_C$  = faktor beban = 1,4

Faktor keamanan untuk beban gravitasi ( $F_s$ ) didapat dari:

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq F_s \dots \dots \dots (2-24)$$

Dengan

$$F_s = \frac{F_C}{F_R} = 2,33$$

Rata-rata tegangan tekan pada dinding lantai pertama ( $\sigma_U$ ) didapat dari dari persamaan 2-19. Kuat tekan ( $\sigma_R$ ) dihitung sebagai kuat tekan dinding ( $f_m'$ ) dan faktor ( $F_E$ ) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Penambahan 4 kg/cm<sup>2</sup> (0,4 MPa) pada  $f_m'$  sebagai kontribusi dari ikatan kolom ke kekuatan dinding, maka:

$$\sigma_R = F_E (f_m' + 4) (kg/cm^2) \dots \dots \dots (2-25)$$

Keterangan:

$F_E$  = dinding interior = 0,7

$F_E$  = dinding eksterior = 0,6

Ketika dinding terhubung pada diafragma lantai/atap yang kaku dan rasio antara berat tinggi lantai (H) dan ketebalan dinding (t) harus kurang dari 20 ( $H/t \leq 20$ ).

$$\sigma_R \geq F_s \sigma_U$$

$$\sigma_R \geq F_s \frac{n w A_p}{\Sigma A_w} = F_s \frac{n w}{\Sigma d}$$

$$\Sigma d \geq F_s \frac{n w}{\sigma_R} \dots\dots\dots(2-26)$$

Kontrol kekuatan daya dukung pada dinding kritis tidak cukup hanya dengan dinding dapat menahan beban gravitasi karena hanya mempertimbangkan rata-rata tegangan normal (tekan) pada dinding di tiap lantai. Keamanan bangunan untuk gaya gravitasi diatur dengan gaya gravitasi terbesar per panjang pada dinding kritis. Pendekatan yang benar adalah kontrol keamanan tiap dinding. Bangunan dikatakan aman apabila kemampuan daya dukung tiap lantai ( $F_R P_R$ ) lebih besar dari beban gravitasi yang telah difaktorkan ( $F_C P_U$ ).

$$F_R P_R \geq F_C P_U \dots\dots\dots(2-27)$$

Atau

$$\frac{P_R}{P_U} \geq F_s \dots\dots\dots(2-28)$$

Keterangan:

$P_R$  = kemampuan daya dukung untuk dinding

$P_U$  = beban gravitasi

$F_s$  = faktor keamanan beban gravitasi = 2,333

Beban gravitasi ( $P_u$ ) dapat dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai pada bangunan.

$$P_U = n w D B L = n w T A \dots\dots\dots(2-29)$$

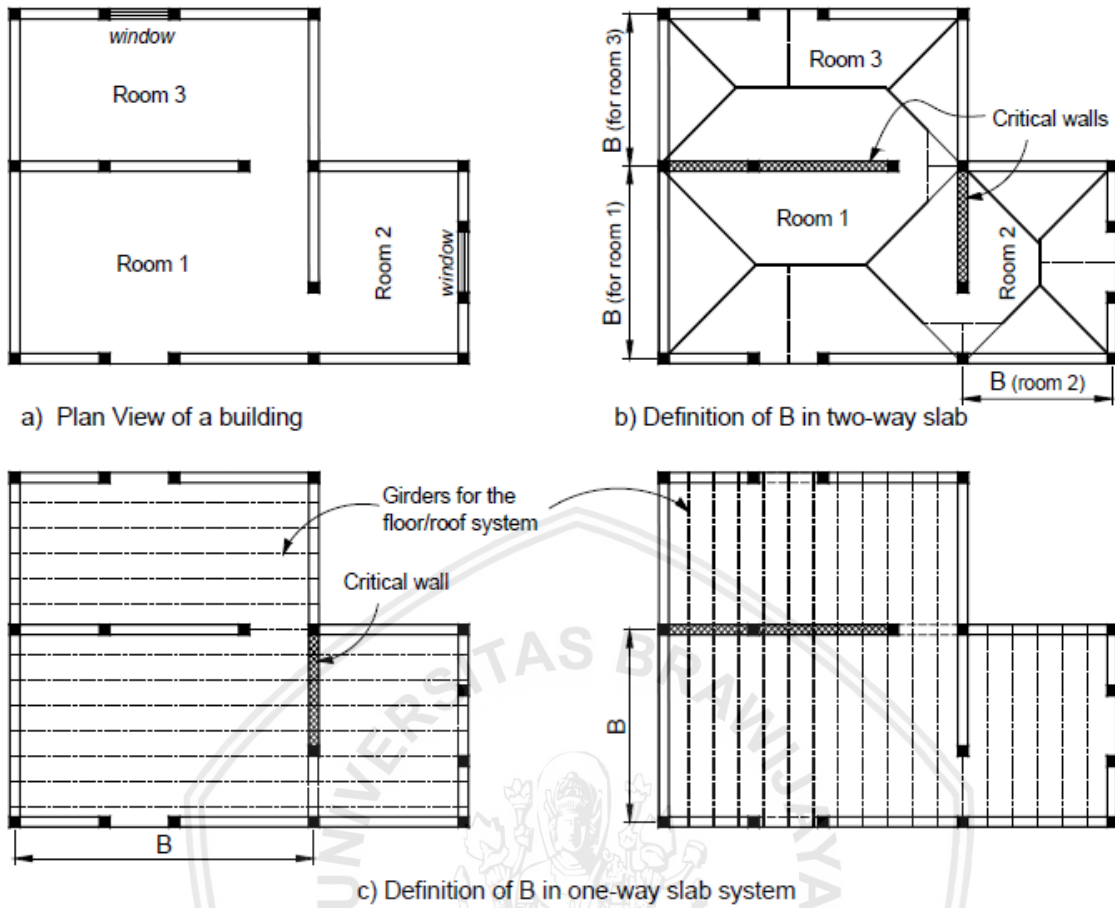
Keterangan:

n = jumlah lantai

w = berat per satuan luas untuk lantai/atap

L = panjang dinding

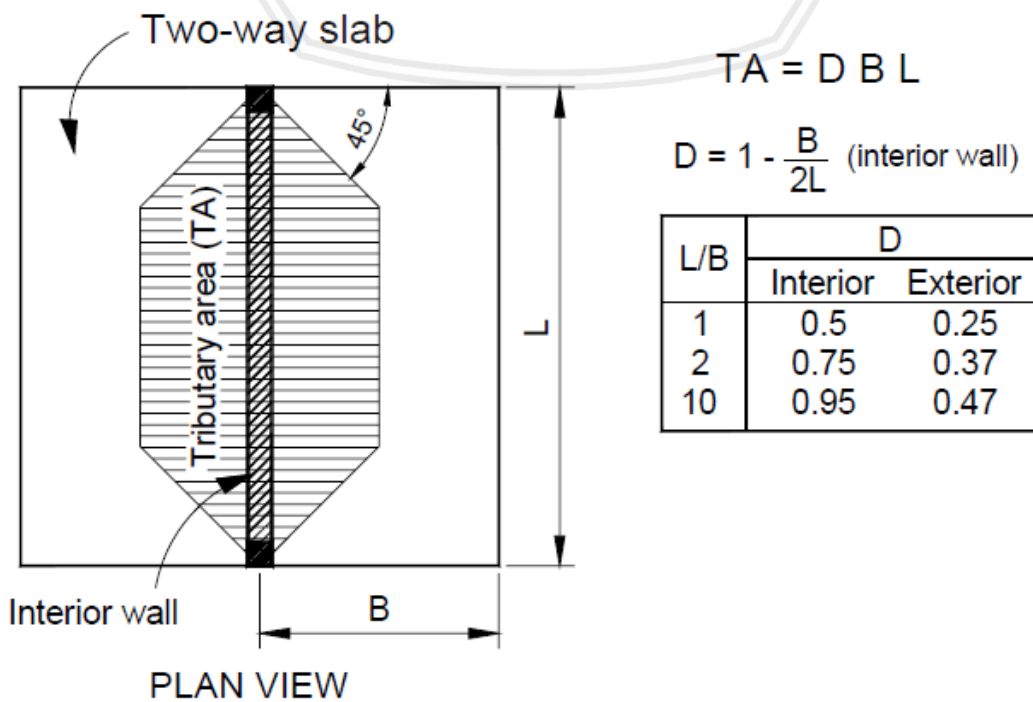
B menunjukkan jarak antar dinding yang berdekatan seperti pada *Gambar 2.21*. Untuk sistem pelat dua arah, B dapat diambil jarak yang terkecil dari dua arah orthogonal.



Gambar 2.23. Jarak antar tengah dinding.

Sumber : Meli et al. (2011)

Tributary area (TA) pada dinding kritis diperkirakan sebagai hasil dari jarak B dan panjang dinding (L), seperti pada Gambar 2.22.



Gambar 2.24. Tributary area (TA).

Sumber : Meli et al. (2011)

Nilai D adalah faktor yang memperhitungkan beban vertikal dan didistribusikan pada dinding. Nilai D bergantung pada rasio L/B dan lokasi dinding (interior/eksterior), seperti pada Gambar 2.22 nilai D digunakan pada perhitungan:

D = 1,0 untuk pelat satu arah

D = 0,7 untuk pelat dua arah

Kemampuan daya dukung ( $P_R$ ) dihitung dengan persamaan:

$$P_R = \sigma_R A = F_E (f'_m + 4) A \dots\dots\dots (2-30)$$

$$A = t L \dots\dots\dots (2-31)$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{\sigma_R t L}{D n w B L} \geq F_s$$

$$\frac{B}{t} \leq \frac{\sigma_R}{F_s D n w} \dots\dots\dots (2-32)$$

Pada Tabel 2.7 memuat maksimum rasio B/t yang diizinkan untuk perbedaan tipe material dinding dan jumlah lantai (n).

Tabel 2.7 Maksimum rasio B/t untuk sistem pelat dua arah

Masonry design			
compressive strength (fm')	Maximum B/t ratio		Masonry units
	1-story (n=1)	2-story (n=2)	
MPa (kg/cm <sup>2</sup> )			
1,0 (10)	75	38	Hollow concrete blocks (mortar Type III)
1,5 (15)	102	51	Solid clay bricks, solid or hollow concrete blocks
2,0 (20)	129	64	Solid or hollow concrete blocks (mortar Type I)
3,0 (30)	182	91	Hollow clay units (mortar Type III)
4,0 (40)	236	118	Hollow clay units (mortar Type I or II)
Sumber:	Meli	et	al. (2011)



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Data Umum Bangunan

Bangunan yang menjadi objek penelitian adalah:

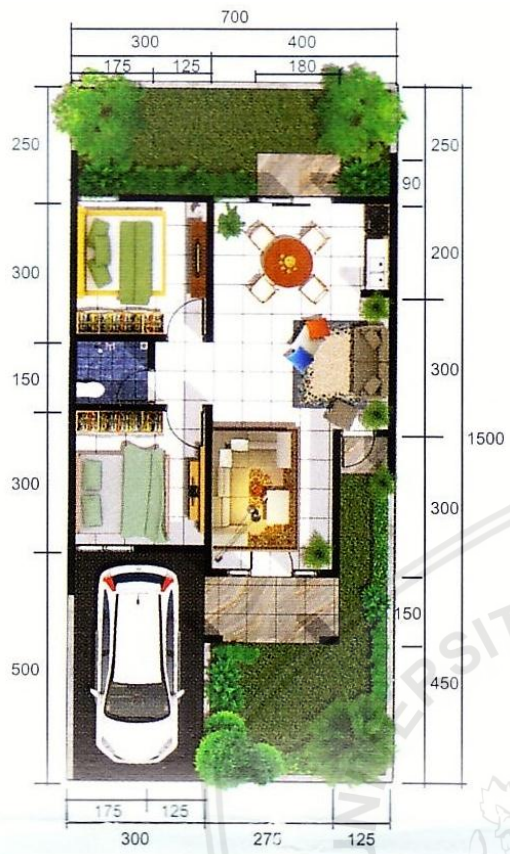
- a. Lokasi : Kota Malang
- b. Fungsi : Rumah Tinggal
- c. Jumlah lantai : Satu lantai
- d. Tipe bangunan : Tipe 54, Tipe 60, Tipe 70
- e. Dinding : Pasangan bata merah
- f. Kuat geser dinding ( $V_m$ ) :  $2,54 \text{ kg/cm}^2$
- g. Kuat tekan dinding ( $f_m'$ ) :  $20,89 \text{ kg/cm}^2$
- h. Tebal dinding : 15 cm
- i. Tinggi kolom :
  - Tipe 54 : 3 m dan 3,5 m
  - Tipe 60 : 3 m dan 4 m
  - Tipe 70 : 3 m dan 3,5 m

### 3.2 Desain Awal

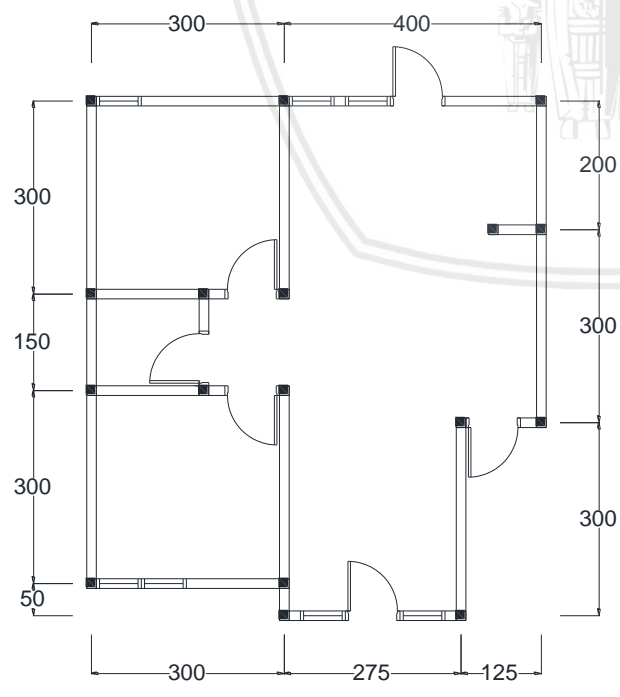
Bangunan A yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah rumah tinggal dengan tipe 54 berlokasi di kawasan Soekarno Hatta di kota Malang dengan luas lahan  $105\text{m}^2$  dan struktur bangunan utama memiliki luas  $54 \text{ m}^2$ . Berikut ini merupakan gambar denah rumah tinggal pada brosur dan gambar denah yang di gambar ulang menggunakan program Autocad.







Gambar 3.1 Denah rumah tipe 54

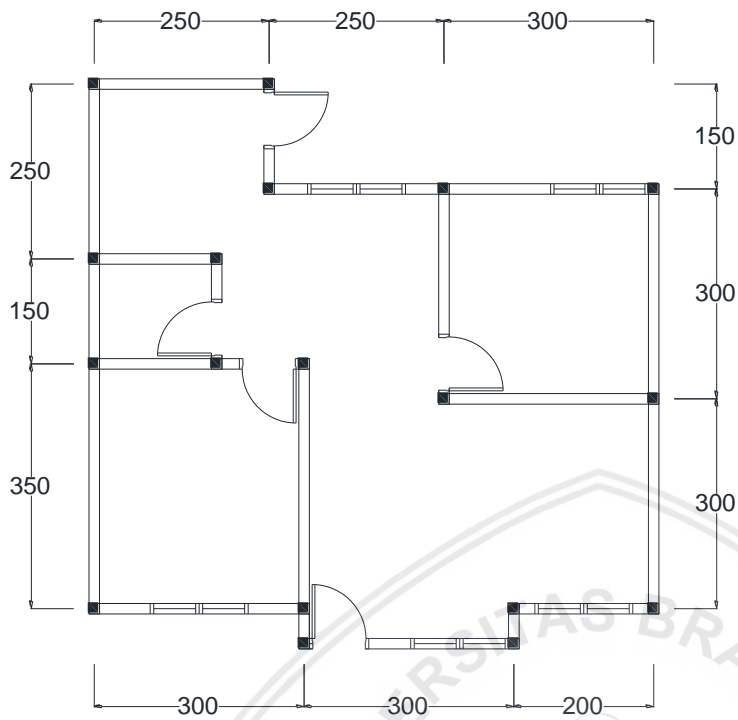


Gambar 3.2 Model rumah tipe 54

Bangunan B yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah rumah tinggal dengan tipe 60 berlokasi di kawasan Villa Bukit Tidar di kota Malang dengan luas lahan  $96\text{m}^2$  dan struktur bangunan utama memiliki luas  $60\text{m}^2$ . Berikut ini merupakan gambar denah rumah tinggal pada brosur dan gambar denah yang di gambar ulang menggunakan program Autocad.

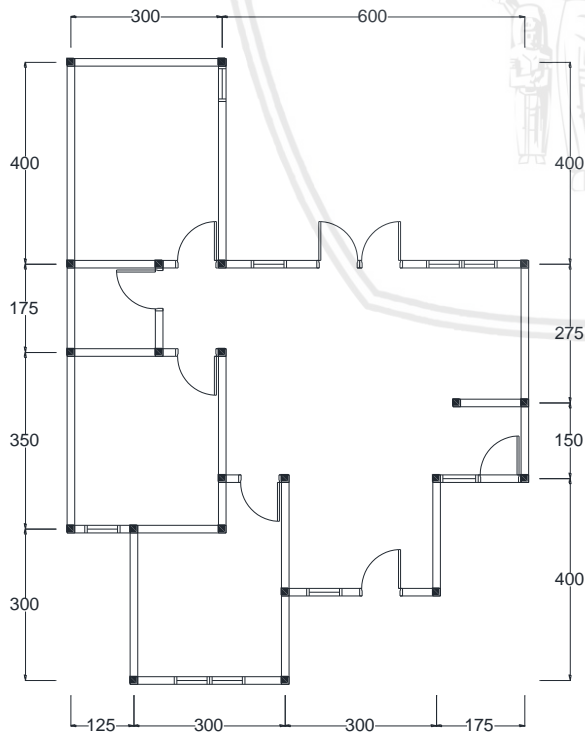
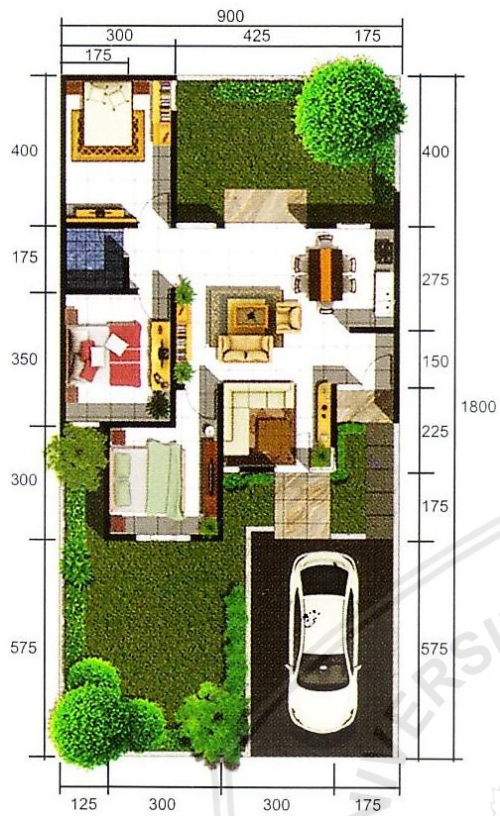


Gambar 3.3 Denah rumah tipe 60



Gambar 3.4 Model rumah tipe 60

Bangunan C yang dimodelkan dalam penelitian ini adalah rumah tinggal dengan tipe 70 berlokasi di kawasan Soekarno Hatta di kota Malang dengan luas lahan  $162 \text{ m}^2$  dan struktur bangunan utama memiliki luas  $70 \text{ m}^2$ . Berikut ini merupakan gambar denah rumah tinggal pada brosur dan gambar denah yang di gambar ulang menggunakan program Autocad.



Gambar 3.5 Denah rumah tipe 70

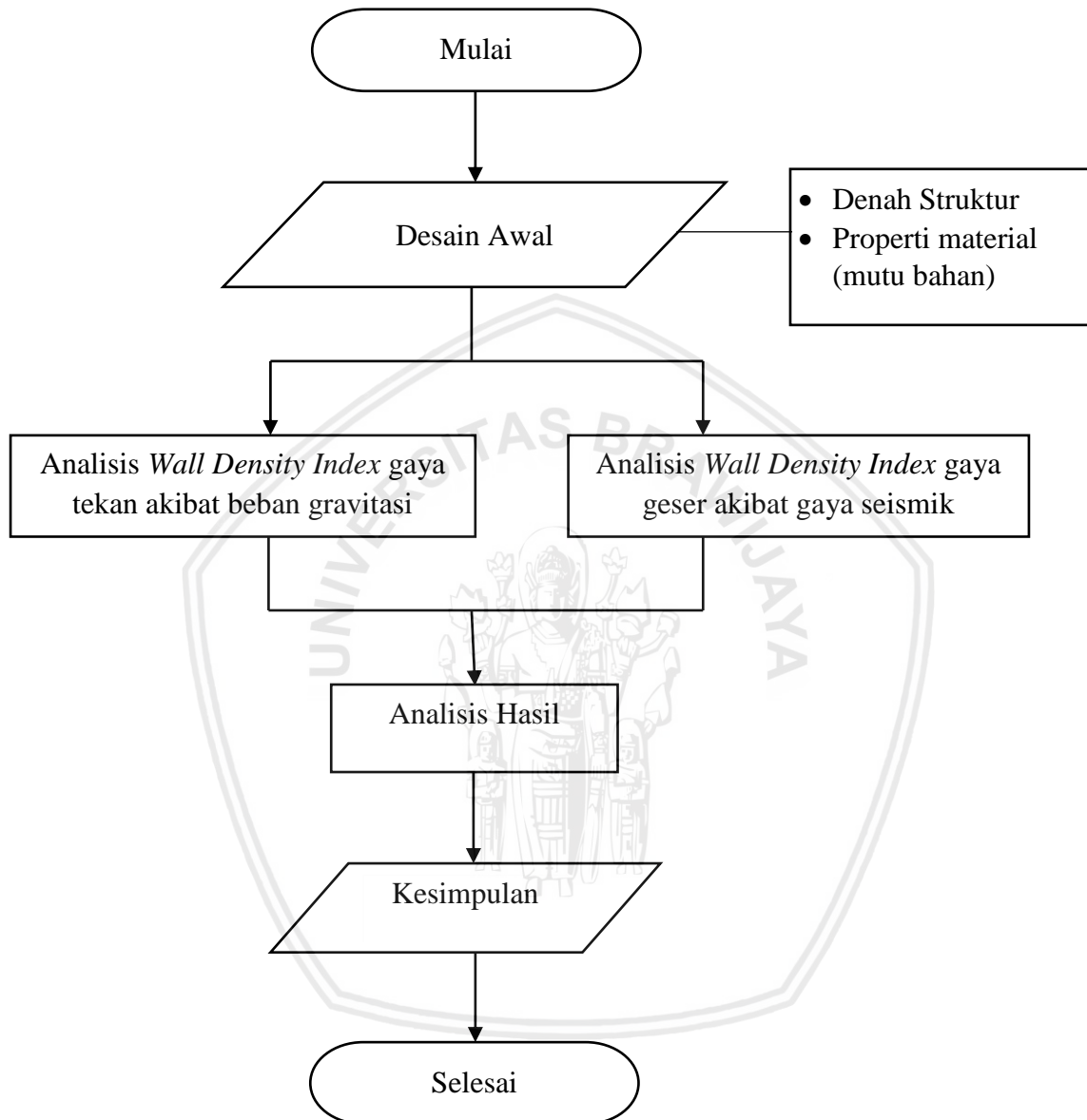
Gambar 3.6 Model denah rumah tipe 70

### 3.3 Metode Analisa Struktur

Adapun langkah-langkah dalam penulisan ini sebagai berikut:

1. Menggunakan desain denah rumah tinggal tipe 54, tipe 60 dan tipe 70
2. Mengevaluasi desain rumah dengan persyaratan perencanaan bangunan tahan gempa.
3. Menghitung beban struktur bangunan sesuai dengan material yang digunakan pada bangunan tersebut.
4. Evaluasi beban gempa dasar struktur yang dihasilkan dari perhitungan beban struktur dengan mempertimbangkan waktu getar alami struktur sesuai dengan peraturan, lalu didapatkan gaya geser seismik,
5. Menghitung kerapatan dinding (d) dengan menggunakan metode *Wall Density Index* terhadap gaya geser akibat beban seismik.
6. Menghitung kerapatan dinding (d) menggunakan metode *Wall Density Index* terhadap gaya tekan berdasarkan beban gravitas.
7. Mengevaluasi kapasitas dinding penahan beban untuk dinding kritis terhadap beban gempa.
8. Analisis hasil kapasitas dinding dengan metode *Wall Density Index* dan perbandingan desain awal dengan persyaratan bangunan tahan gempa.
9. Kesimpulan berupa tipe rumah yang dikaji memenuhi persyaratan gempa atau tidak.

### 3.4. Diagram Alir Analisis



Gambar 3.7. Diagram alir *Wall Density Index*



(halaman ini dikosongkan)

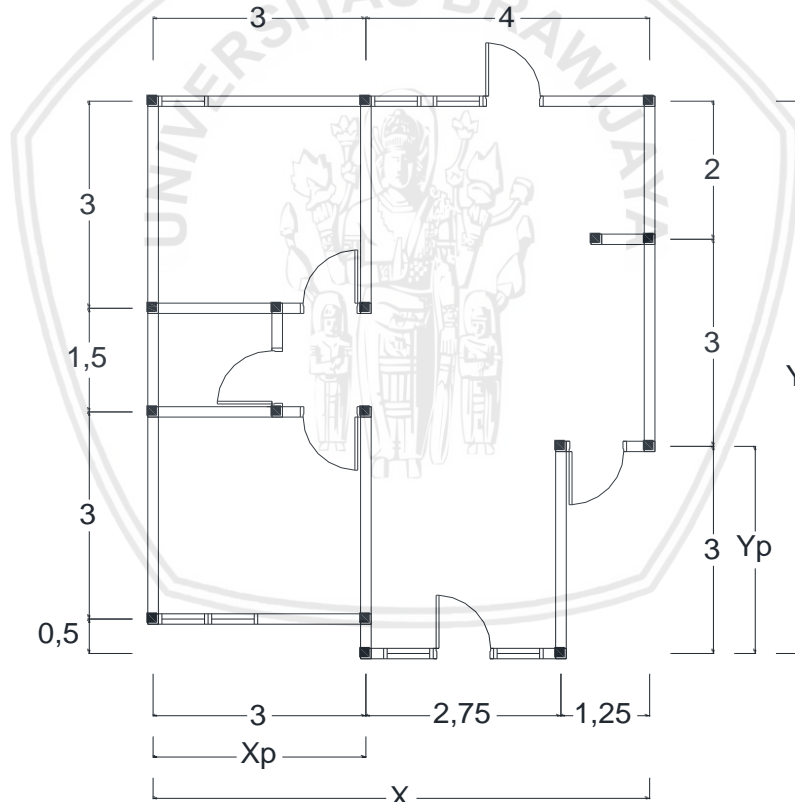
## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kapasitas Desain Bangunan

#### 4.1.1 Keteraturan bentuk (*regularity*)

Bentuk denah bangunan gedung sedapat mungkin simetris dan sederhana, guna mengantisipasi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa seperti pada *Gambar 2.1*. Berdasarkan denah rumah *Gambar 3.1*, *Gambar 3.3*, dan *Gambar 3.5* untuk rumah tipe 54, 60, dan 70 memiliki bentuk *irregular*. Namun perlu diketahui bahwa bangunan dikatakan *irregular* harus memenuhi perhitungan Building Seismic Safety Council (2009). Berikut ini perhitungan bangunan dengan bentuk *irregular*.

#### 1. Denah rumah tipe 54

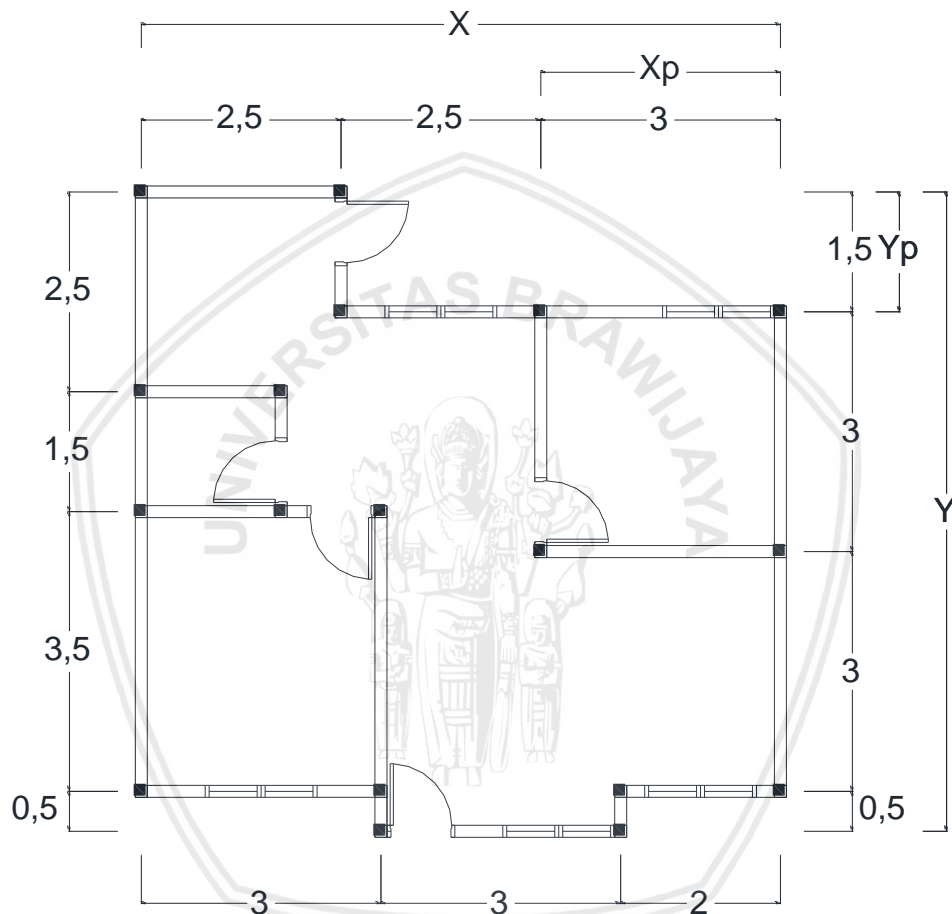


*Gambar 4.1* Penentuan bagian  $X$ ,  $X_p$ ,  $Y$  dan  $Y_p$  denah tipe 54.



Berdasarkan *Gambar 4.1* diketahui bagian  $X_p$ ,  $X$ ,  $Y_p$  dan  $Y$  sehingga diketahui nilai  $X_p = 3$  m,  $X = 7$  m,  $Y_p = 3$  m dan  $Y = 8$  m. Pada perhitungan  $\frac{X_p}{X} = \frac{3}{7} = 0,428 > 0,15$  dan  $\frac{Y_p}{Y} = \frac{3}{8} = 0,375 > 0,15$  yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*. Sehingga bangunan rumah tipe 54 dikatakan *irregular*.

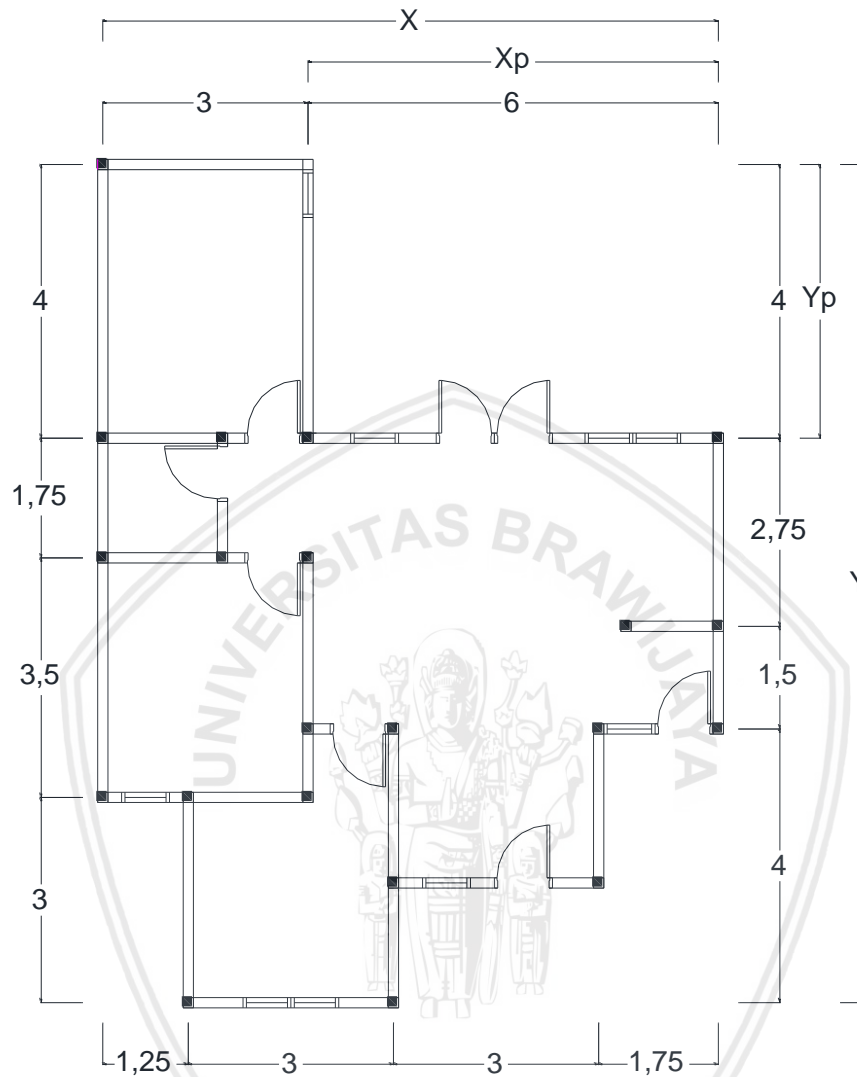
## 2. Denah rumah tipe 60



*Gambar 4.2* Penentuan bagian  $X$ ,  $X_p$ ,  $Y$  dan  $Y_p$  denah tipe 60.

Berdasarkan *Gambar 4.2* diketahui bagian  $X_p$ ,  $X$ ,  $Y_p$  dan  $Y$  sehingga diketahui nilai  $X_p = 5,5$  m,  $X = 8$  m,  $Y_p = 1,5$  m dan  $Y = 8$  m. Pada perhitungan  $\frac{X_p}{X} = \frac{5,5}{8} = 0,6875 > 0,15$  dan  $\frac{Y_p}{Y} = \frac{1,5}{8} = 0,1875 > 0,15$  yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*. Sehingga bangunan rumah tipe 60 dikatakan *irregular*.

## 3. Denah rumah tipe 70



Gambar 4.3 Penentuan bagian  $X$ ,  $X_p$ ,  $Y$  dan  $Y_p$  denah tipe 70

Berdasarkan Gambar 4.3 diketahui bagian  $X_p$ ,  $X$ ,  $Y_p$  dan  $Y$  sehingga diketahui nilai  $X_p = 6$  m,  $X = 9$  m,  $Y_p = 4$  m dan  $Y = 12,25$  m. Pada perhitungan  $\frac{X_p}{X} = \frac{6}{9} = 0,66 > 0,15$  dan  $\frac{Y_p}{Y} = \frac{4}{12,25} = 0,3265 > 0,15$  yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*.

Sehingga bangunan rumah tipe 70 dikatakan *irregular*.

#### 4.1.2 Bentuk bangunan tidak terlalu panjang

Panjang bangunan dibandingkan dengan lebar bangunan harus kurang dari 3 ( $\frac{p}{l} \leq 3$ ). Sehingga dari denah bangunan tersebut dapat di tentukan sebagai berikut.

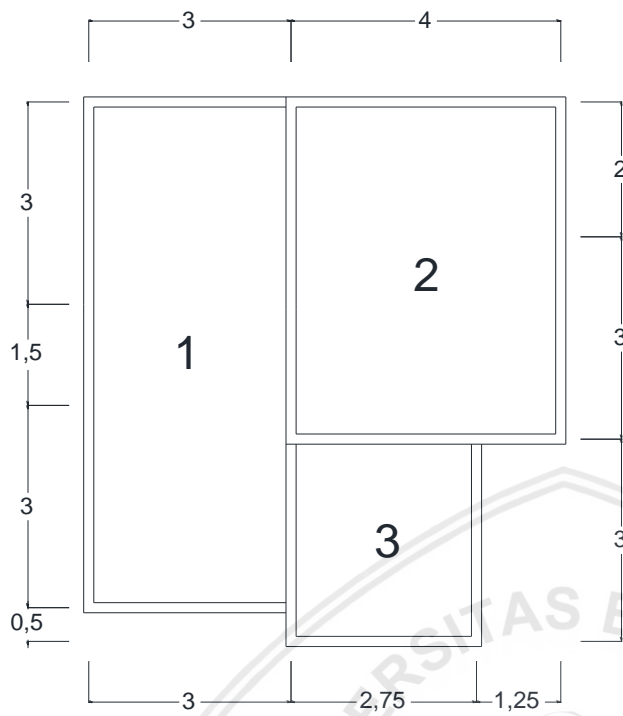
Pada bangunan di atas dapat di hitung berapa perbandingan antara panjang dan lebar bangunannya. Seperti pada bangunan tipe 54 memiliki perbandingan  $\frac{p}{l} = \frac{8}{7} = 1,14$ , pada tipe 60 memiliki perbandingan  $\frac{p}{l} = \frac{8}{8} = 1,00$  dan pada tipe 70 memiliki perbandingan  $\frac{p}{l} = \frac{12,25}{9} = 1,36$ . Sehingga dapat disimpulkan ketiga bangunan tersebut sesuai dengan persyaratan teknis bangunan yang tidak panjang.

#### 4.1.3 Distribusi dinding simetris dan merata

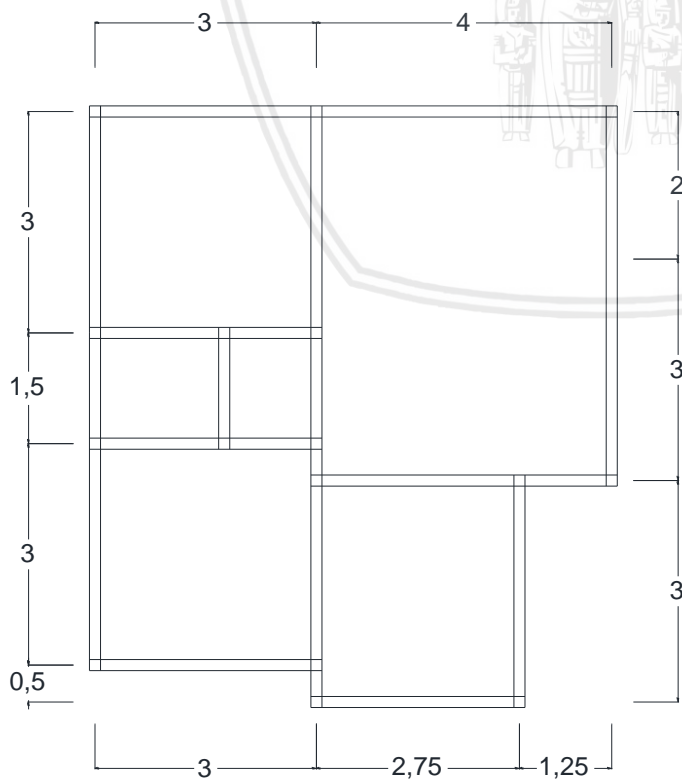
Distribusi dinding diharuskan simetris dan merata guna mengurangi efek torsi dan menambahkan ketahanan bangunan terhadap gaya gempa, meski distribusi dinding tidak bisa simetris sempurna dan merata. Dengan menghitung besarnya eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding sehingga dapat menentukan bahwa distribusi dinding bangunan dikatakan simetris dan merata. Berikut perhitungan eksentrisitas untuk tiap tipe rumah.

##### 1. Tipe 54

Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi tiga daerah yaitu daerah 1, 2, dan 3 seperti pada *Gambar 4.4*. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan denah balok dan kolom pada *Gambar 4.5*. Perhitungan beban untuk daerah 1, 2, dan 3 pada *Tabel 4.1*, *Tabel 4.2*, dan *Tabel 4.3*.



Gambar 4.4 Pembagian daerah untuk daerah 1, 2, dan 3 denah tipe 54.



Gambar 4.5 Denah balok rumah tipe 54.

Tabel 4.1. Massa daerah 1 denah tipe 54

Beban Daerah 1		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 21 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	1134 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (6 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	972 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 21 x 2,85 x 0,15 x 1700	=	15261.75 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 22,5 x 18	=	405 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) ((7,5+2) x 3) x 50/0,866	=	1645.45 kg
<b>Total beban daerah 1</b>	<b>=</b>	<b>19418.20 kg</b>

Tabel 4.2. Massa daerah 2 denah tipe 54

Beban Daerah 2		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 18 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	972 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (7 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	1512 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) (18,75 x 3,85) x 0,15 x 1700	=	18407.81 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 20 x 18	=	360 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) (15,9 + 10,1) x 50	=	1299.04 kg
<b>Total beban daerah 2</b>	<b>=</b>	<b>22550.85 kg</b>

Tabel 4.3. Massa daerah 3 denah tipe 54

Beban Daerah 3		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> )		

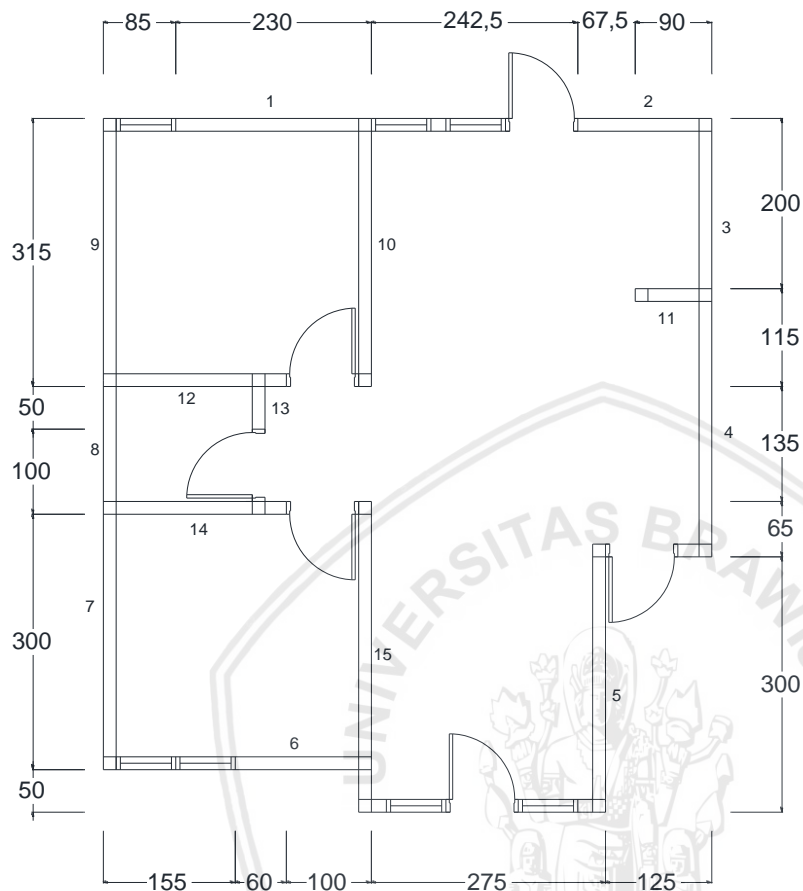
8,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	472.5 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (3 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	648 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) (8,75 x 3,85) x 0,15 x 1700	=	8590.313 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 20 x 18	=	360 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) 12,7 x 50	=	635.09 kg
<b>Total beban daerah 3</b>	<b>=</b>	<b>10705.90 kg</b>

Tabel 4.4. Pusat massa denah tipe 54.

Daerah	W(kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
1	19418.20	1.5	4.25	29127.30	82527.34
2	22550.85	5	5.5	112754.25	124029.68
3	10705.90	4.375	1.5	46838.30	16058.85
$\Sigma$	52674.95			188719.85	222615.87

Pusat massa dari *Gambar 4.1* untuk arah x sebesar  $\frac{188719,85}{52674,95} = 3,58$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{222615,87}{52674,95} = 4,23$  m.

Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing tiap dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat kekakuan dinding pada *Tabel 4.5* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.6*.



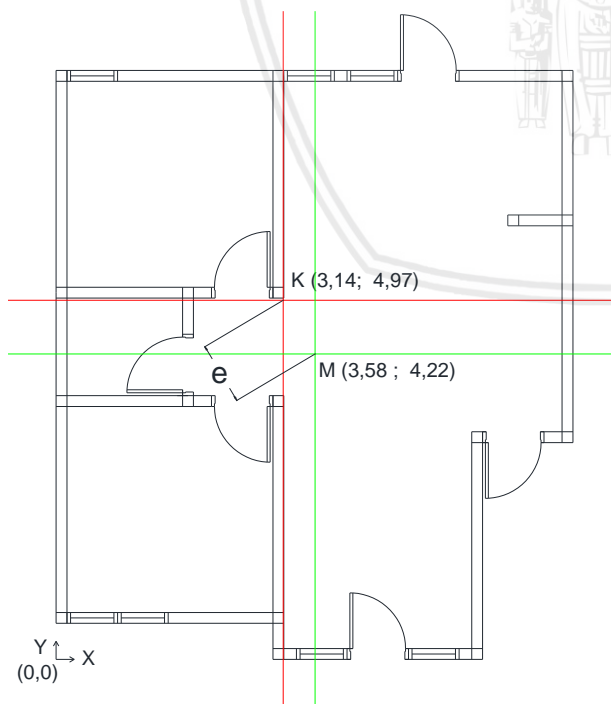
Gambar 4.6 Penomoran dinding denah tipe 54.

Tabel 4.5. Pusat kekakuan dinding denah tipe 54.

Dinding	A (m <sup>2</sup> )	x (m)	y (m)	Ax (m)	Ay (m)
---------	---------------------	-------	-------	--------	--------

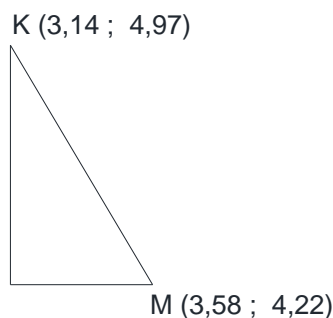
w1	0.3225	1.925	8.075	0.620813	2.60419
w2	0.23625	6.363	8.075	1.503141	1.90772
w3	0.3	7.075	7.225	2.1225	2.1675
w4	0.4725	7.075	9.45	3.342938	4.46513
w5	0.4725	5.825	1.575	2.752313	0.74419
w6	0.2175	2.275	0.575	0.494813	0.12506
w7	0.45	0.075	2	0.03375	0.9
w8	0.225	0.075	4.25	0.016875	0.95625
w9	0.4725	0.075	6.575	0.035438	3.10669
w10	0.45	3.075	6.5	1.38375	2.925
w11	0.1125	6.625	6.075	0.745313	0.68344
w12	0.3	1.15	5.075	0.345	1.5225
w13	0.075	1.825	4.75	0.136875	0.35625
w14	0.3	1.15	3.575	0.345	1.0725
w15	0.5475	3.075	1.975	1.683563	1.08131
<b>Σ</b>	<b>4.95375</b>			<b>15.56</b>	<b>24.62</b>

Pusat kekakuan dinding dari *Gambar 4.6* untuk arah x sebesar  $\frac{15,56}{4,95375} = 3,14$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{24,62}{4,95375} = 4,97$  m.



*Gambar 4.7.* Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 54.





*Gambar 4.8.* Detail Eksentrisitas.

$$e = \sqrt{(ex^2 + ey^2)}$$

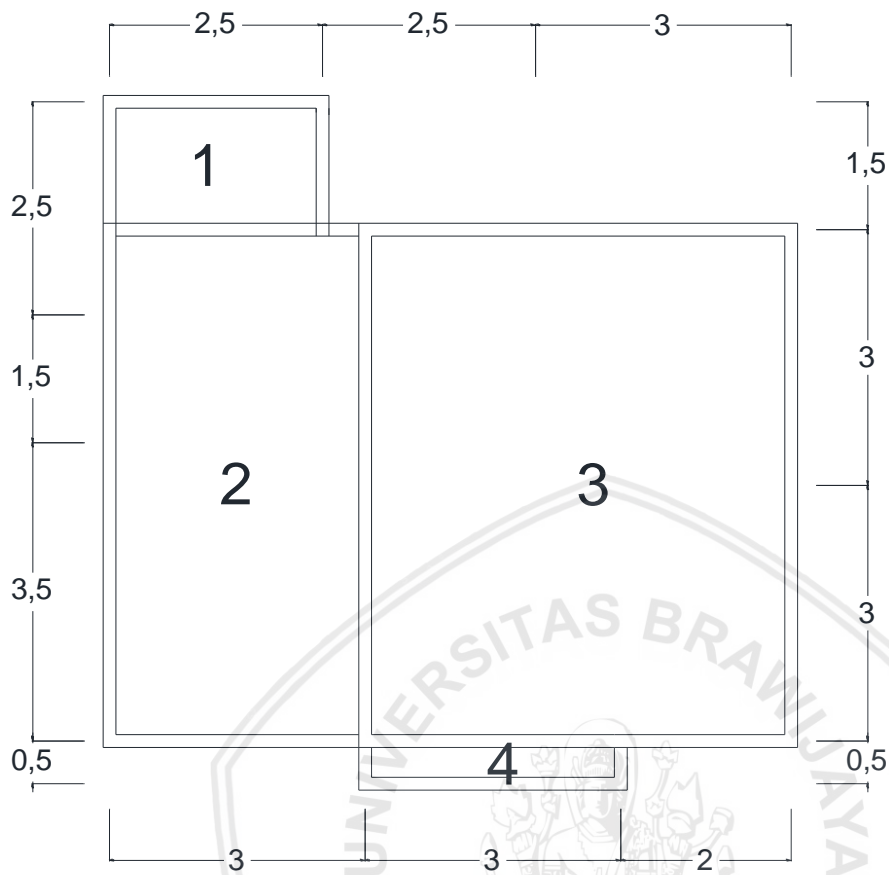
$$e = \sqrt{((3,58 - 3,14)^2 + (4,97 - 4,23)^2)}$$

$$e = 0,86 \text{ m}$$

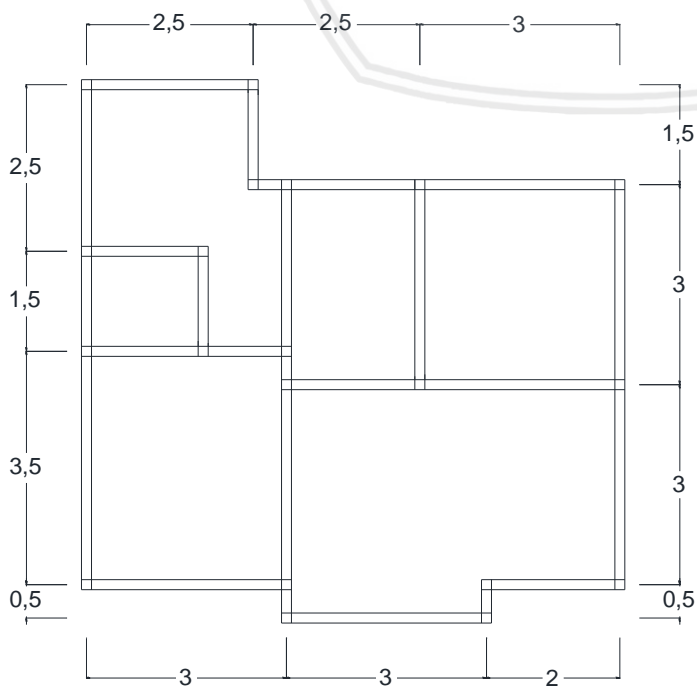
Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada *Gambar 4.7*. Berdasarkan SNI-1726-2002 pasal 5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila  $0 < e < 0,3b$  dan dikatakan besar apabila nilai  $e > 0,3b$ . Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas sebesar  $0,86 < 2,1$ . Maka nilai eksentrisitas besar sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

## 2. Tipe 60

Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi 4 daerah yaitu daerah 1, 2, 3 dan 4 seperti pada *Gambar 4.9*. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan denah balok dan kolom pada *Gambar 4.10*. Perhitungan beban untuk daerah 1, 2, 3 dan 4 pada *Tabel 4.6, Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9*.



Gambar 4.9. Pembagian daerah untuk daerah 1, 2, 3 dan 4 denah tipe 60.



Gambar 4.10 Denah balok rumah tipe 60.

Tabel 4.6. Massa daerah 1 denah tipe 60

Beban Daerah 1		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 5,5 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	297 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (3 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	486 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 5,5 x 2,85 x 0,15 x 1700	=	3997.125 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 3,75 x 18	=	67.5 kg
5. Atap (2400 kg/m <sup>2</sup> ) 5,25 x 0,1 x 2400	=	1260.00 kg
<b>Total beban daerah 1</b>	=	<b>6107.63 kg</b>

Tabel 4.7. Massa daerah 2 denah tipe 60

Beban Daerah 2		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 15,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	850.5 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (6 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	972 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 15,75 x 2,85 x 0,15 x 1700	=	11446.31 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 18 x 18	=	324 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) 24 x 50/0,866	=	1385.64 kg
<b>Total beban daerah 2</b>	=	<b>14978.45 kg</b>

Tabel 4.8. Massa daerah 3 denah tipe 60

Beban Daerah 3		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 27 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	1458 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (5 x 4 x 0,15 x 0,15 + 3 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	1566 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) (10,5 x 3,85 + 12 x 2,85) x 0,15 x 1700	=	19029.38 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> )		

30 x 18	=	540 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) (18,76 + 15,88 + 18,48) x 50	=	2655.81 kg
<b>Total beban daerah 3</b>	=	<b>25249.19 kg</b>

*Tabel 4.9. Massa daerah 4 denah tipe 60*

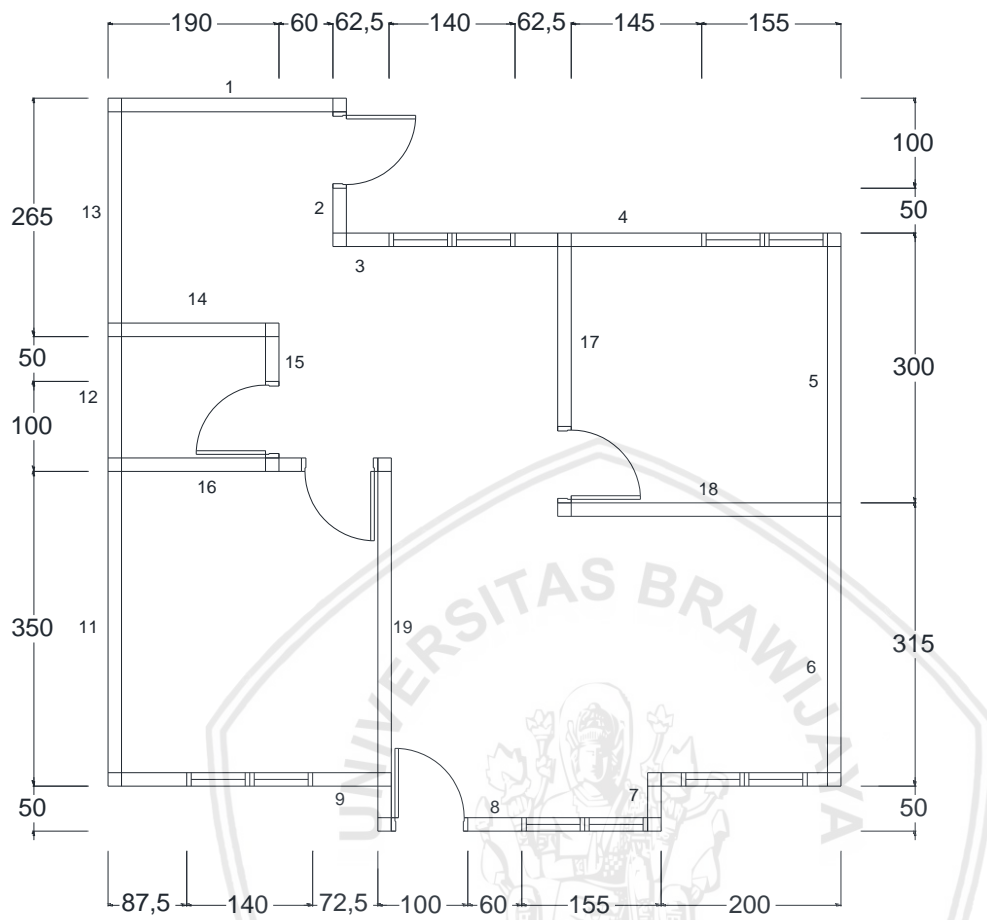
<b>Beban Daerah 4</b>		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 15,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	216 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (2 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	432 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 4 x 3,85 x 0,15 x 1700	=	3927 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 1,5 x 18	=	27 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) 24 x 50/0,866	=	433.01 kg
<b>Total beban daerah 4</b>	=	<b>5035.01 kg</b>

*Tabel 4.10. Pusat massa denah tipe 60*

Daerah	W(kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
1	6107.63	1.25	7.25	7634.53	44280.28
2	14978.45	1.5	3.5	22467.68	52424.59
3	25249.19	5.5	3.5	138870.52	88372.15
4	5035.01	4.5	0.25	22657.56	1258.75
$\Sigma$	51370.28			191630.29	186335.77

Pusat massa dari *Gambar 4.9* untuk arah x sebesar  $\frac{191630,29}{51370,28} = 3,73$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{186335,77}{51370,28} = 3,63$  m.

Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing tiap dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat kekakuan dinding pada *Tabel 4.11* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.11*.

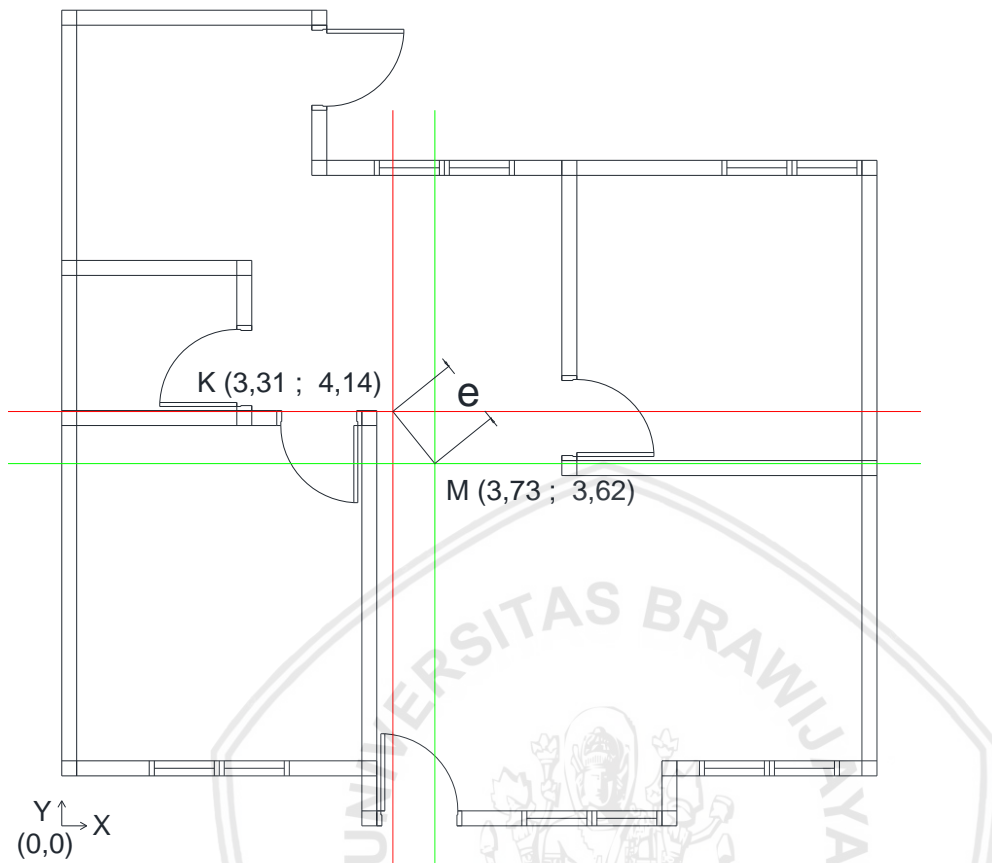


Gambar 4.11. Penomoran dinding denah tipe 60.

Tabel 4.11. Pusat kekakuan dinding denah tipe 60

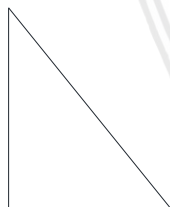
Dinding	A (m <sup>2</sup> )	x (m)	y (m)	Ax (m)	Ay (m)
w1	0.3975	1.325	8.075	0.5266875	3.20981
w2	0.075	2.725	6.9	0.204375	0.5175
w3	0.09375	2.8125	6.575	0.2636719	0.61641
w4	0.31125	4.62875	6.575	1.4406984	2.04647
w5	0.3	8.075	5.15	2.4225	1.545
w6	0.4725	8.075	2.075	3.8154375	0.98044
w7	0.0975	6.075	0.325	0.5923125	0.03169
w8	0.09	4.3	0.075	0.387	0.00675
w9	0.10875	2.6375	0.575	0.2868281	0.06253
w10	0.13125	0.4375	0.575	0.0574219	0.07547
w11	0.525	0.075	2.4	0.039375	1.26
w12	0.225	0.075	4.9	0.016875	1.1025
w13	0.3525	0.075	6.825	0.0264375	2.40581
w14	0.2625	1.025	5.575	0.2690625	1.46344
w15	0.075	1.975	5.25	0.148125	0.39375
w16	0.3	1.15	4.075	0.345	1.2225
w17	0.3	5.075	5.5	1.5225	1.65
w18	0.45	6.5	3.575	2.925	1.60875
w19	0.6225	3.075	2.075	1.9141875	1.29169
<b>Σ</b>	<b>5.19</b>			<b>17.203495</b>	<b>21.4905</b>

Pusat kekakuan dinding dari Gambar 4.11 untuk arah x sebesar  $\frac{17,2035}{5,19} = 3,31$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{21,4905}{5,19} = 4,14$  m.



Gambar 4.12. Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 60.

K (3,31 ; 4,14)



M (3,73 ; 3,62)

Gambar 4.13. Detail eksentrisitas.

$$e = \sqrt{(e_x^2 + e_y^2)}$$

$$e = \sqrt{((3,73 - 3,31)^2 + (4,14 - 3,62)^2)}$$

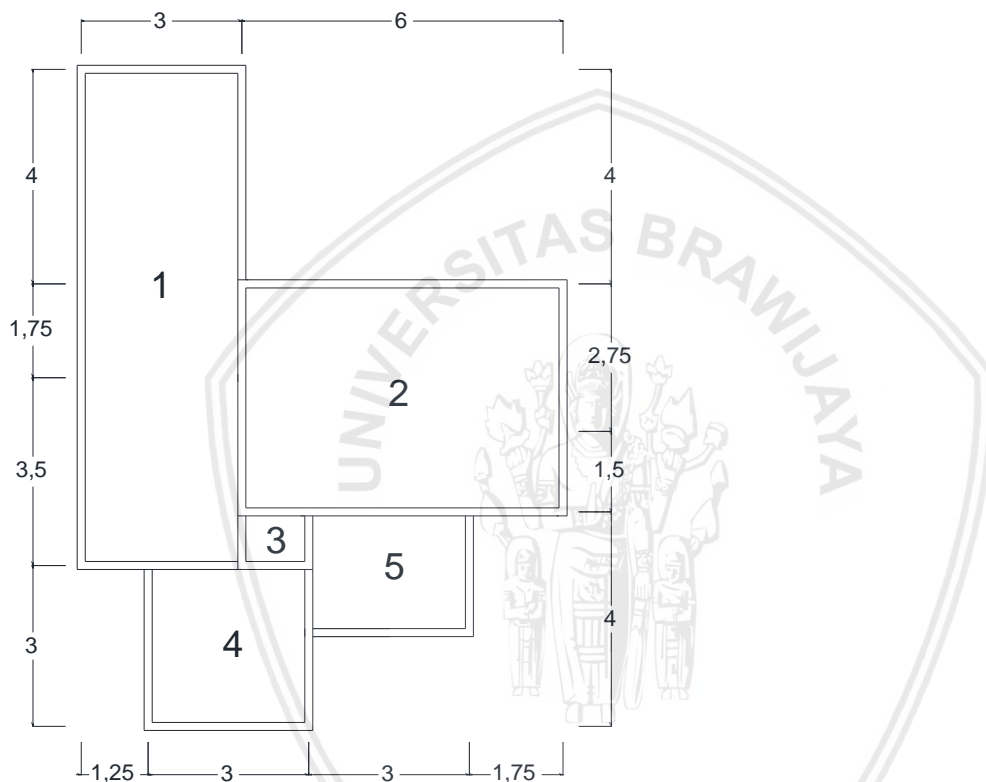
$$e = 0,66 \text{ m}$$

Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada Gambar 4.12. Berdasarkan SNI-1726-2002 pasal 5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila  $0 < e < 0,3b$  dan dikatakan besar apabila nilai  $e > 0,3b$ . Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas sebesar

$0,66 < 2,4$ . Maka nilai eksentrisitas kecil sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

### 3. Denah tipe 70.

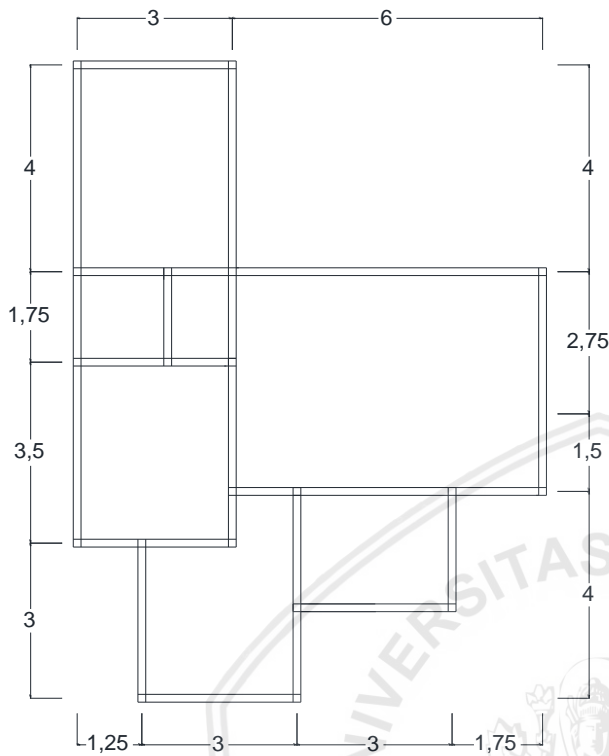
Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi lima daerah yaitu daerah 1, 2, 3, 4 dan 5 seperti pada *Gambar 4.14*. Perhitungan volume balok dan kolom berdasarkan



denah balok dan kolom pada *Gambar 4.15*. Perhitungan beban untuk daerah 1, 2, 3, 4 dan 5 pada *Tabel 4.12*, *Tabel 4.13*, *Tabel 4.14*, *Tabel 4.15*, dan *Tabel 4.16*.

*Gambar 4.14*. Pembagian daerah untuk daerah 1, 2, dan 3 denah tipe 65.





Gambar 4.15. Denah balok rumah tipe 70.

Tabel 4.12. Massa daerah 1 denah tipe 70

Beban Daerah 1		
1. Balok ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ) $27 \times 0,15 \times 0,15 \times 2400$	=	1458 kg
2. Kolom ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ) $(8 \times 4 \times 0,15 \times 0,15) \times 2400$	=	1728 kg
3. Dinding ( $1700 \text{ kg/m}^3$ ) $27 \times 3,85 \times 0,15 \times 1700$	=	26507.25 kg
4. Plafon ( $18 \text{ kg/m}^2$ ) $27,75 \times 18$	=	499.5 kg
5. Atap ( $50 \text{ kg/m}^2$ ) $(16 \times 0,1 \times 2400) + ((17,75 + 3,9) \times 50)$	=	4922.53 kg
<b>Total beban daerah 1</b>	=	<b>35115.28 kg</b>

Tabel 4.13. Massa daerah 2 denah tipe 70

Beban Daerah 2		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 20,5 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	1107 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (4 x 4 x 0,15 x 0,15 + 4 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	1512 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) (7 x 3,85 + 15,1 x 2,85) x 0,15 x 1700	=	17846.18 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 25,5 x 18	=	459 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) (0,18+7,4+3,5+14,72) x50 + (11,38 x 0,1) x 2400	=	4018.21 kg
<b>Total beban daerah 2</b>	=	<b>24942.39 kg</b>

Tabel 4.14. Massa daerah 3 denah tipe 70

Beban Daerah 3		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 3,25 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	175.5 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (1 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	216 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 3,25 x 3,85 x 0,15 x 1700	=	3190.69 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 1,25 x 18	=	22.5 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> ) 2,6 x 50	=	129.90 kg
<b>Total beban daerah 3</b>	=	<b>3734.59 kg</b>

Tabel 4.15. Massa daerah 4 denah tipe 70

Beban Daerah 4		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> ) 9 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	486 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> ) (3 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	648 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> ) 9 x 3,85 x 0,15 x 1700	=	8835.75 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> ) 9 x 18	=	162 kg

5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> )		
24,25 x 50	=	1212.44 kg
Total beban daerah 4	=	11344.19 kg

Tabel 4.16. Massa daerah 5 denah tipe 70

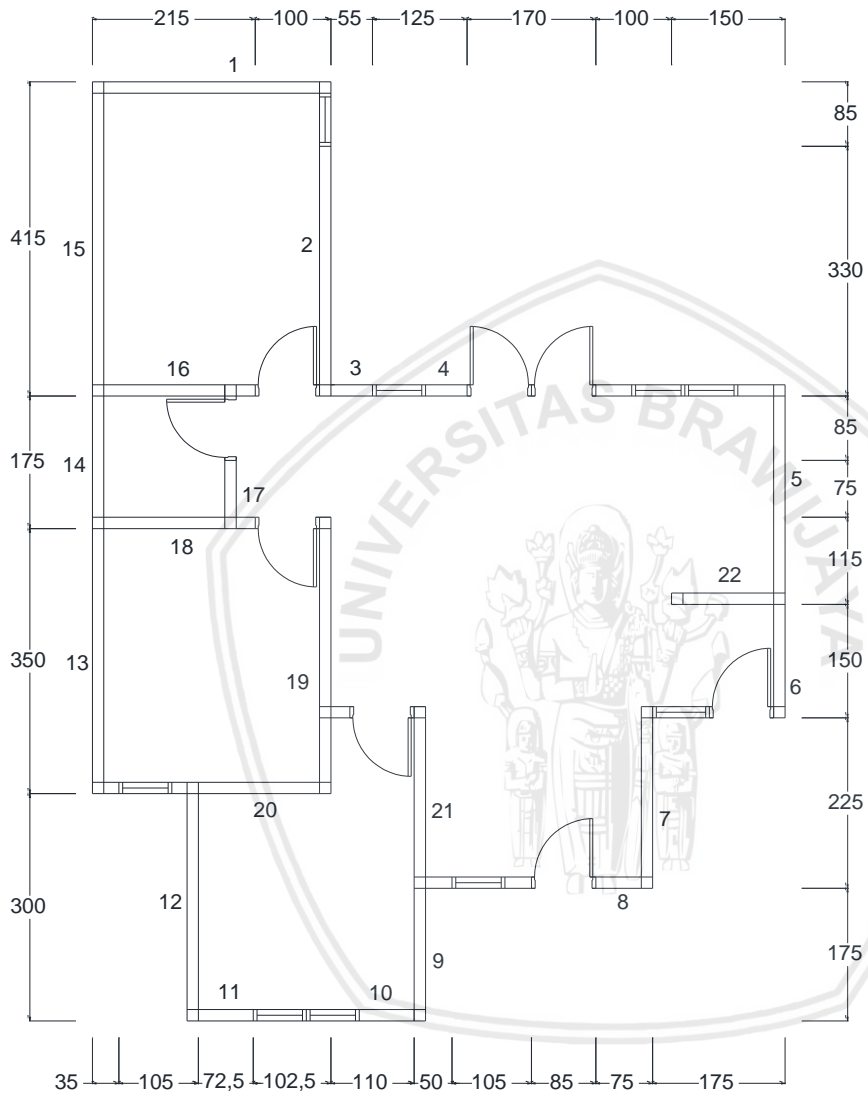
Beban Daerah 5		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
5,25 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	283.5 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
(1 x 3 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	162 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> )		
5,25 x 2,85 x 0,15 x 1700	=	3815.44 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> )		
6,75 x 18	=	121.5 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> )		
15,01 x 50	=	750.56 kg
Total beban daerah 5	=	5132.99 kg

Tabel 4.17. Pusat massa denah tipe 70

Daerah	W(kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
1	35115.28	1.5	7.625	52672.92	267754.02
2	24942.39	6	6.125	149654.33	152772.13
3	3734.59	3.625	3.5	13537.89	13071.07
4	11344.19	2.75	1.5	31196.51	17016.28
5	5132.99	5.75	2.875	29514.71	14757.35
Σ	80269.44			276576.36	465370.85

Pusat massa dari *Gambar 4.11* untuk arah x sebesar  $\frac{276576.36}{80269.44} = 3,45$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{465370.85}{80269.44} = 5,8$  m.

Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Untuk titik pusat kekakuan dinding dihitung berdasarkan total luas masing masing dinding dikalikan jarak dibagi total luas dinding. Perhitungan titik pusat massa pada *Tabel 4.15* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.16*.

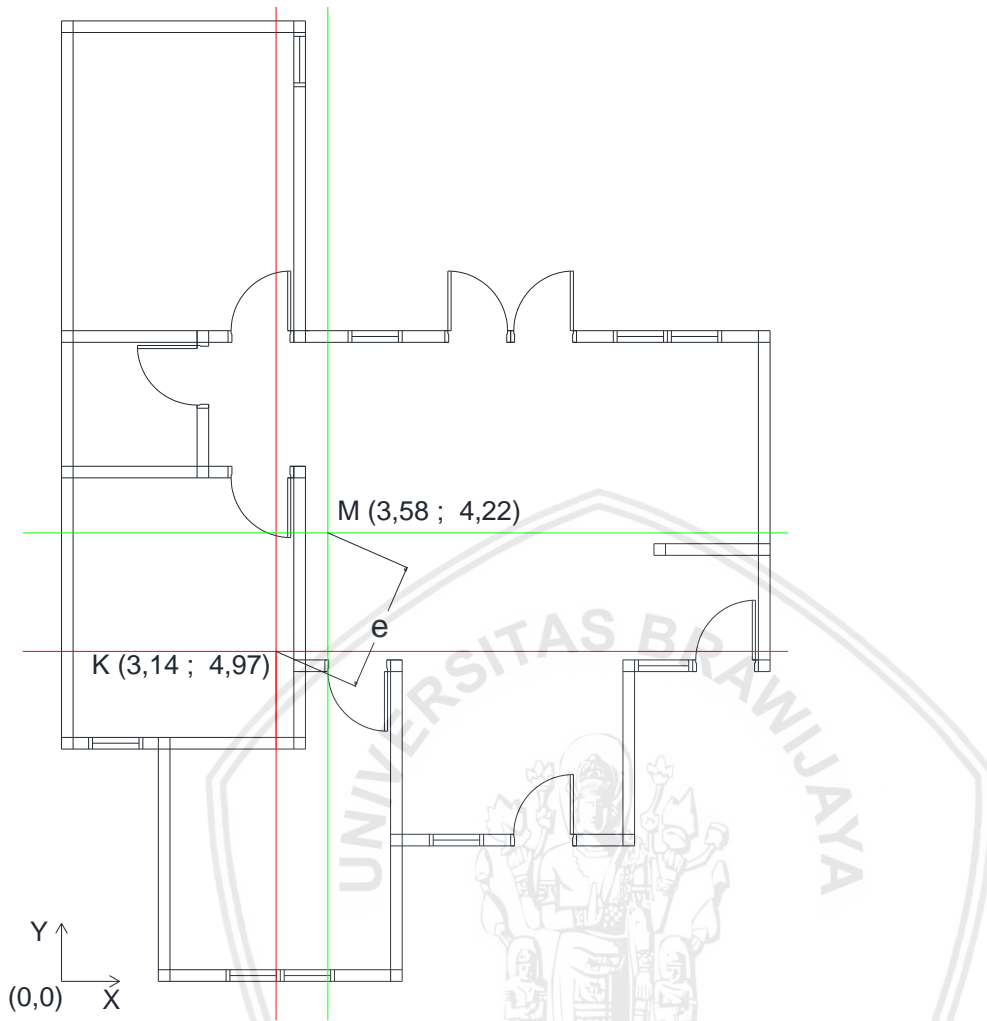


Gambar 4.16. Penomoran dinding denah tipe 70.

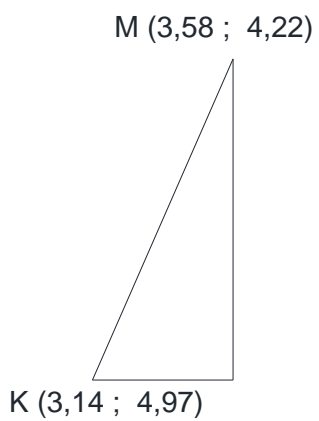
Tabel 4.18. Pusat kekakuan dinding denah tipe 70.

Dinding	A (m <sup>2</sup> )	x (m)	y (m)	Ax (m)	Ay (m)
w1	0.4725	1.575	12.325	0.7441875	5.82356
w2	0.495	3.075	9.9	1.522125	4.9005
w3	0.0825	3.425	8.325	0.2825625	0.68681
w4	0.0825	4.675	8.325	0.3856875	0.68681
w5	0.4125	9.075	7.025	3.7434375	2.89781
w6	0.2475	9.075	4.825	2.2460625	1.19419
w7	0.36	7.325	2.95	2.637	1.062
w8	0.09	6.95	1.825	0.6255	0.16425
w9	0.2625	4.325	0.875	1.1353125	0.22969
w10	0.10875	3.8875	0.075	0.4227656	0.00816
w11	0.10875	2.125	0.075	0.2310938	0.00816
w12	0.45	1.325	1.5	0.59625	0.675
w13	0.525	0.075	4.75	0.039375	2.49375
w14	0.2625	0.075	7.375	0.0196875	1.93594
w15	0.6	0.075	10.25	0.045	6.15
w16	0.3	1.075	8.325	0.3225	2.4975
w17	0.1125	1.825	7.025	0.2053125	0.79031
w18	0.3	1.075	6.575	0.3225	1.9725
w19	0.525	3.075	4.9	1.614375	2.5725
w20	0.315	2.1	3.075	0.6615	0.96863
w21	0.36	4.325	2.95	1.557	1.062
w22	0.2025	8.325	5.575	1.6858125	1.12894
<b>Σ</b>	<b>6.675</b>			<b>18.496172</b>	<b>28.4981</b>

Pusat kekakuan dinding dari Gambar 4.13 untuk arah x sebesar  $\frac{18.496172}{6.675} = 2,77$  m dan untuk arah y sebesar  $\frac{28.4981}{6.675} = 4,27$  m.



Gambar 4.17. Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 70.



Gambar 4.18. Detail eksentrisitas.

$$e = \sqrt{(ex^2 + ey^2)}$$

$$e = \sqrt{((3,45 - 2,77)^2 + (5,8 - 4,27)^2)}$$

$$e = 1,67 \text{ m}$$

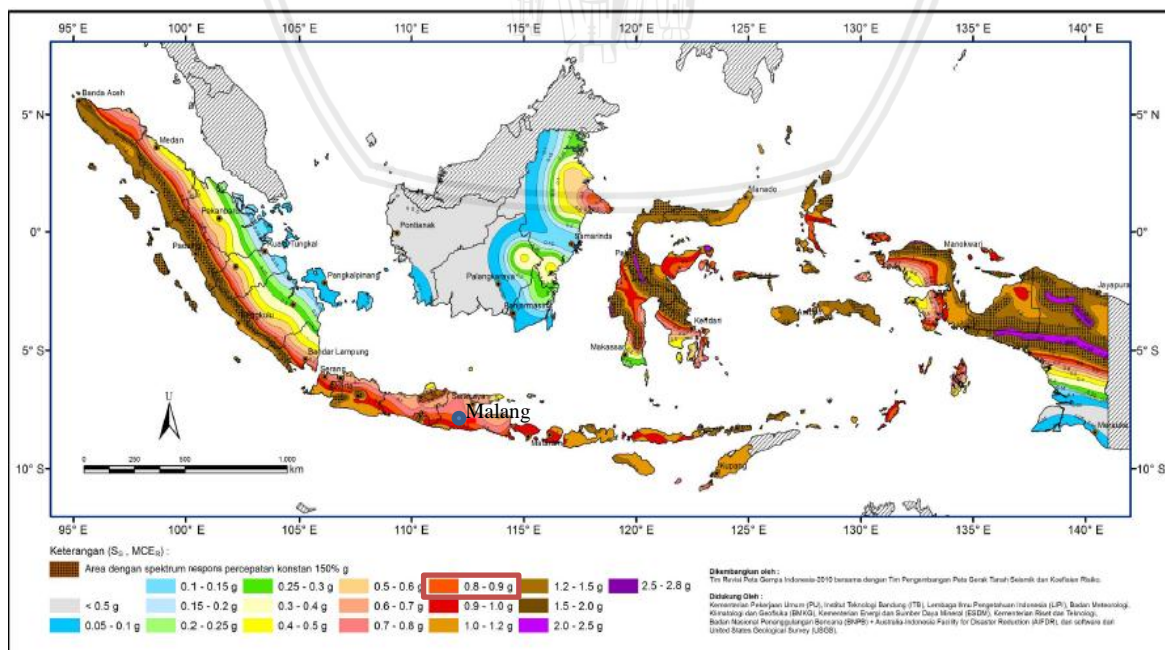
Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada *Gambar 4.14*. Berdasarkan SNI-726-2002 pasal 5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila  $0 < e < 0,3b$  dan dikatakan besar apabila nilai  $e > 0,3b$ . Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas  $1,67 < 2,7$ . Maka nilai eksentrisitas kecil sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

## 4.2 Kapasitas dinding bangunan

### 4.2.1 Perhitungan gaya gempa

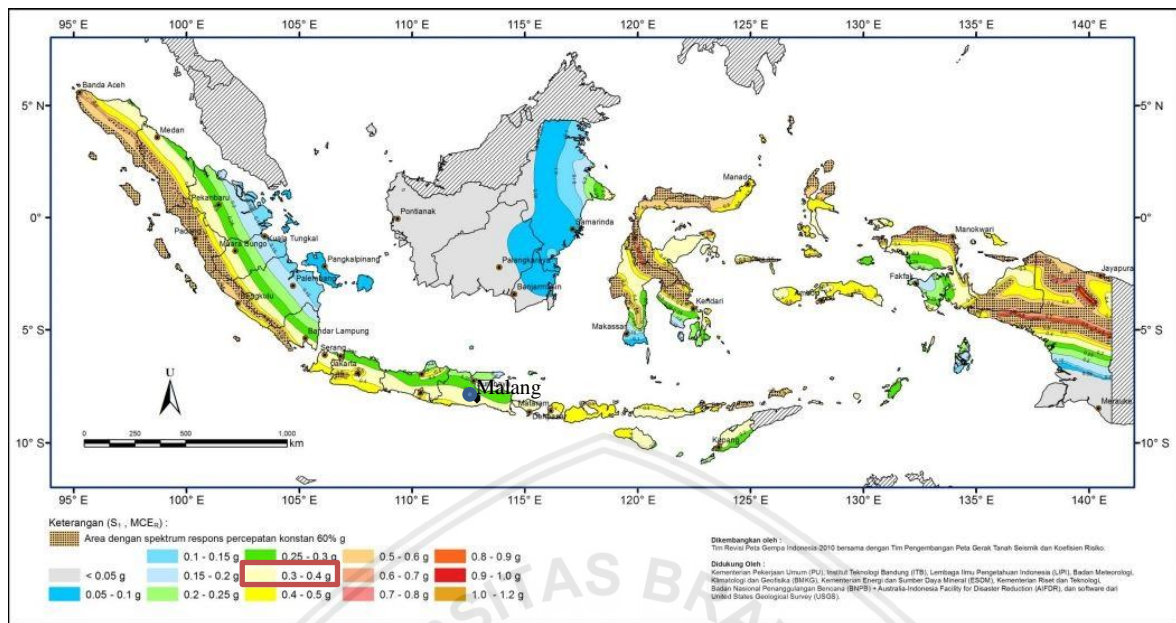
Perhitungan beban gempa menggunakan SNI-1726-2012. Bangunan berfungsi sebagai rumah tinggal di kota Malang sehingga didapatkan informasi sebagai berikutnya:

1. Kategori resiko = II, untuk perumahan
2. Faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1, Kategori resiko II
3. Klasifikasi situs = SD (tanah sedang)
4. Struktur ditentukan sebagai rangka beton bertulang pemikul momen biasa.  
Berdasarkan tabel 9 SNI-1726-2012 didapat nilai  $R = 3$
5.  $S_s = 0,8$  dan  $S_1 = 0,3$  (*Gambar 4.19* dan *Gambar 4.20*)



*Gambar 4.19.* S<sub>s</sub>, titik hitam lokasi di kota Malang

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2012)



Gambar 4.20.  $S_1$ , titik hitam lokasi di kota Malang

Sumber : Badan Standardisasi Nasional (2012)

6.  $F_\alpha = 1,2$  dan  $F_v = 1,8$  (didapatkan dari Tabel 2.5 dan Tabel 2.6).

Berdasarkan data diatas, parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (SMS) dan perioda 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs ditentukan dengan persamaan (2-2) dan persamaan (2-3)

$$S_{MS} = 1,2 \times 0,8 = 0,96$$

$$S_{M1} = 1,8 \times 0,3 = 0,54$$

Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ . Ditentukan dengan persamaan (2-4) dan persamaan (2-5)

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times 0,96 = 0,64$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times 0,54 = 0,36$$

Berdasarkan SNI-1726-2012, sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda struktur,  $T$ , diizinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan,  $T_\alpha$ . Dengan nilai  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$  (tabel 15 SNI-1726-2012) dan  $h_n = 3$  m. Maka diperoleh nilai  $T_\alpha$ :



$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 3^{0,9} = 0,125255 \text{ detik}$$

Koefisien respons seismik,  $C_S$ , ditentukan dengan persamaan (2-11):

$$C_S = \frac{0,64}{\left(\frac{3}{1}\right)} = 0,2133$$

Nilai  $C_S$  tidak perlu melebihi dari persamaan (2-12):

$$C_S = \frac{0,36}{0,125255 \left(\frac{3}{1}\right)} = 0,958$$

$C_S$  harus tidak kurang dari

$$C_S = 0,044 S_{DI} I_e \geq 0,01$$

$$C_S = 0,044 \times 0,36 \times 1 \geq 0,01$$

$$C_S = 0,0158 > 0,01$$

Berdasarkan perhitungan tersebut,  $C_S = 0,2133 < 0,958$  dan  $C_S = 0,2133 > 0,0158$ , maka ditentukan nilai  $C_S = 0,2133$

#### 4.2.2 Wall Density Index

Kerapatan dinding adalah indikator kunci keamanan untuk ketahanan bangunan terhadap seismik dan gaya gravitasi. Kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding,  $d$ .

##### 1. Tipe 54

Berdasarkan denah rumah tipe 54 pada *Gambar 4.4* dan *Gambar 4.5*, dapat dihitung nilai dari luas lantai bangunan ( $A_P$ ) dan luas penampang dinding ( $A_W$ ). kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding,  $d$ .

$$A_P = (3 \times 7,5 + 4 \times 5 + 3 \times 2,75) = 50,75 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_W = ((12 + 4 + 2,75 + 1,25) \times 0,15) - ((3,4 + 4,9) \times 0,15) = 1,755 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_W = ((18 + 3 + 2) \times 0,15) - (0,85 \times 0,15) = 3,3225 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding,  $d$ . Dapat dihitung dari persamaan (2-1):

$$\text{Arah x, } d = \frac{1,755}{50,75} = 0,0346 = 3,5\%$$

$$\text{Arah y, } d = \frac{3,3225}{50,75} = 0,0654 = 6,5\%$$

$$\sum d = d_x + d_y = 0,0346 + 0,0654 = 0,1000$$

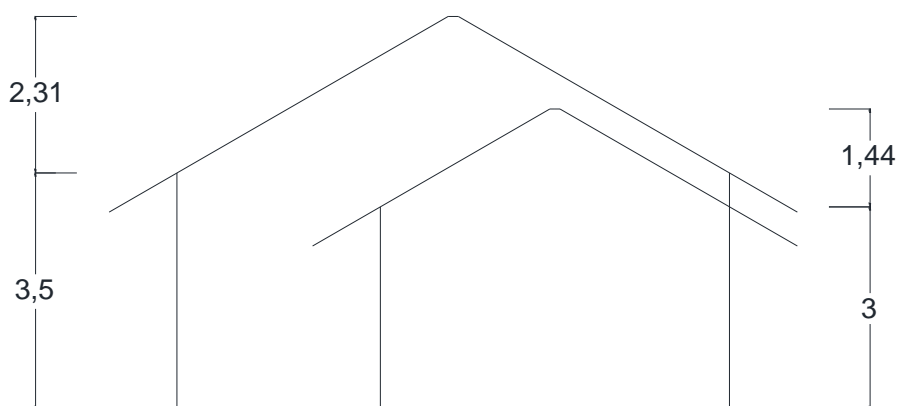
Berdasarkan tabel 2.4, nilai  $d$  untuk kota Malang dengan  $\text{PGA} \leq 4$ , harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai  $d$  pada arah x dengan nilai 3,5% > 2,5% dan nilai  $d$  pada arah y dengan nilai 6,5% > 2,5%. Dapat disimpulkan nilai  $d$  pada arah x dan arah y pada rumah tipe 54 telah memenuhi persyaratan indeks kerapatan dinding ( $d$ ) minimum.

- Kontrol kapasitas seismik

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan dari PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok dan beban mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Berdasarkan *Gambar 4.21* dapat diketahui tinggi dan luas atapnya.



*Gambar 4.21.* Tampak samping kiri bangunan tipe 54.



Gambar 4.22. Tampak samping kanan bangunan tipe 54.

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok} &= (7,5 + 4 + 3 \times 8 + 2,75 \times 2 + 2 + 1,5 \times 2 + 1,25 + 0,5) \\ &= 47,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= (9,5 \times 3) / \cos 30^\circ + (10 \times 4,75) / \cos 30^\circ + (7 \times 1,25) / \cos 30^\circ \\ &= 97,86087 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ukuran kolom dan balok} = 0,15 \times 0,15$$

Beban hidup pada atap diambil dari beban terbesar antara beban pekerja yang sebesar 100 kg atau beban air dengan persamaan berikut ini dengan kemiringan atap ( $\alpha$ ) adalah  $30^\circ$ .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (30) = 16 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.19. Berat Bangunan Tipe 54.

#### Beban Mati

1. Balok ( $2400 \text{ kg/m}^3$ )		
$45,4 \times 0,15 \times 0,15 \times 2400$	=	2578.5 kg
2. Kolom ( $2400 \text{ kg/m}^3$ )		
$(6 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 10 \times 4 \times 0,15 \times 0,15) \times 2400$	=	3132 kg
3. Dinding ( $1700 \text{ kg/m}^3$ )		
$(2,85 \times 0,15 \times 19,5 + 3,85 \times 0,15 \times 22,75) \times 1700$	=	26250.34 kg
4. Plafon ( $18 \text{ kg/m}^2$ )		
$50,75 \times 18$	=	913.5 kg
5. Atap ( $50 \text{ kg/m}^2$ )		
$97,86087 \times 50$	=	4893.044 kg
<b>Total Beban Mati</b>	=	<b>37767.38 kg</b>

#### Beban Hidup

1. Atap beban air hujan ( $W_{ah}=16 \text{ kg/m}^2$ )

50,75 x 16	=	812 kg
Total Beban Hidup		812 kg
Total Beban per luas lantai bangunan (D + L)	=	38579,38 kg

---

Perhitungan berat pada *Tabel 4.19* didapatkan nilai  $W_T = 38579,38$  kg. Gaya seismik ( $V_u$ ), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 38579,38 = 8230,268 \text{ kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai ( $V_R$ ) dihitung untuk tiap arah orthogonal bangunan dengan mengalikan kekuatan dinding geser ( $v$ ) dan total luas efektif dinding ( $A_w$ ). Berdasarkan Wisnumurti, Dewi, dan Soeharjono MD (2013), didapat dari table 6 nilai  $V_m$  yaitu  $2,54 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai  $v$  didapat dari persamaan (2-18) dan nilai  $\sigma_U$  didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{8230,268}{5,0775} = 7598,106 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 25400 + 0,3 \times 7598,106) \leq 1,5 \times 25400$$

$$v = 14979,43 < 38100 \text{ kg/m}^2$$

setelah mendapatkan nilai  $v$ , kemudian menghitung nilai  $V_R$  dari persamaan (2-17)

$$V_{RX} = 14979,43 \times 1,755 = 26288,9 \text{ kg}$$

$$V_{RY} = 14979,43 \times 3,3225 = 49769,16 \text{ kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan persamaan (2-15)

$$\frac{V_{Rx}}{V_u} = \frac{26288,9}{8230,268} \geq 1,57$$

$$3,19 > 1,57 \text{ (memenuhi)}$$

$$\frac{V_{Ry}}{V_u} = \frac{49769,16}{8230,268} \geq 1,57$$

$$6,05 > 1,57 \text{ (memenuhi)}$$

Selain dari nilai tabel nilai kerapatan dinding ( $d$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-22)

$$d \geq \frac{F_s C_s n w}{v}$$

$$dx + dy \geq \frac{Fs.Cs.n.w}{v}$$

$$0,035 + 0,065 \geq \frac{1,57 \cdot 0,2133 \cdot 1 \cdot 0,076}{1,4979}$$

$$0,100049 \geq 0,017$$

$$10\% \geq 1,7\% \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan ( $\sigma_R$ ) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding ( $f_m'$ ) dan faktor ( $F_E$ ) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban kelangsingan dinding. Berdasarkan Wisnumurti et al. (2013), nilai  $f_m'$  didapat dari tabel 5 sebesar  $20,89 \text{ kg/cm}^2$ . Kuat tekan dapat ditentukan dengan persamaan (2-25).

Dimana nilai  $F_E$  dinding interior adalah 0,7 dan nilai  $F_E$  untuk dinding eksterior adalah 0,6, sehingga didapat nilai:

Dinding interior :

$$\sigma_R = 0,7 (20,89 + 4) = 17,423 \text{ kg/cm}^2 = 174230 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (20,89 + 4) = 14,934 \text{ kg/cm}^2 = 149340 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq 2,33$$

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{174230}{7598,106} \geq 2,33$$

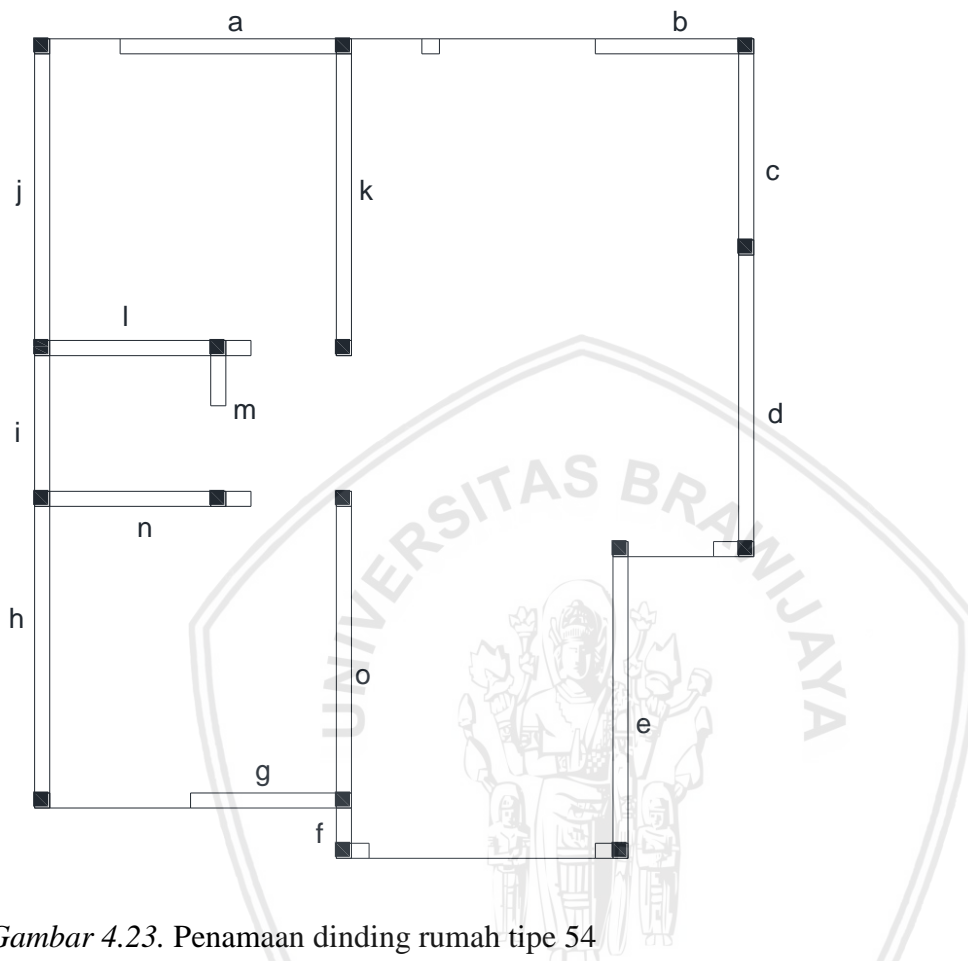
$$22,93 > 2,33 \text{ (memenuhi)}$$

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{149340}{7598,106} \geq 2,33$$

19,65 > 2,33 (memenuhi)

- Kontrol keamanan tiap dinding



Gambar 4.23. Penamaan dinding rumah tipe 54

Beban gravitasi ( $P_U$ ) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai pada bangunan yang dihitung dengan persamaan 2-29. Kemampuan daya dukung ( $P_R$ ) dihitung dengan persamaan 2-30 dengan mengacu pada Gambar 4.20 untuk penamaan dindingnya.

- Dinding a dengan panjang 2,3 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,345 = 51522,3 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 2,3$$

$$P_U = 5245,275 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51522,3}{5245,275} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,8226 > 2,3333$$

- Dinding b dengan panjang 1,575 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,23635 = 35281,58 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 4 \times 1,575$$

$$P_U = 4789,165 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35281,58}{4789,165} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,3669 > 2,3333$$

- Dinding c dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,3225 = 48162,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 4 \times 2,15$$

$$P_U = 6537,59 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{48162,15}{6537,59} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,3669 > 2,3333$$

- Dinding d dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,4725 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 4 \times 3,15$$

$$P_U = 9578,329 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{9578,329} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,3669 > 2,3333$$

- Dinding e dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,4725 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 2,75 \times 3,15$$

$$P_U = 6585,101 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{6585,101} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,71588 > 2,3333$$

- Dinding f dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,0975 = 14560,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 2,75 \times 0,65$$

$$P_U = 1358,83 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14560,65}{1358,83} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,71588 > 2,3333$$

- Dinding g dengan panjang 1,6 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$



$$P_R = 149340 \times 0,24 = 35841,6 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 1,6$$

$$P_U = 3648,887 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35841,6}{3648,887} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,822611 > 2,3333$$

- Dinding h dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,4725 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 7183,747 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{7183,747} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,822611 > 2,3333$$

- Dinding i dengan panjang 1,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,2475 = 36961,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 1,5 \times 1,65$$

$$P_U = 1881,457 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{36961,65}{1881,457} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 19,64522 > 2,3333$$

- Dinding j dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,4725 = 70563,51 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 7183,747 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,51}{7183,747} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,822611 > 2,3333$$

- Dinding k dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,4725 = 82323,68 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 7183,747 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{82323,68}{7183,747} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 11,45971 > 2,3333$$

- Dinding l dengan panjang 2,15 m

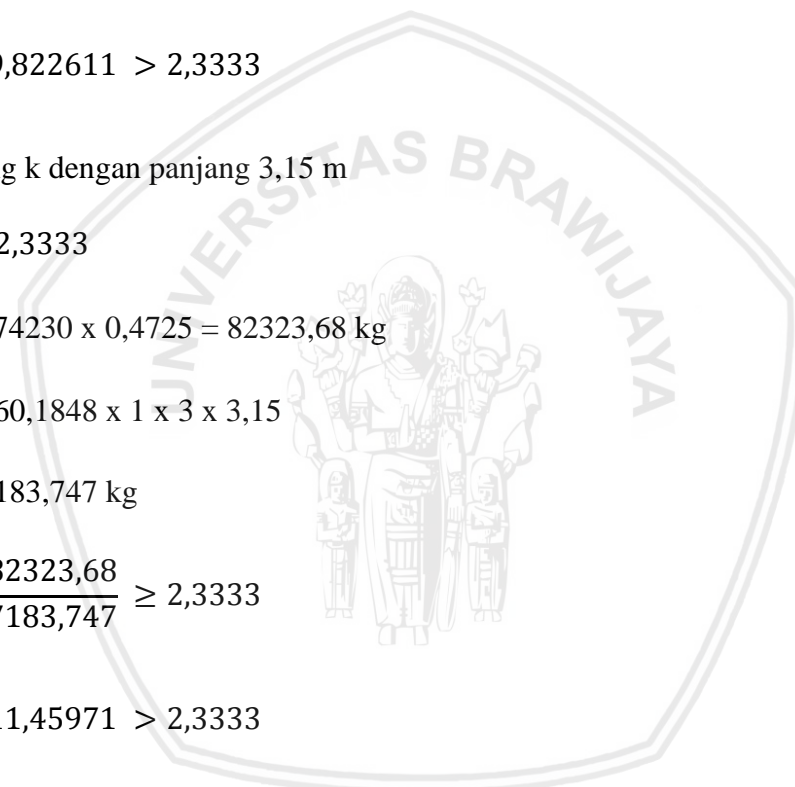
$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,3225 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 2,15$$

$$P_U = 4903,192 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{4903,192} \geq 2,3333$$



$$\frac{P_R}{P_U} = 11,45971 > 2,3333$$

- Dinding m dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,0975 = 16987,643 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 1,5 \times 0,65$$

$$P_U = 2451,596 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{16987,643}{2451,596} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 22,919 > 2,3333$$

- Dinding n dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,3225 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 2,15$$

$$P_U = 4903,192 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{4903,192} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 11,4597 > 2,3333$$

- Dinding o dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,4725 = 82323,68 \text{ kg}$$

$$P_U = 760,1848 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 7183,747 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{82323,68}{7183,747} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 11,4597 > 2,3333$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dengan nilai  $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$  yang terkecil yaitu 6,929 > 2,33 sehingga telah memenuhi kebutuhan.

## 2. Tipe 60

Berdasarkan denah rumah tipe 60 pada *Gambar 4.10*, dapat dihitung nilai dari luas lantai bangunan ( $A_p$ ) dan luas penampang dinding ( $A_w$ ). kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding,  $d$ .

$$A_p = (2,5 \times 1,5 + 6 \times 3 + 5,5 \times 6 + 0,5 \times 3) = 56,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (2,5 \times 2 + 3 \times 5 + 2 + 1,75) \times 0,15 - (0,85 \times 2 + 0,7 \times 10) \times 0,15 = 2,2575 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (3 \times 3 + 1,5 \times 3 + 2,5 + 3,5 + 0,5 \times 2) \times 0,15 - (0,85 \times 2) \times 0,15 = 2,82 \text{ m}^2$$

Indeks kerapatan dinding,  $d$ . Dapat dihitung dari persamaan (2-1):

$$\text{Arah x, } d = \frac{2,2575}{56,25} = 0,0401 = 4\%$$

$$\text{Arah y, } d = \frac{2,82}{56,25} = 0,0501 = 5\%$$

$$\sum d = d_x + d_y = 0,0401 + 0,0501 = 0,0902$$

Berdasarkan tabel 2.4, nilai  $d$  untuk kota Malang dengan  $PGA \leq 4$ , harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai  $d$  pada arah x dengan nilai 4% > 2,5% dan nilai  $d$  pada arah y dengan nilai 5% > 2,5%. Dapat disimpulkan nilai  $d$  pada arah x dan arah y pada rumah tipe 60 telah memenuhi persyaratan indeks kerapatan dinding ( $d$ ) minimum.

### - Kontrol kapasitas seismik

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan dari PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok, plat dan beban

mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Berdasarkan *Gambar 4.23* dapat diketahui tinggi dan luas atapnya.



*Gambar 4.24.* Tampak samping kiri bangunan tipe 60.



*Gambar 4.25.* Tampak samping kanan bangunan tipe 60.

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok} &= (2,5 + 1,5 + 3,5 + 3 + 0,5 + 3 + 0,5 + 2 + 3 + 3 + 3 + 2,5 + 1,5 + 2,5 + 2 + \\ &\quad 1,5 + 3 + 6 + 5 + 3) \\ &= 52,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= (8 \times 3) / \cos 30^\circ + (8,5 \times 5) / \cos 30^\circ + (8 \times 2) / \cos 30^\circ + (1,5 \times 2,5) \\ &= 99,01279 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ukuran balok dan kolom} = 0,15 \times 0,15$$

Beban hidup pada atap diambil dari beban terbesar antara beban pekerja yang sebesar 100 kg atau beban air dengan persamaan berikut ini dengan kemiringan atap ( $\alpha$ ) adalah  $30^\circ$ .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (30) = 16 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.20. Berat Bangunan Tipe 60.

Beban Mati		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
52,5 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	2835 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
(11 x 3 x 0,15 x 0,15 + 7 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	3294 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> )		
(2,85 x 0,15 x 30,5 + 3,85 x 0,15 x 14,5) x 1700	=	36401.25 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> )		
56,25 x 18	=	1012.5 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> )		
(95,2628 x 50) + (3,75 x 0,1 x 2400)	=	5663.1397 kg
Total Beban Mati	=	49205.89 kg
Beban Hidup		
1. Atap beban air hujan (W <sub>ah</sub> =16 kg/m <sup>2</sup> )		
56,25 x 16	=	900 kg
Total Beban Hidup		900 kg
Total Beban per luas lantai bangunan (D + L)	=	50105.89 kg

Perhitungan berat pada Tabel 4.20 didapatkan nilai  $W_T = 50105,89$  kg. Gaya seismik ( $V_u$ ), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 50105,89 = 10689,26 \text{ kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai ( $V_R$ ) dihitung untuk tiap arah orthogonal bangunan dengan mengalikan kekuatan dinding geser ( $v$ ) dan total luas efektif dinding ( $A_w$ ). Berdasarkan Meli dkk (2011), nilai  $v_m$  didapat berdasarkan tabel 5 yaitu  $2,54 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai  $v$  didapat dari persamaan (2-18) dan nilai  $\sigma_U$  didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{50105,89}{5,0775} = 9868,221 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 25400 + 0,3 \times 9868,221) \leq 1,5 \times 25400$$

$$v = 15660,47 < 38100 \text{ kg/m}^2$$

setelah mendapatkan nilai  $v$ , kemudian menghitung nilai  $V_R$  dari persamaan (2-17),

$$V_{RX} = 15660,47 \times 2,2575 = 35353,5 \text{ kg}$$

$$V_{RY} = 15660,47 \times 2,82 = 44162,51 \text{ kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan persamaan (2-15)

$$\text{Untuk arah x, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{35353,5}{10689,26} \geq 1,57$$

$$3,31 > 1,57 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Untuk arah y, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{44162,51}{10689,26} \geq 1,57$$

$$4,13 > 1,6 \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan ( $\sigma_R$ ) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding ( $f_m'$ ) dan faktor ( $F_E$ ) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban kelangsingan dinding. Berdasarkan Meli dkk (2011), nilai  $f_m'$  didapat dari tabel 4 sebesar  $15 \text{ kg/cm}^2$ . Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan persamaan (2-25)

Dimana nilai  $F_E$  dinding interior adalah 0,7 dan nilai  $F_E$  untung dinding eksterior adalah 0,6, sehingga didapat nilai:

Dinding interior :

$$\sigma_R = 0,7 (20,89 + 4) = 17,423 \text{ kg/cm}^2 = 174230 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (20,89 + 4) = 14,934 \text{ kg/cm}^2 = 149340 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{174230}{9868,221} \geq 2,33$$

17,66 > 2,33 (memenuhi)

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{149340}{9868,221} \geq 2,33$$

15,13 > 2,33 (memenuhi)

Selain dari nilai tabel nilai kerapatan dinding (d) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-22)

$$d \geq \frac{F_s C_s n w}{v}$$

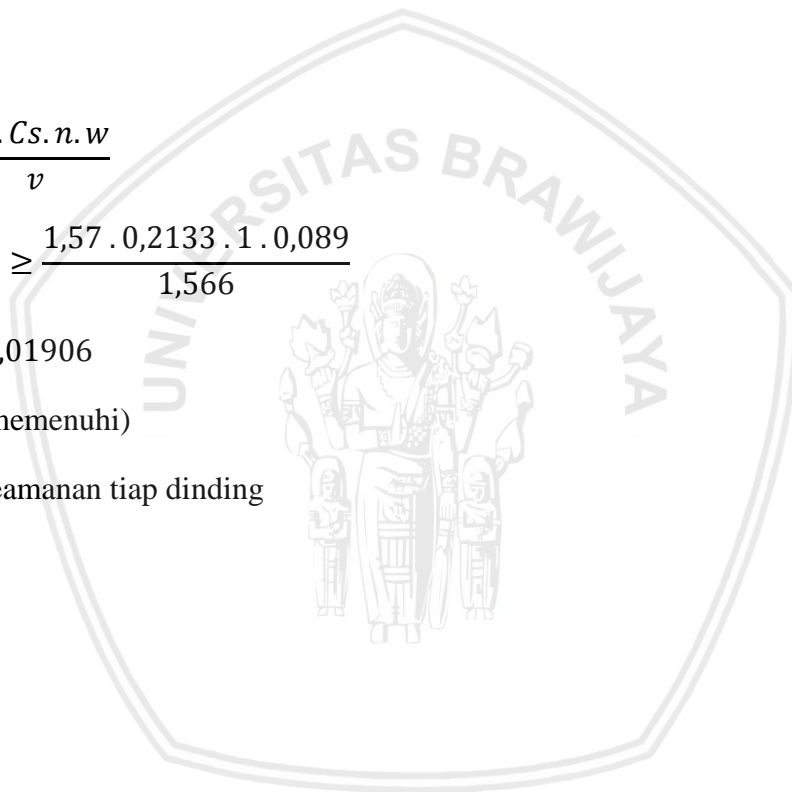
$$dx + dy \geq \frac{F_s \cdot C_s \cdot n \cdot w}{v}$$

$$0,040 + 0,050 \geq \frac{1,57 \cdot 0,2133 \cdot 1 \cdot 0,089}{1,566}$$

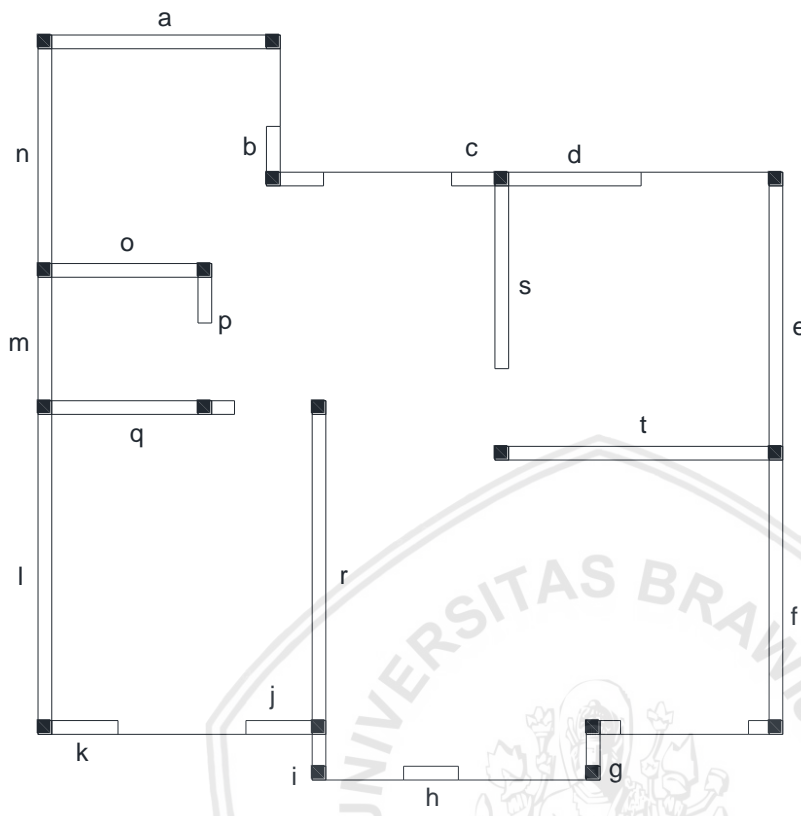
$$0,090267 \geq 0,01906$$

$$9\% \geq 1,9\% \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol keamanan tiap dinding







Gambar 4.26. Penamaan dinding rumah tipe 60

Beban gravitasi ( $P_U$ ) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai pada bangunan yang dihitung dengan persamaan 2-29. Kemampuan daya dukung ( $P_R$ ) dihitung dengan persamaan 2-30 dengan mengacu pada Gambar 4.24 untuk penamaan dindingnya.

- Dinding a dengan panjang 2,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 2,65 = 59362,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 2,5 \times 2,65$$

$$P_U = 5901,36$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{59362,65}{5901,36} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,3722 > 2,3333$$

- Dinding b dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,65 = 14560,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 2,5 \times 0,65$$

$$P_U = 1447,503 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14560,65}{1447,503} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,7653 > 2,3333$$

- Dinding c dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,65 = 14560,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 2 \times 0,65$$

$$P_U = 1158,003 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14560,65}{1158,003} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,8217 > 2,3333$$

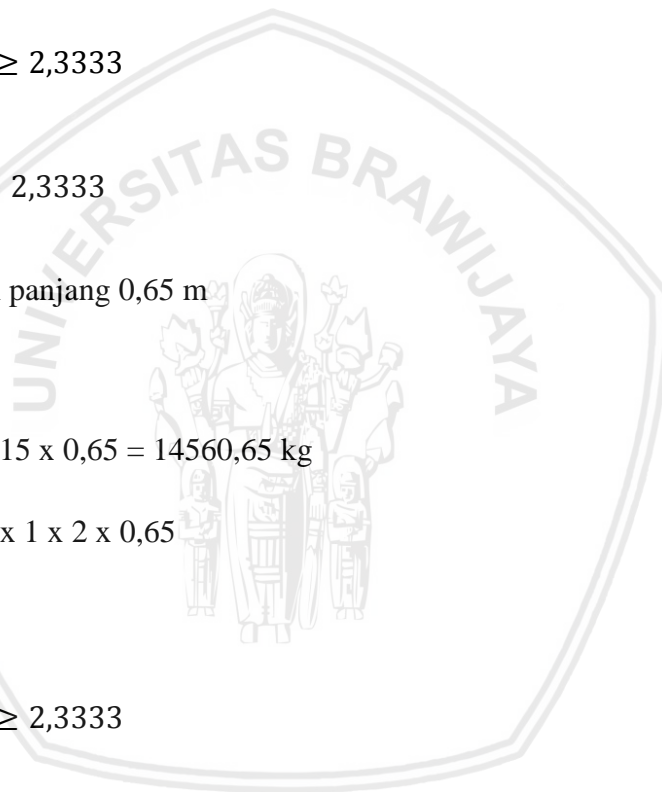
- Dinding d dengan panjang 1,6 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 1,6 = 35841,6 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 3 \times 1,6$$

$$P_U = 1158,003 \text{ kg}$$



$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35841,6}{1158,003} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,8552 > 2,3333$$

- Dinding e dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,15 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 1158,003 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{1158,003} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 15,2005 > 2,3333$$

- Dinding f dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,15 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 5 \times 3,15$$

$$P_U = 14029 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{14029} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 14,8052 > 2,3333$$

- Dinding g dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,65 = 14560,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 3 \times 0,65$$

$$P_U = 1737,004 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14560,65}{1737,004} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 16,49335 > 2,3333$$

- Dinding h dengan panjang 0,6 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,6 = 13440,6 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 0,65 \times 0,6$$

$$P_U = 347,401 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{13440,6}{347,401} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,1171 > 2,3333$$

- Dinding i dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,65 = 14560,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 3 \times 0,65$$

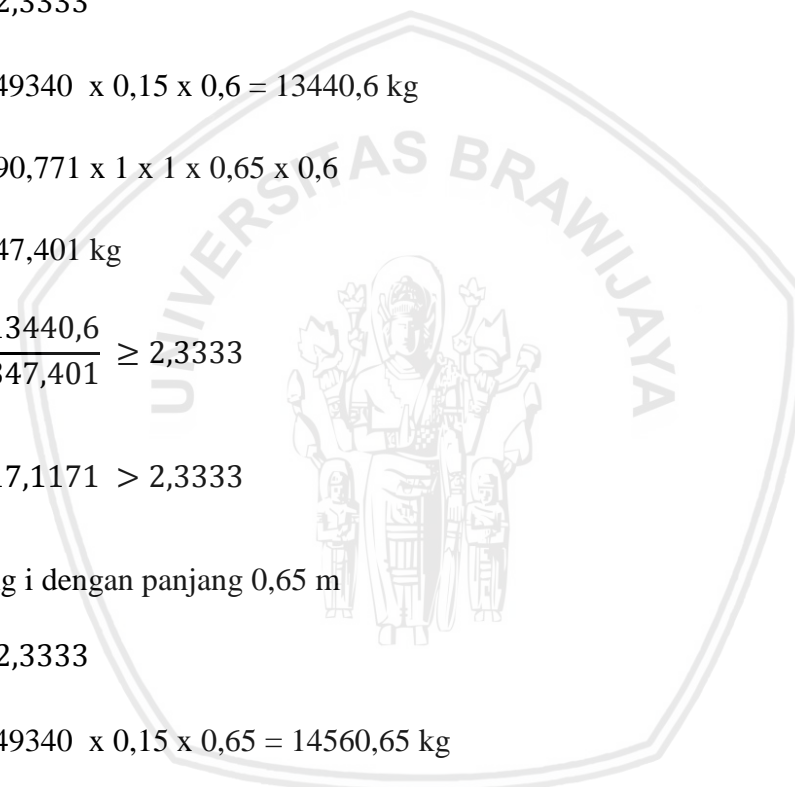
$$P_U = 1737,004 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14560,65}{1737,004} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,1171 > 2,3333$$

- Dinding j dengan panjang 0,875 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$



$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,875 = 19600,88 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1 \times 3,5 \times 0,875$$

$$P_U = 2727,987 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{19600,88}{2727,987} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,185 > 2,3333$$

- Dinding k dengan panjang 0,875 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,875 = 19600,88 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 3,5 \times 0,875$$

$$P_U = 2727,987 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{19600,88}{2727,987} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,185 > 2,3333$$

- Dinding l dengan panjang 3,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

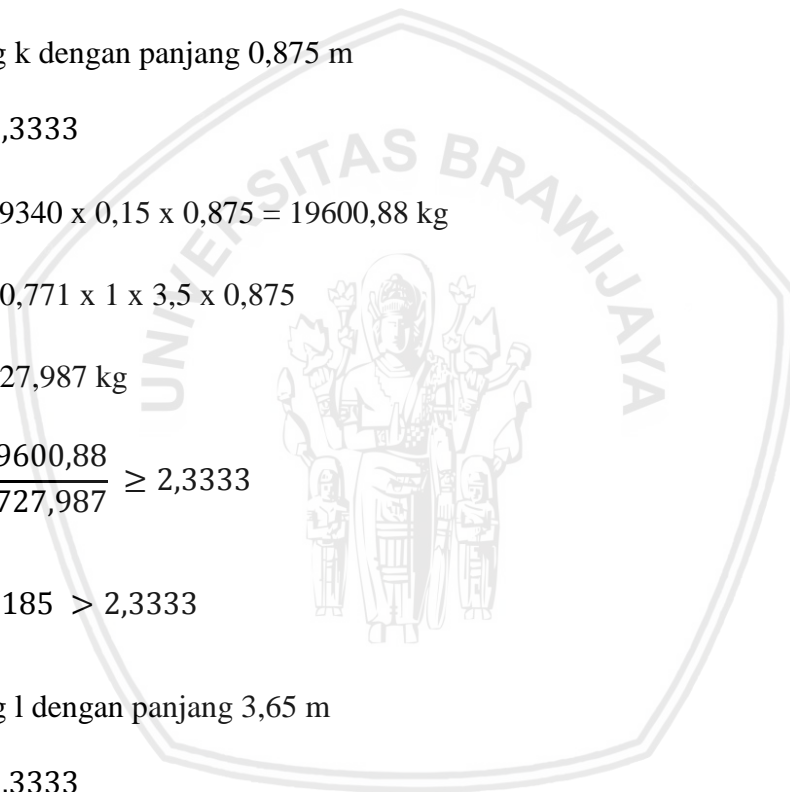
$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,65 = 81763,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 3 \times 3,65$$

$$P_U = 9753,947 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{81763,65}{9753,947} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 8,383 > 2,3333$$



- Dinding m dengan panjang 1,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 1,65 = 36961,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1,75 \times 1,65$$

$$P_U = 2572,102 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{36961,65}{2572,102} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 14,370 > 2,3333$$

- Dinding n dengan panjang 2,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 2,65 = 59362,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 2,5 \times 2,65$$

$$P_U = 5901,36 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{59362,65}{5901,36} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,059 > 2,3333$$

- Dinding o dengan panjang 1,9 m

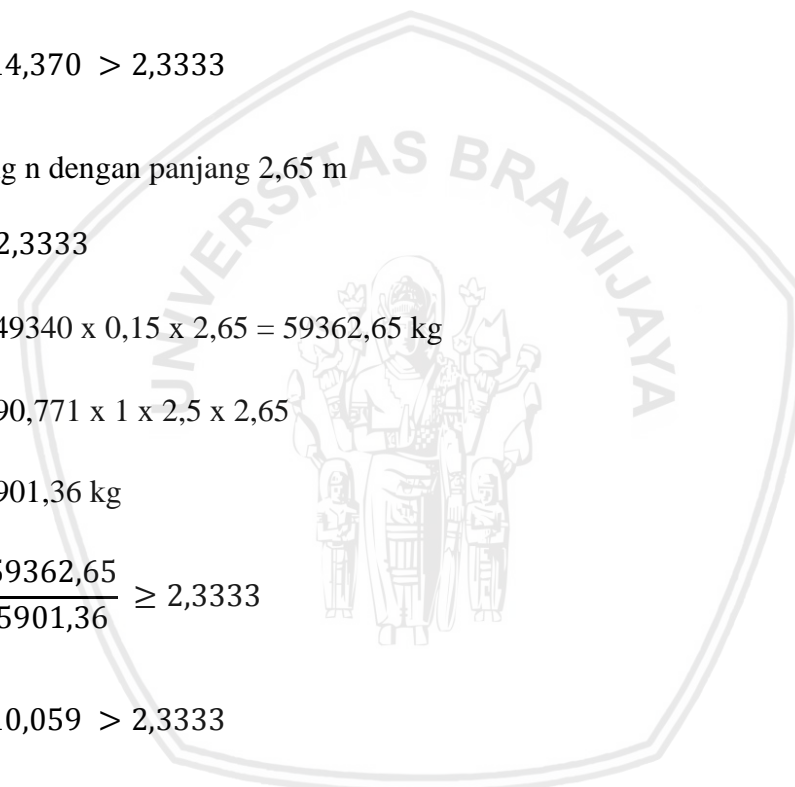
$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 1,9 = 49655,55 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 2,5 \times 1,9$$

$$P_U = 4231,124 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{49655,55}{4231,124} \geq 2,3333$$



$$\frac{P_R}{P_U} = 11,736 > 2,3333$$

- Dinding p dengan panjang 0,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 0,65 = 16987,43 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 1,75 \times 0,65$$

$$P_U = 1013,252 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{16987,43}{1013,252} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 16,765 > 2,3333$$

- Dinding q dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 2,15 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 3,5 \times 2,15$$

$$P_U = 6703,055 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{6703,055} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 8,383 > 2,3333$$

- Dinding r dengan panjang 3,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 3,65 = 95390,93 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 3 \times 3,65$$

$$P_U = 9753,947 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{95390,93}{9753,947} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,780 > 2,3333$$

- Dinding s dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 2,15 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 3 \times 2,15$$

$$P_U = 5745,475 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{5745,475} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,780 > 2,3333$$

- Dinding t dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

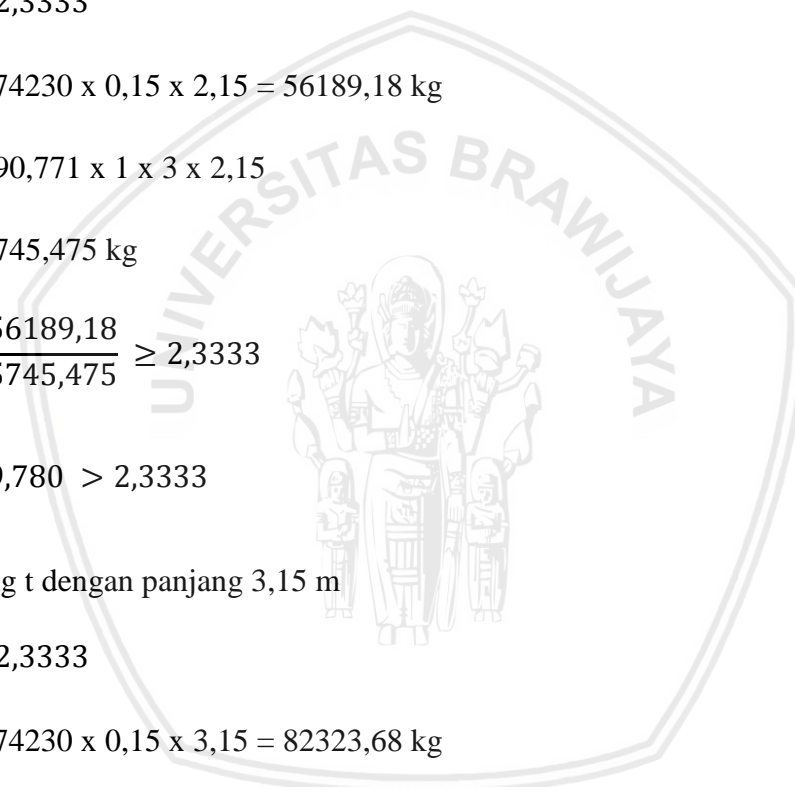
$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 3,15 = 82323,68 \text{ kg}$$

$$P_U = 890,771 \times 1 \times 5 \times 3,15$$

$$P_U = 14029,65 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{82323,68}{14029,65} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 5,868 > 2,3333$$





Berdasarkan hasil dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dengan nilai  $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$  yang terkecil yaitu 5,030 > 2,33 sehingga telah memenuhi kebutuhan.

### 3. Tipe 70

Berdasarkan denah rumah tipe 70 pada *Gambar 4.15*, dapat dihitung nilai dari luas lantai bangunan ( $A_P$ ) dan luas penampang dinding ( $A_W$ ). kerapatan dinding dihitung dari indeks kerapatan dinding,  $d$ .

$$A_P = (3 \times 9.25 + 6 \times 4.25 + 1 \times 1.25 + 3 \times 3 + 3 \times 2.4) = 70,7 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_W = (3 \times 6 + 6 + 1,75 + 1,25) \times 0,15 - (0,85 \times 7 + 0,7 \times 8) \times 0,15 = 2,3175 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Arah y, } A_W &= (4 + 1.75 + 3.5 + 4 + 3.5 + 1.75 + 4 + 3 + 2.4 + 1.5 + 2.75) \times 0,15 - (0,85 \\ &+ 0,7) \times 0,15 \\ &= 4,59 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Indeks kerapatan dinding,  $d$ . Dapat dihitung dari persamaan (2-1):

$$\text{Arah x, } d = \frac{2,3175}{70,7} = 0,0328 = 3,3\%$$

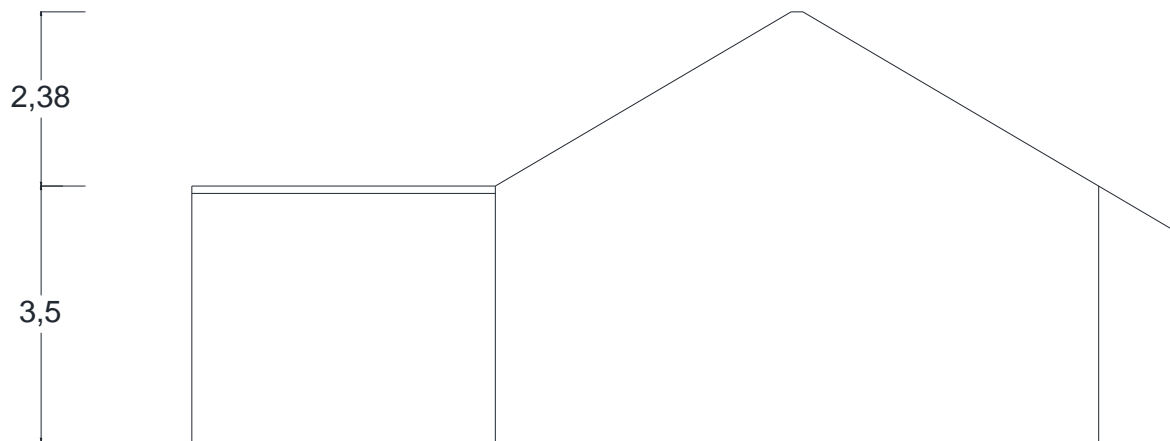
$$\text{Arah y, } d = \frac{4,59}{70,7} = 0,0649 = 6,5\%$$

$$\Sigma d = d_x + d_y = 0,0327 + 0,0649 = 0,0976$$

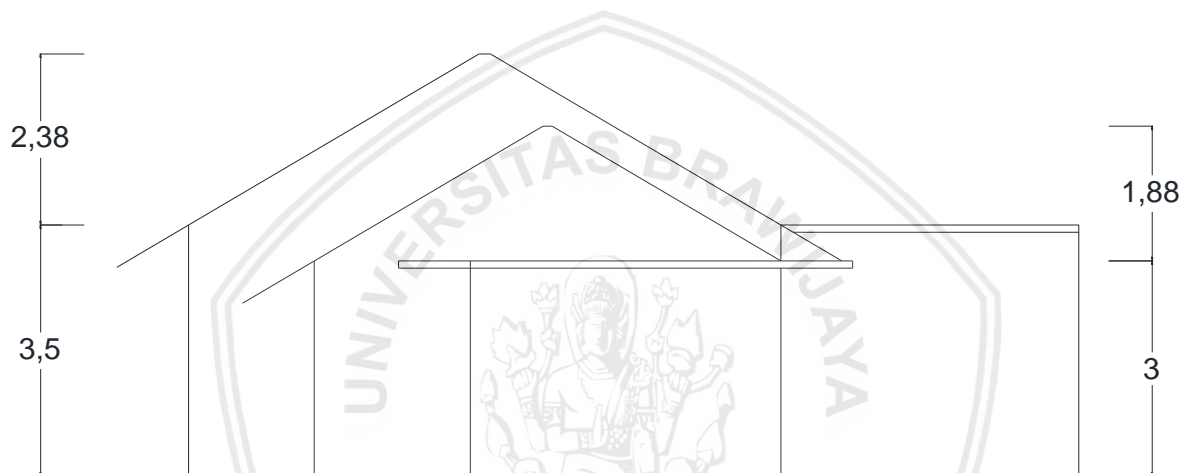
Berdasarkan tabel 2.4, nilai  $d$  untuk kota Malang dengan  $PGA \leq 4$ , harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai  $d$  pada arah x dengan nilai 3,3% > 2,5% dan nilai  $d$  pada arah y dengan nilai 6,5% > 2,5%. Dapat disimpulkan nilai  $d$  pada arah x dan arah y pada rumah tipe 70 telah memenuhi persyaratan indeks kerapatan dinding ( $d$ ) minimum.

#### - Kontrol kapasitas seismik

Pembebanan struktur dalam analisis menggunakan kombinasi pembebanan dari PPIUG 1983. Beban mati pada struktur diperoleh dari berat kolom, balok dan beban mati tambahan lainnya. Beban hidup digunakan berdasarkan fungsi bangunan yaitu sebagai rumah tinggal. Berdasarkan *Gambar 4.25* dapat diketahui tinggi dan luas atapnya



Gambar 4.27. Tampak samping kiri bangunan tipe 70.



Gambar 4.28. Tampak samping kanan bangunan tipe 70.

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok} &= ( 6 + 4 \times 3 + 3,5 + 3 \times 7 + 2,75 + 2,25 + 1,75 \times 4 + 1,5 + 1,35 + 1,25 \times 2 ) \\ &= 60,75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= (10,25 \times 5,25) / \cos 30^\circ + (8,5 \times 4) / \cos 30^\circ + (4 \times 4) + (6,25 \times 1,75) \\ &= 128,3346 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ukuran balok dan kolom = 0,15 x 0,15

Beban hidup pada atap diambil dari beban terbesar antara beban pekerja yang sebesar 100 kg atau beban air dengan persamaan berikut ini dengan kemiringan atap ( $\alpha$ ) adalah  $30^\circ$ .

$$w_{ah} = 40 - 0,8 \alpha$$

$$w_{ah} = 40 - 0,8 (30) = 16 \text{ kg/m}^2$$

Tabel 4.21. Berat Bangunan Tipe 70.

Beban Mati		
1. Balok (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
59,85 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	3231.9 kg
2. Kolom (2400 kg/m <sup>3</sup> )		
(7 x 3 x 0,15 x 0,15 + 16 x 4 x 0,15 x 0,15) x 2400	=	4590 kg
3. Dinding (1700 kg/m <sup>3</sup> )		
(2,85 x 0,15 x 44,25 + 3,85 x 0,15 x 17,35) x 1700	=	49192.05 kg
4. Plafon (18 kg/m <sup>2</sup> )		
70,7 x 18	=	1272.6 kg
5. Atap (50 kg/m <sup>2</sup> )		
(101,3971 x 50) + ((16 x 0,1 + 10,9375 x 0,1) x 2400)	=	11534.86 kg
Total Beban Mati	=	69821.41 kg
Beban Hidup		
1. Atap beban air hujan (Woh=16 kg/m <sup>2</sup> )		
70,7 x 16	=	1131.2 kg
Total Beban Hidup		1131.2 kg
Total Beban per luas lantai bangunan (D + L)	=	70952.61 kg

Perhitungan berat pada Tabel 4.21 didapatkan nilai  $W_T = 70952,61$  kg. Gaya seismik ( $V_u$ ), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 70952,61 = 15136,56 \text{ kg}$$

Gaya geser seismik pada tiap lantai ( $V_R$ ) dihitung untuk tiap arah orthogonal bangunan dengan mengalikan kekuatan dinding geser ( $v$ ) dan total luas efektif dinding ( $A_w$ ). Berdasarkan Meli dkk (2011), nilai  $V_m$  didapat berdasarkan tabel 5 yaitu 2,54 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai  $v$  didapat dari persamaan (2-18) dan nilai  $\sigma_U$  didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{70952,61}{6,9075} = 10271,82 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 25400 + 0,3 \times 10271,82) \leq 1,5 \times 25400$$

$$v = 15781,55 < 38100 \text{ kg/m}^2$$

Setelah mendapatkan nilai  $v$ , kemudian menghitung nilai  $V_R$  dari persamaan (2-17),

$$V_R \text{ untuk arah } x = 15781,55 \times 2,3175 = 36573,73 \text{ kg}$$

$$V_R \text{ untuk arah } y = 15781,55 \times 4,59 = 72437,3 \text{ kg}$$

Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan persamaan (2-15)

$$\text{Untuk arah x, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{36573,73}{15136,56} \geq 1,57$$

$$2,42 > 1,57 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Untuk arah y, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{72437,3}{15136,56} \geq 1,57$$

$$4,79 > 1,57 \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan ( $\sigma_R$ ) dihitung sebagai produk kuat tekan dinding ( $f_m'$ ) dan faktor ( $F_E$ ) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban kelangsingan dinding. Berdasarkan Meli dkk (2011), nilai  $f_m'$  didapat dari tabel 4 sebesar  $15 \text{ kg/cm}^2$ . Bangunan diasumsikan tetap aman apabila terkena gempa dengan persamaan (2-25)

Dimana nilai  $F_E$  dinding interior adalah 0,7 dan nilai  $F_E$  untung dinding eksterior adalah 0,6, sehingga didapat nilai:

Dinding interior :

$$\sigma_R = 0,7 (20,89 + 4) = 17,423 \text{ kg/cm}^2 = 174230 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (20,89 + 4) = 14,934 \text{ kg/cm}^2 = 149340 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{174230}{10271,82} \geq 2,33$$

$$16,962 > 2,33 \text{ (memenuhi)}$$

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{149340}{10271,82} \geq 2,33$$

$$14,539 > 2,33 \text{ (memenuhi)}$$

Selain dari nilai tabel nilai kerapatan dinding (d) dapat dihitung menggunakan persamaan (2-22)

$$d \geq \frac{F_s C_s n w}{v}$$

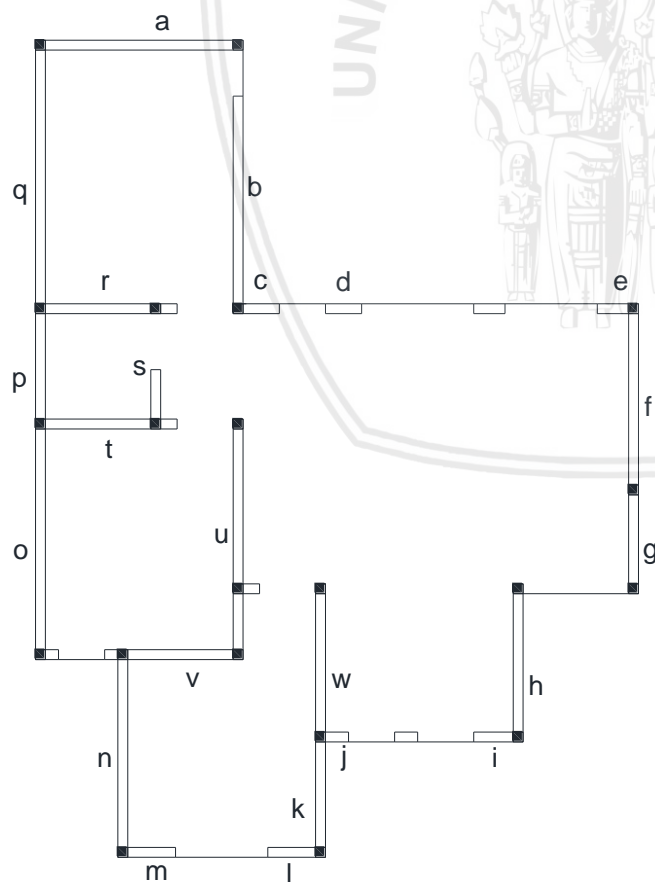
$$dx + dy \geq \frac{Fs . Cs . n . w}{v}$$

$$0,0328 + 0,0649 \geq \frac{1,57 \cdot 0,2133 \cdot 1 \cdot 0,1004}{1,578}$$

$$0,0977 \geq 0,0213$$

$$9,8\% \geq 2,1\% \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol keamanan tiap dinding



Gambar 4.29. Penamaan dinding rumah tipe 70

Beban gravitasi ( $P_U$ ) dihitung dengan mengalikan berat atap/lantai per satuan luas dengan *tributary area* lantai/atap (TA) untuk tiap lantai pada bangunan yang dihitung dengan persamaan 2-29. Kemampuan daya dukung ( $P_R$ ) dihitung dengan persamaan 2-30 dengan mengacu pada *Gambar 4.26* untuk penamaan dindingnya.

- Dinding a dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,15 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 4 \times 3,15$$

$$P_U = 12645,02 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{12645,02} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 5,58 > 2,3333$$

- Dinding b dengan panjang 3,3 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,3 = 73923,3 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 3,3$$

$$P_U = 9935,372 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{73923,3}{9935,372} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding c dengan panjang 0,7 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,7 = 15680,7 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 4,25 \times 0,7$$

$$P_U = 2985,63 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{15680,7}{2985,63} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 5,25 > 2,3333$$

- Dinding d dengan panjang 0,55 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,55 = 12320,55 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 4,25 \times 0,55$$

$$P_U = 2345,852 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{12320,55}{2345,852} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 5,25 > 2,3333$$

- Dinding e dengan panjang 0,625 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,625 = 14000,63 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 4 \times 0,625$$

$$P_U = 2508,932 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{14000,63}{2508,932} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 5,58 > 2,3333$$

- Dinding f dengan panjang 2,9 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 2,9 = 64962,9 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 6 \times 2,9$$

$$P_U = 17462,17 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{64962,9}{17462,17} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 3,72 > 2,3333$$

- Dinding g dengan panjang 1,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 1,65 = 36931,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 6 \times 1,65$$

$$P_U = 9935,372 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{36931,65}{9935,372} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 3,72 > 2,3333$$

- Dinding h dengan panjang 2,4 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 2,4 = 53762,4 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 2,4$$

$$P_U = 7225,725 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{53762,4}{7225,725} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$



- Dinding i dengan panjang 0,75 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,75 = 16800,75 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 2,25 \times 0,75$$

$$P_U = 1693,529 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{16800,75}{1693,529} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,92 > 2,3333$$

- Dinding j dengan panjang 0,5 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,5 = 11200,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 2,25 \times 0,5$$

$$P_U = 1129,02 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{11200,5}{1129,02} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,92 > 2,3333$$

- Dinding k dengan panjang 1,9 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 1,9 = 42561,9 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 1,9$$

$$P_U = 5720,366 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{42561,9}{5720,366} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding l dengan panjang 0,875 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,875 = 19600,88 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 0,875$$

$$P_U = 2634,379 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{19600,88}{2634,379} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding m dengan panjang 0,875 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 0,875 = 19600,88 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 0,875$$

$$P_U = 2634,379 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{19600,88}{2634,379} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding n dengan panjang 3,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,15 = 70563,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 3,15$$

$$P_U = 9483,764 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{70563,15}{9483,764} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding o dengan panjang 3,65 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 3,65 = 81763,65 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 3,65$$

$$P_U = 10989,12 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{81763,65}{10989,12} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding p dengan panjang 1,9 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 1,9 = 42561,9 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 1,75 \times 1,9$$

$$P_U = 3336,88 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{42561,9}{3336,88} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,755 > 2,3333$$

- Dinding q dengan panjang 4,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 149340 \times 0,15 \times 4,15 = 92964,15 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 4,15$$

$$P_U = 12494,48 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{92964,15}{12494,48} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding r dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 2,15 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 4 \times 2,15$$

$$P_U = 8630,727 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{8630,727} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 6,51 > 2,3333$$

- Dinding s dengan panjang 0,9 m

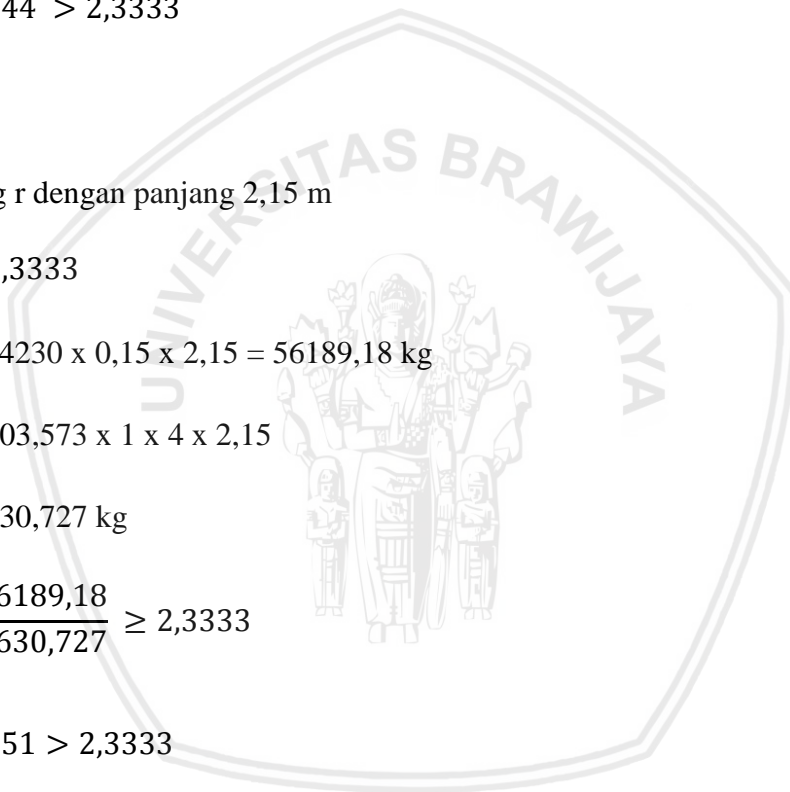
$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 0,9 = 23521,05 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 1,75 \times 0,9$$

$$P_U = 1580,627 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{23521,05}{1580,627} \geq 2,3333$$



$$\frac{P_R}{P_U} = 14,88 > 2,3333$$

- Dinding t dengan panjang 2,15 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 2,15 = 56189,18 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3,5 \times 2,15$$

$$P_U = 7551,886 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{56189,18}{7551,886} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 7,44 > 2,3333$$

- Dinding u dengan panjang 0,9 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 0,9 = 23521,05 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 1,75 \times 0,9$$

$$P_U = 1580,627 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{23521,05}{1580,627} \geq 2,3333$$

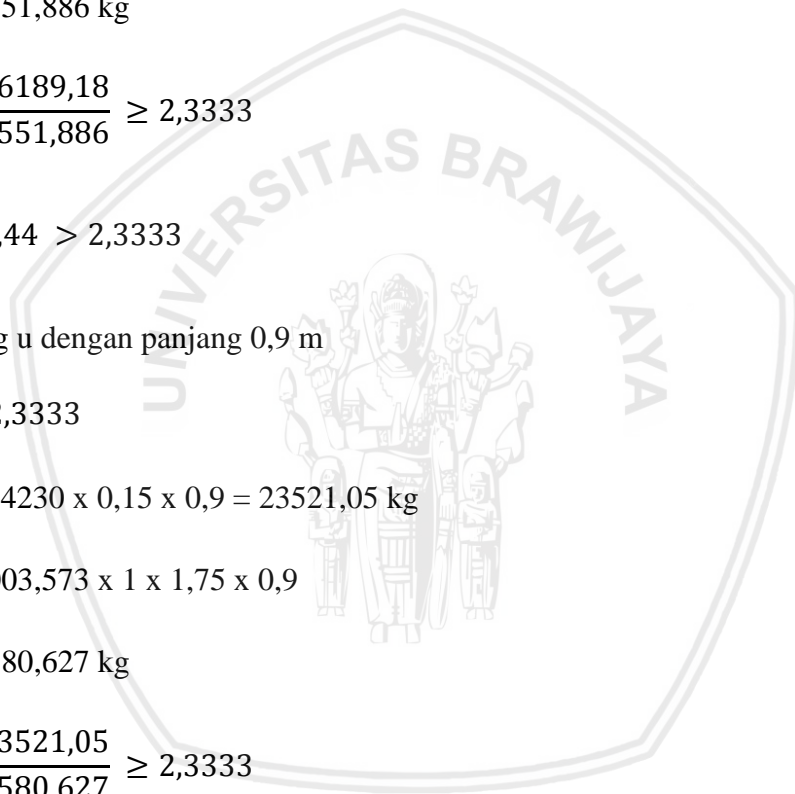
$$\frac{P_R}{P_U} = 14,88 > 2,3333$$

- Dinding v dengan panjang 1,9 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 1,9 = 49655,55 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 1,9$$



$$P_U = 5720,366 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{49655,55}{5720,366} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 8,68 > 2,3333$$

- Dinding w dengan panjang 2,4 m

$$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,3333$$

$$P_R = 174230 \times 0,15 \times 2,4 = 62722,8 \text{ kg}$$

$$P_U = 1003,573 \times 1 \times 3 \times 2,4$$

$$P_U = 7225,725 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{62722,8}{7225,725} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 8,68 > 2,3333$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan dapat diatas disimpulkan bahwa untuk kontrol daya dukung dinding terhadap beban gravitasi, dengan nilai  $\frac{P_R}{P_U} \geq \frac{F_C}{F_R}$  yang terkecil yaitu 3,72 > 2,33 sehingga telah memenuhi kebutuhan.



### 4.3 Pembahasan

Tabel 4.22. Rekapitulasi kapasitas tiap tipe rumah

Parameter		Tipe			Referensi			Keterangan
		54	60	70	BSSSC (2009)	SNI-1726 (2012)	Arya (2013)	
<i>Regularity</i>	$X_p/X$	0,43	0,69	0,66	> 0,15			Bentuk <i>Irregular</i>
	$Y_p/Y$	0,38	0,19	0,36	> 0,15			
Eksentrisitas (m)	$e$	0,86	0,66	1,67		< 2,1; < 2,4; < 2,7		Memenuhi
Rasio panjang dengan lebar	$P/L$	1,14	1	1,36			< 3	Memenuhi
<i>Wall Density Index</i>	$d_x$	3,5%	4%	3,3%			> 2,5%	Memenuhi
	$d_y$	6,5%	5%	6,5%			> 2,5%	
	$\Sigma d$	10%	9%	9,8%			> 1,7%; > 1,9%; > 2,1%	
Kontrol Kemanan Seismik	$V_{Rx}/V_U$	3,19	3,31	2,42			> 1,57	Memenuhi
	$V_{Ry}/V_U$	6,05	4,13	4,79			> 1,57	Memenuhi
Kontrol beban gravitasi	Interior ( $\sigma_R/\sigma_U$ )	22,93	17,66	16,96				Memenuhi
	Eksterior ( $\sigma_R/\sigma_U$ )	19,65	15,13	14,54			> 2,33	
Kontrol daya dukung dinding ( $P_R/P_U$ )		7,37	5,03	3,72			> 2,33	Memenuhi



Berdasarkan *Tabel 4.22* didapatkan hasil bahwa segi bentuk bangunan untuk ketiga tipe rumah semuanya berbentuk *irregular* karena sesuai dengan persyaratan Building Seismic Safety Council (2009) dimana  $\frac{x_p}{X} > 0,15$  dengan rincian untuk tipe 54, tipe 60 dan tipe 70 berturut-turut sebesar  $0,43 > 0,15$ ;  $0,69 > 0,15$ ;  $0,66 > 0,15$ . Untuk  $\frac{y_p}{Y} > 0,15$  dengan rincian untuk tipe 54, tipe 60 dan tipe 70 berturut-turut sebesar  $0,375 > 0,15$ ;  $0,19 > 0,15$ ; dan  $0,33 > 0,15$ .

Sedangkan menurut SNI-1726 (2002), sebaiknya bangunan memiliki nilai pusat massa dengan pusat kekakuan yang berhimpit, sehinggalah nilai eksentrisitas bangunan atau  $e \leq 0,3b$ . Didapat dari hasil analisa, berturut-turut tiap rumah tipe 54, tipe 60 dan tipe 70 memiliki rincian  $0,86 < 2,1$ ;  $0,66 < 2,4$ ; dan  $1,67 < 2,7$ . Jadi pada rumah tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 memiliki nilai eksentrisitas lebih besar dari faktor keamanan yang ditentukan sehingga ketiga tipe rumah dapat mendistribusikan gaya gempa ke dinding-dinding bangunan secara merata.

Dari segi perbandingan panjang dengan lebar yang syaratnya harus kurang dari tiga, sesuai yang tertera pada Arya et al. (2013), dengan syarat  $\frac{p}{l} \leq 3$ . Dengan nilai perbandingan panjang dengan lebar secara berturut-turut untuk tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 sebesar 1,14; 1; dan 1,36. Dapat disimpulkan ketiga tipe rumah tersebut telah memiliki bentuk denah yang tidak terlalu panjang dan dapat berperilaku baik saat terjadi gempa.

Adapun syarat kapasitas ketahanan gempa yang menggunakan metode *Wall Density Index* menurut Meli et al. (2011), nilai *Wall Density Index* ( $d$ ) untuk daerah Malang minimal 2,5% berlaku pada dinding kedua arah ortogonal. Artinya  $d \geq 2,5\%$ . Untuk dinding arah x ( $d_x$ ), nilai  $d_x$  bangunan tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 secara berturut-turut 3,5%; 4%; 3,3%. Kemudian untuk dinding arah y ( $d_y$ ), nilai  $d_y$  rumah tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 secara berturut-turut yakni 6,5%; 5%; dan 6,5%. Demikian ketiga tipe rumah memiliki  $d$  yang telah melebihi nilai minimum yakni 2,5%, sehingga kerapatan dinding masing-masing rumah baik arah x maupun arah y telah memenuhi persyaratan tahan gempa.

Kontrol kapasitas seismik menggunakan *Wall Density Index*, kontrol keamanan geser dinding tiap lantai dengan syarat  $\frac{V_R}{V_U} \geq 1,57$ . Hasil analisa didapat pada tipe 54, tipe 60, 70 secara berturut-turut nilai kapasitas seismik pada arah x sebesar 3,19; 3,31; dan 2,42. Untuk arah y nilai kapasitas seismik secara berturut-turut yakni 6,05; 4,13; dan 4,79. Dengan demikian ketiga tipe rumah dikatakan aman terhadap gaya geser akibat gempa menggunakan metode *Wall Density Index*.

Kontrol *Wall Density Index* terhadap gaya gravitasi ditinjau berdasarkan dinding interior dan eksteriornya dengan syarat  $\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq 2,33$ . Dengan hasil perhitungan didapatkan nilai untuk denah tipe 54, tipe 60, tipe 70 untuk dinding-dinding interior sebesar 22,93; 17,66; dan 16,96. Kemudian pada dinding-dinding eksterior, secara berturut-turut tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 sebesar 19,65; 15,13; dan 14,54. Dengan demikian ketiga bangunan tersebut, memiliki kuat tekan dinding terhadap beban gravitasi yang telah memenuhi syarat keamanan terhadap gempa.

Adapun kontrol daya dukung pada setiap dinding yang ditinjau pada dinding paling kritis, dengan syarat  $\frac{P_R}{P_U} \geq 2,33$ , didapatkan nilai secara berturut-turut untuk tipe 54, tipe 60, tipe 70 sebesar 6,9; 5,0 dan 3,72 Dengan syarat  $\frac{P_R}{P_U} \geq 2,33$  maka tiap dinding kritis pada semua tipe rumah tersebut, telah memenuhi persyaratan tahan gempa.

Berdasarkan syarat-syarat kapasitas desain maupun kapasitas dinding bangunan, didapatkan kontrol kapasitas seismik dinding bangunan dengan  $\frac{V_R}{V_U} \geq 1,57$  dengan masing - masing tipe rumah secara berturut sebesar 3,19; 3,31; dan 2,42 menjadi penentu utama agar bangunan bangunan tidak hancur sepenuhnya saat terjadi gempa. Alasannya nilai keamanan kuat geser dinding memiliki nilai faktor keamanan terkecil dari semua persyaratan kapasitas ketahanan gempa lainnya.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kapasitas ketahanan tahan gempa pada rumah tinggal tipe 54, tipe 60, dan tipe 70 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas desain tiap bangunan:
  - a. Semua tipe rumah yang diteliti tidak memenuhi persyaratan bangunan dengan bentuk yang teratur (*regular*) maka berpengaruh buruk pada perilaku bangunan saat terjadi gempa, yakni timbulnya efek torsi.
  - b. Tiap tipe rumah memiliki nilai eksentrisitas antara pusat massa dengan pusat kekakuan bangunan yang masih berhimpit, dalam batas toleransi. Oleh karena itu gaya gempa dapat terdistribusi secara merata pada dinding.
  - c. Rasio panjang dengan lebar bangunan tiap tipe rumah telah memenuhi faktor keamanan yang disyaratkan, maka dengan bentuk bangunan yang tidak terlalu panjang, bangunan akan berperilaku baik saat terjadi gempa.
  - d. Tiap tipe rumah secara keseluruhan memiliki bentuk denah yang tidak simetris terhadap kedua arah sumbunya, sehingga bentuk asimetris menyebabkan torsi saat terjadi gempa.
2. Kapasitas desain tiap bangunan:
  - a. Berdasarkan hasil analisis, tipe rumah 54, 60, dan 70 memiliki nilai Wall Density Index yang lebih besar dari nilai minimum yang diisyaratkan, baik pengaruhnya dari gaya gempa maupun terhadap gaya gravitasi.
  - b. Dari hasil perhitungan nilai kuat geser seismik tiap lantai semua tipe rumah mampu menahan besar gempa pada kedua arah ortogonal denah bangunan.
  - c. Nilai kuat tekan dinding-dinding setiap tipe rumah memiliki nilai yang lebih besar nilai faktor keamanan yang disyaratkan, maka dinding mampu menahan kuat tekan berat bangunan (beban gravitasi) itu sendiri.
  - d. Hasil analisa setiap dinding mampu menahan beban gravitasi yang diterima dinding, karena nilai daya dukung tiap dinding per beban gravitasi lebih besar dari faktor keamanan yang disyaratkan.

## 5.2 Saran

Adapun kajian untuk selanjutnya adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisa dengan menggunakan atap yang berperan sebagai diafragma fleksibel.
2. Perlunya analisis lebih lanjut dalam pengaruh eksentrisitas terhadap dinding yang diakibatkan gaya gempa.
3. Diperlukan analisis pada bangunan rumah tinggal dua lantai agar dapat ditentukan kapasitas penentunya.





**DAFTAR PUSTAKA**

- Arya, Anand S., Boen, T., Ishiyama, Y. 2013. *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. Paris: UNESCO.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *SNI-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. *SNI-2094-2000 Bata Merah Pejal untuk Pasangan Dinding*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Boen, T., dkk. 2010. *Cara Memperbaiki Bangunan Sederhana yang Rusak Akibat Gempa Bumi*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Boen, T., Pribadi, Krishna S. 2018. *Engineering the Non-Engineered Houses for Better Earthquake Resistance in Indonesia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Brzev, S., Meli, R. 2012. *International Guideline for Seismic Design of Low-Rise Confined Masonry Buildings in Regions of High Seismic Risk*. Burnaby: British Columbia Institute of Technology.
- Building Seismic Safety Council. 2009. *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*. Washington, D.C.: Building Seismic Safety Council of the National Institute of Building Sciences.
- Collins, Lizzie B., et al. 2017. *Build Change, AARGI, and EERI Earthquake Reconnaissance Report: M6.5 Pidie Jaya Earthquake, Aceh, Indonesia on December 7, 2016*. Oakland: Earthquake Engineering Research Institute.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Meli, R., dkk. 2011. *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry Buildings*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority.
- Pengertian Gempa Bumi. <https://karyapemuda.com/pengertian-gempa-bumi/>. (Diakses 30 Januari 2019 pukul 20.47 WIB).
- Sunarjo, M., Gunawan, T., Pribadi, S. 2012. *Gempa Bumi*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Widomoko.1995. *Konstruksi Bangunan 1 Dasar-Dasar Perencanaan dan Bangunan Tidak Bertingkat*. Malang: Institut Teknologi Nasional.

Wisnumurti, Dewi, Sri M., Soehardjono MD, A., 2013. Investigation of Elasticity, Compression, and Shear Strength of Masonry Wall from Indonesia Clay Brick. Malang: Universitas Brawijaya.







**LAMPIRAN****A. Kuat geser dinding,  $V_m$** 

Lokasi	Basic shear strength ( $V_m$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )
Gondanglegi Malang	2,54
Tulungagung	1,69
Kediri	4,03
Mojokerto	1,46

**B. Kuat tekan dinding,  $f_m'$** 

Lokasi	Design compressive strength ( $f_m'$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )
Gondanglegi Malang	20,89
Tulungagung	19,97
Kediri	18,24
Mojokerto	12,55