

LEMBAR PENGESAHAN
KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH TINGGAL 1
LANTAI DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN METODE
WALL DENSITY INDEX

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DEWA ASENDA
NIM. 135060100111012

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 30 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT
NIP. 19560412 198303 1005

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

LEMBAR PENGESAHAN
KAPASITAS KETAHANAN GEMPA RUMAH TINGGAL 1
LANTAI DI KOTA MALANG MENGGUNAKAN METODE
WALL DENSITY INDEX

NASKAH PUBLIKASI

TEKNIK SIPIL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DEWA ASENDA
NIM. 135060100111012

Naskah publikasi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 30 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT
NIP. 19560412 198303 1005

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi:

Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 1 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode *Wall Density Index*

Nama Mahasiswa : Dewa Asenda

NIM : 135060100111012

Program Studi : Teknik Sipil

Tim Dosen Penguji:

Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT.

Dosen Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT.

Tanggal Ujian : 18 Januari 2018

SK Penguji : 132/UN10.F07/SK/2018

LEMBAR 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 dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini terbukti bahwa terdapat unsur-unsur plagiaris, saya sanggup menerima hukuman / sanksi apapun, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Januari 2018

Mahasiswa,

Dewa Asenda

NIM. 135060100111012

RIWAYAT HIDUP

Dewa Asenda lahir di Malang tanggal 11 Agustus 1995. Anak kedua dari Bapak Agung Sugiono dan Ibu Endah Harjoety. Menjalani pendidikan SD (Sekolah Dasar) di SDN Ciptomulyo 1, pada tahun 2001. Setelah itu SMP (Sekolah Menengah Pertama) di SMPN 8 Malang, dan lulus pada tahun 2010. Menjalani pendidikan SMA (Sekolah Menengah Atas) di SMAN 2 Malang, lulus pada tahun 2013.

Menyelesaikan S1 Teknik Sipil di Universitas Brawijaya pada tahun 2018. Selama kuliah aktif berpartisipasi dalam berbagai kegiatan kepanitiaan yang diselenggarakan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

Malang, Januari 2018

Penulis

Skripsi ini dipersembahkan untuk keluarga saya.

Kepada keluarga tersayang, Endah Harjoety dan Dara Eginda, yang telah merawat, memberi kasih sayang dan mendidik dari kecil hingga saat ini agar menjadi pribadi yang lebih baik serta senantiasa memberikan doa dan dukungannya.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya di berbagai kesempatan dalam penyelesaian tugas akhir yang berjudul “**Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 1 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode Wall Density Index**” sebagai persyaratan untuk menyelesaikan studi S1 di jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan maksimal tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT, and bapak Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT, sebagai dosen pembimbing yang memberi masukan dalam penulisan tugas akhir
3. Ibu tercinta Endah Harjoety, kakak tersayang Dara Eginda dan keluarga yang telah melimpahkan berbagai macam dukungan hingga saat ini
4. Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil yang telah memberikan saran dan masukan selama masa perkuliahan
5. Kelompok “EZ” (Ayu, Bondan, Emi, Erick, Fachreza, Gunawan, Hanna, Iqbal, Louce dan Yiyin) yang selalu menemani dan memberi dukungan tanpa henti
6. Andarini Puspita yang selalu memberikan doa dan dukungannya
7. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah membantu selama masa perkuliahan.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penelitian-penelitian selanjutnya. Untuk kesempurnaan tugas akhir ini, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Analisis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Gempa Bumi	5
2.2.1 Jenis-jenis gempa bumi	5
2.2.2 Kerusakan akibat gempa bumi pada bangunan	6
2.3 Perencanaan dan Desain Umum	6
2.4 Komponen Bangunan.....	11
2.4.1 Dinding	11
2.4.2 Komponen pengikat (kolom dan balok)	16
2.4.3 Kontruksi pondasi dan sloof	20
2.5 Perhitungan Beban Gempa.....	21
2.5.1 Gaya lateral ekuivalen	23
2.6 Metode Sederhana untuk Perhitungan Kerapatan Dinding	24

2.6.1 Kontrol kapasitas seismik menggunakan <i>Wall Density Index</i>	24
2.6.2 Kebutuhan kerapatan dinding terhadap beban gravitasi	26
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Data Umum Bangunan Rumah Tinggal	31
3.2 <i>Preliminary Design</i>	31
3.3 Langkah-langkah Analisis Struktur.....	36
3.4 Diagram Alir Analisis	37
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Desain Struktur Bangunan.....	39
4.1.1 Bentuk bangunan	39
4.1.2 Bangunan tidak boleh terlalu panjang.....	41
4.1.3 Distribusi dinding simetris dan merata	42
4.2 Analisis Perhitungan.....	57
4.2.1 Perhitungan gaya gempa	57
4.2.2 <i>Wall Density Index</i>	60
4.3 Pembahasan	84
BAB V PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan.....	87
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 1.1	Data penduduk di kota Malang 2015	3
Tabel 2.1	Pemisahan struktur pada bangunan <i>irregular</i>	8
Tabel 2.2	Ukuran bata merah	12
Tabel 2.3	Kuat tekan bata merah	12
Tabel 2.4	Indeks kerapatan dinding d (%) untuk setiap arah dari rencana bangunan .	13
Tabel 2.5	Koefisien situs, F_a	22
Tabel 2.6	Koefisien situs, F_v	22
Tabel 2.7	Kuat geser dinding, v_m	25
Tabel 2.8	Kuat tekan dinding, f_m'	27
Tabel 2.9	Maksimum rasio B/t untuk sistem pelat dua arah	30
Tabel 4.1	Massa daerah 1 denah tipe 40	43
Tabel 4.2	Massa daerah 2 denah tipe 40	44
Tabel 4.3	Pusat massa denah tipe 40.....	44
Tabel 4.4	Pusat kekakuan dinding denah tipe 40.....	45
Tabel 4.5	Massa daerah 1 denah tipe 45	48
Tabel 4.6	Massa daerah 2 denah tipe 45	49
Tabel 4.7	Massa daerah 3 denah tipe 45	49
Tabel 4.8	Massa daerah 4 denah tipe 45	49
Tabel 4.9	Pusat massa denah tipe 45.....	50
Tabel 4.10	Pusat kekakuan dinding denah tipe 45	51
Tabel 4.11	Massa daerah 1 denah tipe 65	53
Tabel 4.12	Massa daerah 2 denah tipe 65	54
Tabel 4.13	Massa daerah 3 denah tipe 65	54
Tabel 4.14	Pusat massa denah tipe 65.....	54
Tabel 4.15	Pusat kekakuan dinding denah tipe 65.....	56
Tabel 4.16	Berat per satuan luas	62
Tabel 4.17	Berat per satuan luas	70
Tabel 4.18	Berat per satuan luas	77
Tabel 4.19	Perbandingan 3 tipe bangunan	84

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Peta kegempaan Indonesia.....	2
Gambar 2.1	Perencanaan bangunan <i>regular</i>	7
Gambar 2.2	Kriteria denah <i>irregular</i>	8
Gambar 2.3	Perbandingan panjang dan lebar bangunan	9
Gambar 2.4	<i>Layout</i> bangunan	9
Gambar 2.5	Rencana distribusi dinding	10
Gambar 2.6	Dinding menerus antar tingkat	10
Gambar 2.7	Lokasi bukaan pada bangunan.....	11
Gambar 2.8	Kebutuhan untuk “bangunan sederhana”	14
Gambar 2.9	Dinding <i>gable</i> : a) pembatasan elemen beton, dan b) panel <i>gable</i> ringan.	15
Gambar 2.10	<i>Toothing</i> pada dinding: a) <i>machine-made hollow unit</i> , b) <i>hand-made solid unit</i> , dan c) ketentuan tulangan horizontal ketika <i>toothing</i> tidak memungkinkan.....	16
Gambar 2.11	Rekomendasi ikatan bangunan non struktur tahan gempa.	17
Gambar 2.12	Lokasi kolom	17
Gambar 2.13	Konstruksi balok: a) simpangan dinding; b) Ketentuan kait pada tulangan longitudinal	18
Gambar 2.14	Detail tulangan balok	18
Gambar 2.15	Kait tulangan longitudinal kolom dan balok	19
Gambar 2.16	Tambahan pengikat untuk tulangan vertikal pada ujung join kolom dan balok.....	19
Gambar 2.17	Layout dan detail sengkang.....	20
Gambar 2.18	Pengurangan spasi sengkang pada ujung kolom	20
Gambar 2.19	Detail pondasi untuk konstruksi tahan gempa.....	21
Gambar 2.20	Spektrum respons desain	23
Gambar 2.21	Jarak antar tengah dinding	29
Gambar 2.22	<i>Tributary area</i> (TA)	29
Gambar 3.1	Denah rumah tinggal tipe 40	32
Gambar 3.2	Model denah rumah tinggal tipe 40.....	32
Gambar 3.3	Denah rumah tinggal tipe 45	33

No	Judul	Halaman
Gambar 3.4	Model denah rumah tinggal tipe 45.....	34
Gambar 3.5	Denah rumah tinggal tipe 65	35
Gambar 3.6	Model denah rumah tinggal tipe 65.....	36
Gambar 3.7	Diagram alir <i>Wall Density Index</i>	37
Gambar 4.1	Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 40.....	39
Gambar 4.2	Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 45.....	40
Gambar 4.3	Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 65.....	41
Gambar 4.4	Pembagian daerah untuk daerah 1 dan 2 denah tipe 40	42
Gambar 4.5	Denah balok rumah tipe 40	43
Gambar 4.6	Penomoran dinding denah tipe 40	45
Gambar 4.7	Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 40.....	46
Gambar 4.8	Detail eksentrisitas	46
Gambar 4.9	Pembagian daerah untuk daerah 1, 2, 3 dan 4 denah tipe 45	47
Gambar 4.10	Denah balok rumah tipe 45	48
Gambar 4.11	Penomoran dinding denah tipe 45	50
Gambar 4.12	Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 45.....	51
Gambar 4.13	Detail eksentrisitas	52
Gambar 4.14	Pembagian daerah untuk daerah 1, 2 dan 3 denah tipe 65	52
Gambar 4.15	Denah balok rumah tipe 65	53
Gambar 4.16	Penomoran dinding denah tipe 65	55
Gambar 4.17	Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 65.....	57
Gambar 4.18	Detail eksentrisitas	57
Gambar 4.19	S_s , titik hitam lokasi di kota Malang.....	58
Gambar 4.20	S_1 , titik hitam lokasi di kota Malang	58
Gambar 4.21	Tampak samping bangunan tipe 40.....	61
Gambar 4.22	Penamaan dinding rumah tipe 40.....	64
Gambar 4.23	Tampak samping bangunan tipe 45.....	69
Gambar 4.24	Penamaan dinding rumah tipe 45.....	72
Gambar 4.25	Tampak depan bangunan tipe 65.....	76
Gambar 4.26	Penamaan dinding rumah tipe 65.....	79

RINGKASAN

Dewa Asenda, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Kapasitas Ketahanan Gempa Rumah Tinggal 1 Lantai Di Kota Malang Menggunakan Metode Wall Density Index*, Dosen Pembimbing: Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT dan Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT.

Kota Malang sendiri merupakan tempat yang sering terjadi gempa, dikarenakan letak dari kota Malang yang dikelilingi oleh gunung yang masih aktif. Oleh sebab itu, penduduk di wilayah tersebut membutuhkan rumah tinggal yang tahan terhadap gempa sehingga diperlukan kajian terhadap kapasitas ketahanan gempa pada rumah tinggal.

Pada analisis ini dilakukan pemodelan pada rumah 1 lantai yang bertipe 40, 45 dan 65 di kota Malang. Bangunan sederhana tersebut dianalisis untuk mengetahui bentuk desain bangunan dan kemampuan kapasitas ketahanan gempa tiap bangunan yang di analisis. Bentuk bangunan dimodelkan sesuai dengan model denah pada brosur dengan penyerderhanaan yang diperlukan. Analisis ini dikerjakan secara manual dengan menggunakan program Microsoft excel, sedangkan beban gempa ditentukan berdasarkan SNI 1726-2012.

Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah bentuk bangunan memiliki nilai eksentrisitas kecil untuk tipe 40, 45 dan 65 sebesar berturut-turut $0,31 < 0,3b$ (1,8); $0,89 < 0,3b$ (2,1); $0,85 < 0,3b$ (2,475) dan perbandingan panjang dan lebar tidak berturut-turut 1,25; 1,07 dan 1,09 yang berarti tidak terlalu panjang karena syaratnya kurang dari 4. Pada analisis *Wall Density Index* tiap tipe 40, 45 dan 65 secara berturut-turut 5,2%; 4,21% dan 4,18% yang syaratnya harus lebih besar dari 2,5% untuk bangunan 1 lantai. Kontrol kapasitas seismic, kontrol kebutuhan *wall density index* terhadap gaya gravitasi dan kontrol daya dukung dinding berturut-turut yaitu tipe 40 $6,07 > 1,6$, $21,12 > 2,33$ dan $10,28 > 2,33$. Tipe 45 $6,08 > 1,6$, $24,39 > 2,33$ dan $12,82 > 2,33$. Tipe 65 $6,55 > 1,6$, $25,14 > 2,33$ dan $9,81 > 2,33$. Dari hasil perhitungan di dapatkan kesimpulan bahwa untuk semua tipe rumah memenuhi kapasitas ketahanan gempa berdasarkan metode *wall density index*.

Kata kunci: *Wall Density Index*, beban gravitasi, kapasitas ketahanan gempa.

SUMMARY

Dewa Asenda , *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2018, Earthquake Capacity Of One Story Residence In Malang City Using Wall Density Index Method, Supervisor: Dr. Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT, and Prof. Dr. Ir. Agoes SMD, MT.*

Malang city is often experience earthquake, due to due to the location of Malang city surrounded by mountains that are still active. Therefore, the residents of Malang City need earthquake-resistant building, so it is necessary to analyzed earthquake capacity of the building.

In this analysis, the building used residence type 40, 45 and 65 in Malang. The simple buildings is analyzed to find the shape of the building and the earthquake capacity of each building. The building is modeled like the brochure with the simplification as need. This analysis is done manually using Microsoft Excel program, while the earthquake load is de

The results obtained from this analysis are the shape of building still allowed with the value of eccentricity for type 40,45 and 65 as follows $0,31 < 0,3b$ (1,8); $0,89 < 0,3b$ (2,1); $0,85 < 0,3b$ (2,475) and length to width ratio as follows 1,25; 1,07 and 1,09 which should not exceeds 4. The value of wall density index for type 40, 45 and 65 as follows 5,2%, 4,21% and 4,18% should not exceeds 2,5%. The value of seismic safety check, wall density requirements for gravity loads, and load-bearing strength check for critical wall as follows. Type 40 is $6,07 > 1,6$, $21,12 > 2,33$ and $10,28 > 2,33$. Type 45 is $6,08 > 1,6$, $24,39 > 2,33$ and $12,82 > 2,33$. Type 65 is $6,55 > 1,6$, $25,14 > 2,33$ and $9,81 > 2,33$. The conclusion is for all types of the simple building meet the need of the capacity resistance based on wall density index method.

Keywords: Wall Density Index, gravity loads, earthquake capacity

BAB I

PENDAHULUAN

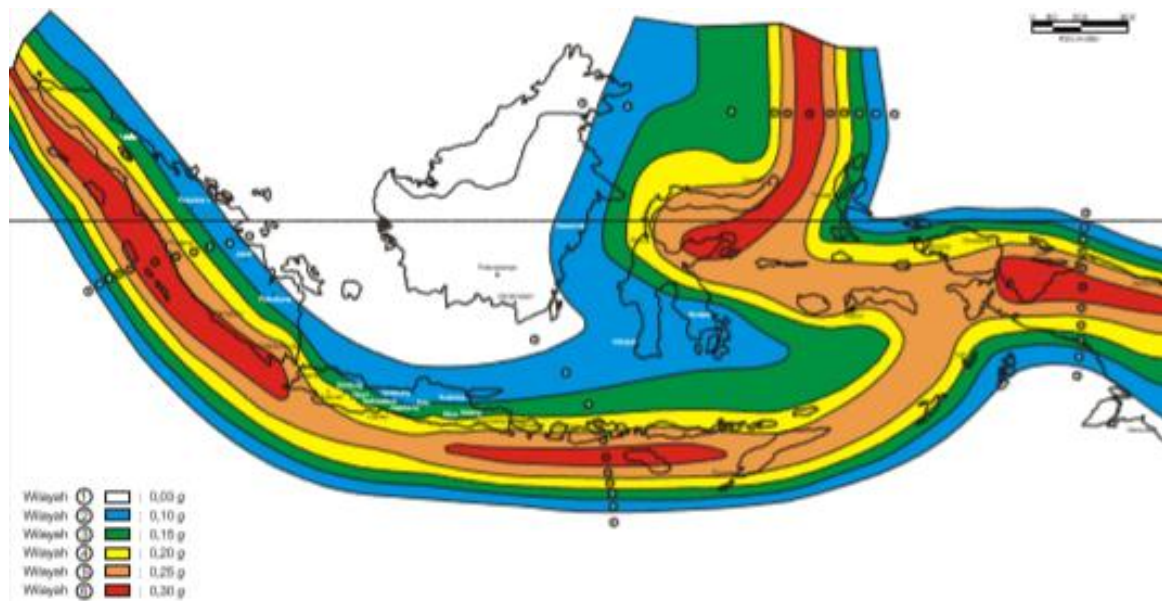
1.1 Latar Belakang

Gempa Bumi adalah ancaman besar bagi penduduk yang berada di dunia. Indonesia adalah negara yang di kelilingi oleh lautan dan memiliki banyak gunung yang masih aktif serta Indonesia mempunyai tingkat gempa yang cukup tinggi, hal tersebut dapat menimbulkan bencana yang lebih besar apabila terjadi gempa bumi seperti terjadinya tsunami. Sehingga gempa bumi adalah suatu gaya alam yang dapat menimbulkan kehancuran serta menyebabkan korban jiwa, korban harta, bahkan dapat mengganggu kestabilan kehidupan ekonomi, sosial, politik di daerah yang terkena gaya alam tersebut.

Pada tanggal 19 Februari 1967 terjadi Gempa Bumi dengan kekuatan 6,2 Skala Richter di Malang yang menyebabkan kerusakan rumah dan bangunan sampai adanya korban jiwa. Kemudian pada tanggal 16 November 2016 terjadi Gempa Bumi dengan kekuatan yang sama dengan pusat gempa dideteksi berada di kedalaman 69 kilometer di 121 kilometer tenggara Malang. Meskipun hal tersebut tidak berpotensi tsunami tetapi gempa tersebut menimbulkan kerusakan pada rumah tinggal.

Dari paparan kejadian Gempa Bumi di atas, dapat di simpulkan bahwa Gempa Bumi yang terjadi di Malang masih menimbulkan kerusakan bangunan rumah tinggal yang ada di Malang. Sehingga hal tersebut mendasari peneliti untuk mengetahui seberapa besar kapasitas bangunan rumah tinggal terhadap Gempa Bumi di Kota Malang. Gempa Bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat di prediksi lokasi dan waktu terhadinya gempa tersebut. Tetapi dengan adanya peraturan SNI peneliti dapat mengetahui seberapa besar gempa yang terjadi di Indonesia terutama di daerah Malang.

Kota Malang sendiri merupakan tempat yang sering terjadi gempa, dikarenakan letak Kota Malang yang dikelilingi oleh beberapa gunung-gunung yang masih aktif yaitu Gunung Arjuno yang berada di sebelah utara, Gunung Semeru yang berada di sebelah timur, Gunung Kawi dan Gunung Panderman yang berada di sebelah barat, serta Gunung Kelud yang berada di sebelah selatan. Serta posisi Kota Malang berada pada perbatasan lempeng tektonik. Sehingga Kota Malang sering terjadi gempa. Seperti terlihat pada *Gambar 1.1* bahwa di Indonesia terutama di Malang sering terjadi gempa.



Gambar 1.1 Peta kegempaan Indonesia

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. SNI-1726.(2002)

Dengan melihat banyaknya aktifitas gempa di Kota Malang serta banyaknya penduduk yang membutuhkan rumah tinggal sehingga diperlukan penelitian terhadap ketahanan gempa pada rumah tinggal untuk mengetahui seberapa besar kapasitas bangunan rumah tinggal terhadap gaya gempa di Kota Malang.

1.2 Identifikasi Masalah

Kebutuhan akan rumah tinggal sangat tinggi di Kota Malang, sehingga meningkatnya pembangunan rumah tinggal di Kota Malang. Peningkatan ini disebabkan karena pertumbuhan penduduk dan banyaknya pendatang dari kota atau negara lain untuk berwisata atau menempa ilmu. Akan tetapi, peningkatan pembangunan tersebut tidak memperkirakan akan resiko gempa yang tinggi di Kota Malang sehingga masih banyak rumah tinggal yang hanya dibangun berdasarkan pengalaman tanpa mengikuti standar yang ada dan meningkatkan resiko kepada masyarakat umum. Penelitian ini akan membahas kapasitas bangunan rumah tinggal terhadap gaya gempa di Kota Malang.

Lokasi penelitian berada salah satu perumahan yang berada di Kota Malang. Pengambilan lokasi penelitian berdasarkan data penduduk Kota Malang yang diambil dari Badan Pusat Statistik Kota Malang pada tahun 2016 yang menunjukkan bahwa jumlah penduduk di Kota Malang sebanyak 883.444 jiwa yang tertera pada *Tabel 1.1*. Di Kota Malang sendiri terdapat 6 kampus besar yaitu Universitas Brawijaya, Universitas Negeri

Malang, Universitas Muhammadiyah Malang, Universitas Islam Negeri, Universitas Islam Malang dan Politeknik Negeri Malang dimana banyak mahasiswa yang tinggal dan menetap sementara dan tidak terhitung dalam sensus penduduk yang di sebabkan mereka para mahasiswa berasal dari kota lain.

Tabel 1.1 Data penduduk di Kota Malang 2016

NO	KECAMATAN	JUMLAH PENDUDUK
1	Blimbing	194.857
2	Klojen	109.950
3	Kedung Kandang	204.918
4	Sukun	203.321
5	Lowokwaru	170.398
JUMLAH		883.444

Sumber : BPS Kota Malang (2016)

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana desain bangunan rumah tinggal tipe 40, tipe 45 dan tipe 65 sehubungan dengan persyaratan gempa?
2. Berapa besar kapasitas ketahanan gempa rumah tinggal tipe 40, tipe 45 dan tipe 65?

1.4 Batasan Masalah

1. Peraturan yang digunakan untuk menganalisis gaya gempa adalah SNI-1726-2012.
2. Lokasi penelitian menggunakan salah satu perumahan di Kota Malang.
3. Struktur dimodelkan sesuai kondisi sesungguhnya dengan penyederhanaan pada elemen sekunder.
4. Bangunan dianggap tidak kopel (tidak saling berhimpitan) dengan bangunan yang lain.
5. Menggunakan metode *Wall Density Index*.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui bentuk desain bangunan rumah tinggal tipe 40, tipe 45 dan tipe 65 sehubungan dengan persyaratan gempa.
2. Mengetahui kapasitas ketahanan gempa rumah tinggal tipe 40, tipe 45 dan tipe 65.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran kepada masyarakat dan pemerintah seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh gaya gempa yang terjadi di Kota Malang.
2. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat sehingga masyarakat dapat mengerti seberapa penting pembangunan rumah tinggal tahan yang tahan gempa.
3. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, pemerintah Kota Malang lebih memperhatikan bangunan rumah tinggal yang tidak layak huni untuk menghindari kerusakan yang lebih besar pada saat terjadi gempa bumi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Rumah sederhana ialah bangunan layak huni yang bagian huniannya berada langsung diatas permukaan tanah, berupa rumah tunggal, rumah kopel dan rumah deret. Harganya terjangkau oleh masyarakat berpenghasilan rendah dan sedang. Luas lantai bangunan tidak melebihi dari 70 m², yang dibangun di atas tanah dengan luas kaveling 54 m² sampai dengan 200 m². (PU, 2006)

2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan lempeng bumi secara tiba-tiba (*sudden slip*). Pergeseran secara tiba-tiba ini terjadi dikarenakan adanya sumber gaya (*force*) sebagai penyebabnya, baik bersumber dari alam maupun dari bantuan manusia. (Suharjanto, 2013)

2.2.1 Jenis-jenis gempa bumi

Secara garis besar gempa bumi dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis, yaitu:

1. Gempa bumi vulkanik

Gempa bumi yang terjadi karena adanya aktivitas magma yang terjadi sebelum gunung api meletus. Apabila keaktifan gunung api semakin tinggi maka menyebabkan ledakan dan terjadinya gempa bumi.

2. Gempa bumi tektonik

Gempa bumi yang terjadi karena adanya aktivitas pergerakan lempeng pelat tektonik, yaitu pergeseran lempeng-lempeng tektonik yang terjadi secara tiba-tiba sehingga menyebabkan gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kulit bumi atau kerak bumi dan menimbulkan kerusakan yang dahsyat dan bencana lain seperti Tsunami.

3. Gempa bumi runtuhan

Gempa bumi ini terjadi karena adanya keruntuhan baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Hal tersebut biasanya terjadi pada daerah kapur ataupun daerah pertambangan.

4. Gempa bumi buatan

Gempa bumi ini terjadi karena adanya aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, bom, atau nuklir.

2.2.2 Kerusakan akibat gempa bumi pada bangunan

Saat gempa terjadi, permukaan tanah bawah struktur bangunanlah yang bergetar. Getaran tersebut akan disalurkan ke struktur bangunan di atasnya sehingga memungkinkan terjadinya kerusakan. Kerusakan akibat gempa bumi dibagi menjadi 3 (tiga) jenis yaitu kerusakan non struktural, kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*) dan kerusakan struktur total (*totally collapse*).

1. Kerusakan non struktural

Kerusakan yang terjadi pada elemen non struktural dari bangunan seperti dinding, partisi, jendela, pintu dll akibat getaran gempa.

2. Kerusakan struktur sebagian (*partially collapse*)

Kerusakan yang terjadi pada sebagian elemen struktur akibat gempa dari bangunan seperti kolom, balok, pelat dll, tetapi struktur tidak mengalami keruntuhan total atau masih berdiri.

3. Kerusakan struktur total (*totally collapse*)

Kerusakan yang terjadi pada elemen struktur akibat getaran gempa yang mengakibatkan bangunan mengalami keruntuhan total.

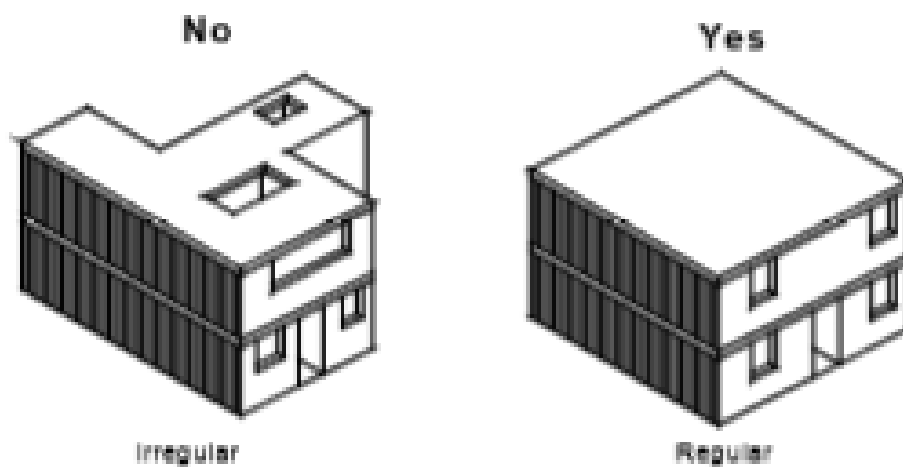
2.3 Perencanaan dan Desain Umum

Dalam perencanaan rumah tinggal tahan gempa, diutamakan keselamatan hidup dengan tujuan kerusakan struktur yang diizinkan akibat gempa bumi, akan tetapi keruntuhan harus dihindari agar penghuni rumah dapat dengan aman mengevakuasi bangunan. Dengan perencanaan dan pelaksanaan yang tepat, rumah tahan gempa dengan kepadatan dinding yang cukup diharapkan tidak terjadi kerusakan akibat gempa bumi sedang.

Berikut ini merupakan solusi agar bangunan tahan terhadap gempa berdasarkan Blondet (2005), Brzev (2008) dan Meli dkk (2011).


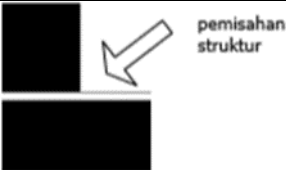






1. Perencanaan bangunan harus dalam bentuk *regular*.

Perencanaan bangunan dianjurkan berbentuk *regular* pada denah. Pada *Gambar 2.1* menunjukkan contoh bangunan *irregular* dan *regular*. Apabila bangunan berbentuk *irregular* maka sebaiknya dilakukan pemisahan seperti *Tabel 2.1*. Berdasarkan Building Seismic Safety Council. (2009), bentuk denah dikatakan *irregular* apabila $\frac{x_p}{x} > 0,15$ dan $\frac{y_p}{y} > 0,15$ seperti pada *Gambar 2.2*.

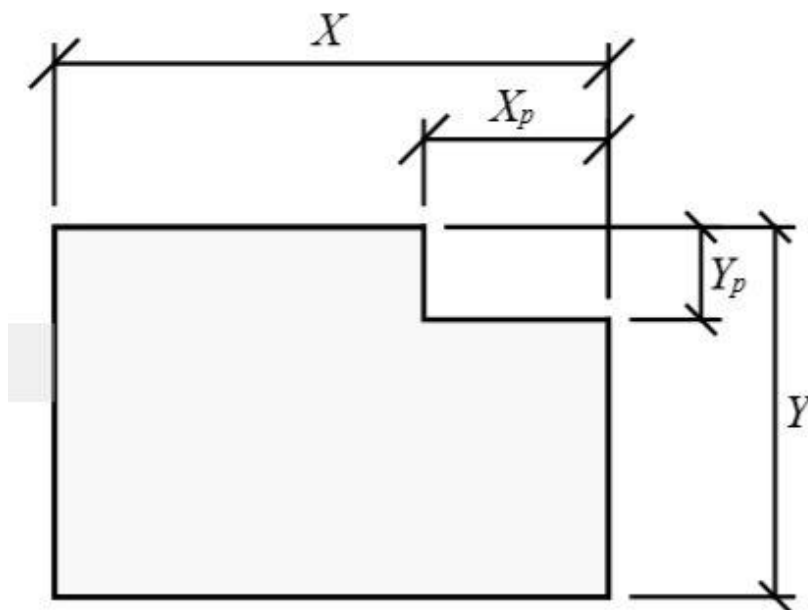


Gambar 2.1. Perencanaan bangunan *regular*.
Sumber : Meli dkk (2011).

Tabel 2.1 Pemisahan struktur pada bangunan *irregular*.

Kurang baik	Sebaiknya
	 pemisahan struktur
	 pemisahan struktur
	 pemisahan struktur
	

Sumber : Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No : 29/PRT/M/2006



Irregular:

$$\frac{X_p}{X} > 0.15$$

and

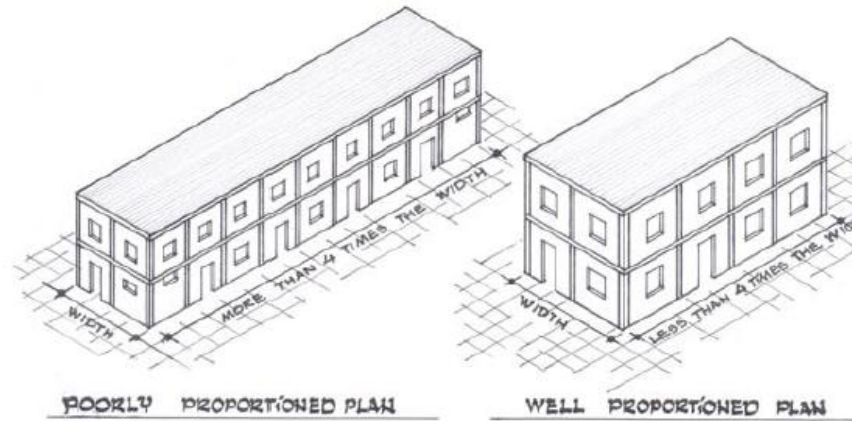
$$\frac{Y_p}{Y} > 0.15$$

Gambar 2.2. Kriteria denah *irregular*.

Sumber : Building Seismic Safety Council. (2009).

2. Bangunan tidak terlalu panjang.

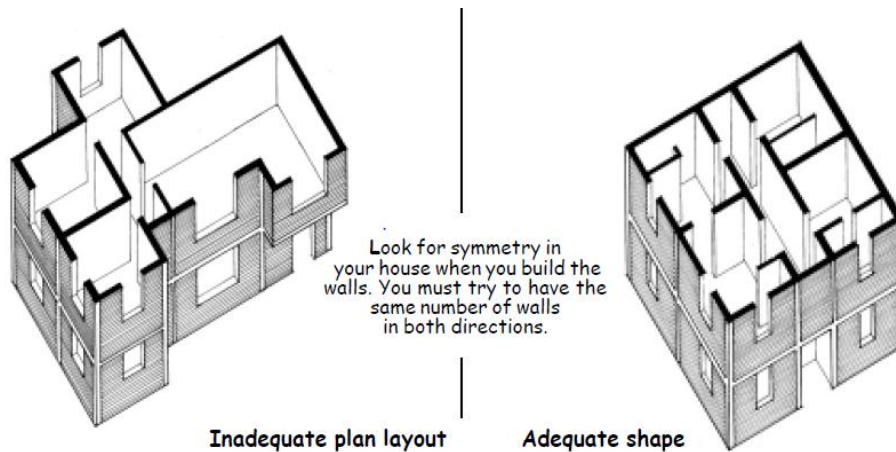
Idealnya, perbandingan dari panjang-lebar tidak melebihi 4. Pada *Gambar 2.3* terdapat contoh perencanaan panjang bangunan yang tidak baik dan perencanaan panjang bangunan yang baik.



Gambar 2.3. Perbandingan panjang dan lebar bangunan.
Sumber : Brzev (2008).

3. Dinding simetris

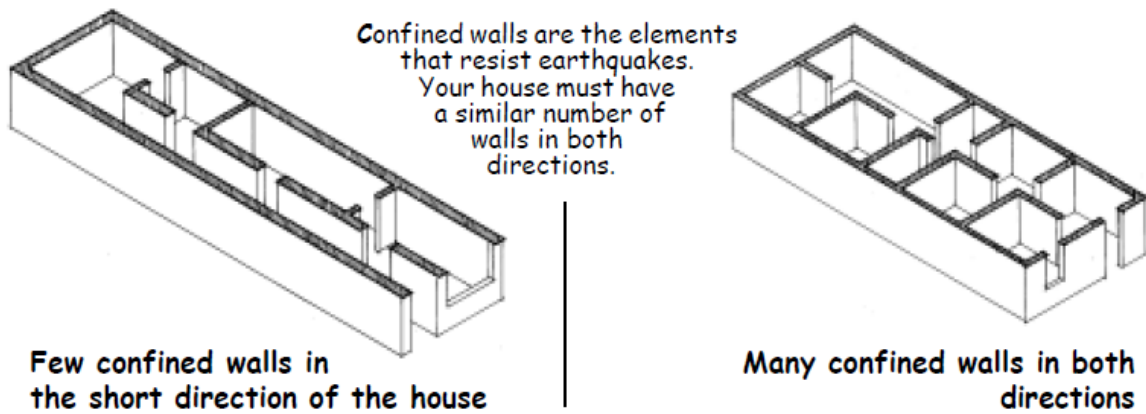
Dinding harus dibangun simetris agar meminimalisir efek torsi. Catatan bahwa letak dinding tidak mungkin selalu simetris sempurna seperti pada *Gambar 2.4* bagian kanan tidak ideal tetapi lebih baik daripada bagian kiri.



Gambar 2.4. Layout bangunan.
Sumber : Blondet (2005).

4. Jumlah dinding pada setiap arah

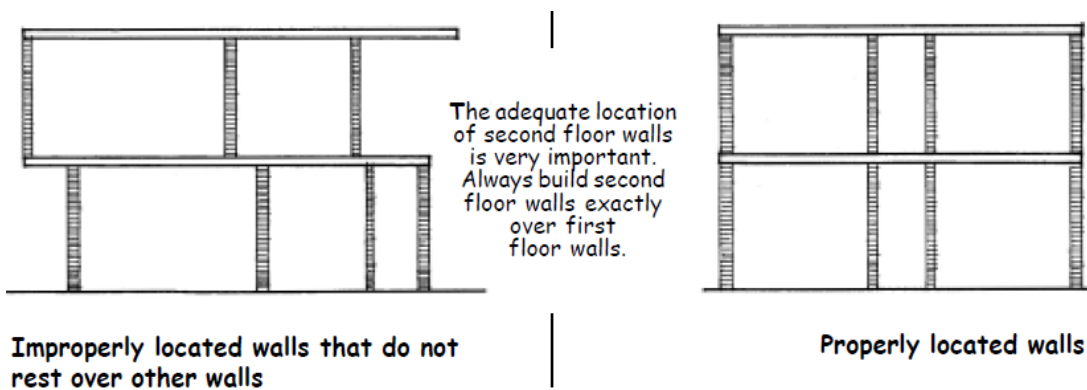
Karena ketahanan bangunan terhadap gempa sebagian besar bergantung pada ketahanan terhadap gaya geser dinding, sehingga jumlah yang memadai dan total panjang dinding berada pada setiap sisi sangatlah penting. Pada *Gambar 2.5* terdapat contoh jumlah dinding yang tidak memadai dan jumlah dinding yang memadai.



Gambar 2.5. Rencana distribusi dinding.
Sumber : Blondet (2005).

5. Dinding menerus

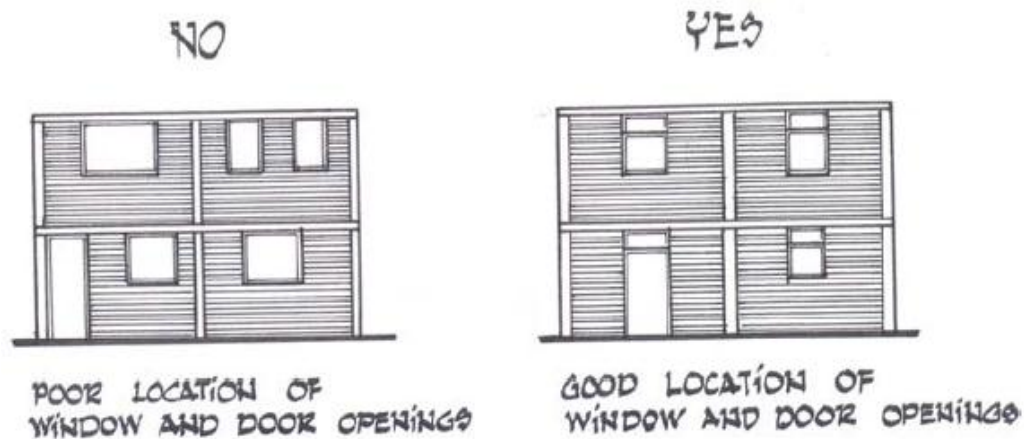
Dinding harus ditempatkan menerus, langsung diatas satu sama lain. Pada *Gambar 2.6* terdapat contoh dinding tidak menerus dan dinding menerus



Gambar 2.6. Dinding menerus antar tingkat.
Sumber : Blondet (2005).

6. Lokasi bukaan

Bukaan (jendela dan pintu) sebaiknya berada di posisi yang sama pada tiap lantai. Pada *Gambar 2.7* terdapat contoh posisi bukaan yang tidak baik dan posisi bukaan yang baik.



Gambar 2.7. Lokasi bukaan pada bangunan.

Sumber : Blondet (2005).

Untuk distribusi dinding, dapat dihitung menggunakan nilai eksentrisitas titik pusat massa terhadap kekakuan dinding. Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila nilai $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$ dengan b adalah lebar bangunan.

2.4 Komponen Bangunan

2.4.1 Dinding

Menurut Widomoko (1995), dinding bangunan yang terbuat dari bata merah dapat dibedakan menjadi dinding struktur dan dinding non struktur. Dinding struktur ialah dinding yang menahan beban bangunan yang biasanya terletak dengan tepi kuda-kuda menumpu pada dinding.

Di Indonesia, dinding biasanya terbuat dari bata merah. Menurut Frick (1980), Bata merah sendiri dibuat dari tanah liat, sekam padi, kotoran binatang, air dan pasir/semen merah yang diproduksi *home industry* oleh masyarakat.

Bata merah memiliki persyaratan dengan bata merah harus mempunyai rusuk rusuk yang tajam dan siku 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 juga harus memiliki ukuran dan kuat tekan standar seperti pada tabel berikut (Frick, 1980).

Tabel 2.2. Ukuran bata merah

Ukuran	Jenis besar	Jenis kecil	Toleransi
Panjang	240 mm	230 mm	± 3%. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 10 mm
Lebar	115 mm	110 mm	± 4%. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 5 mm
Tebal	52 mm	50 mm	± 5%. Selisih ukuran terbesar dan terkecil maksimum 4 mm

Sumber : Frick (1980).

Tabel 2.3. Kuat tekan bata merah

Mutu bata merah	Kuat tekan rata-rata
Tingkat I (satu) tidak ada yang menyimpang	> 10 N/mm ²
Tingkat II (dua) satu buah dari sepuluh benda percobaan	10-8 N/mm ²
Tingkat III (tiga) dua buah dari sepuluh benda percobaan	8-6 N/mm ²

Sumber : Frick (1980).

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 adalah luas pelat lantai bangunan, dan

A_w adalah 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

Number of stories <i>n</i>	Bahaya seismik				
	Rendah (PGA ^a ≤ 0,08 g ^b)	Sedang (PGA ^a ≤ 0,25 g ^b)		Tinggi (PGA ^a ≤ 0,4 g ^b)	
	Jenis tanah A, B, atau C ^c	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 dkk (2011)

Keterangan:

^a adalah *peak ground acceleration*

^b adalah gal

^c adalah tipe tanah : A adalah batuan atau *firm soil*

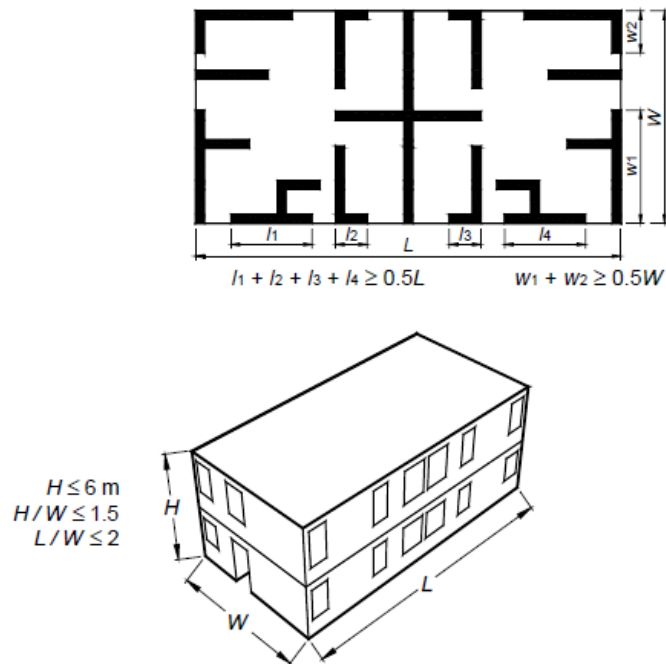
B adalah *compact granular soil*

C adalah *soft clay* atau *soft sand*

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

1. Persyaratan umum:
 - a. Rencana bangunan seragam (luas yang sama) atas tinggi gedung
 - b. *Layout* dinding simetris pada kedua arah ortogonal atas tinggi gedung
 - c. Eksterior dinding meluas minimal 50% dari panjang tiap ujung gedung pada tiap lantai
 - d. Minimal 75% berat bangunan didukung oleh dinding yang tahan gempa
2. Dimensi bangunan seperti *Gambar 2.8*:
 - a. Total tinggi bangunan tidak melebihi 6 m ($H \leq 6$)
 - b. Rasio total tinggi dengan lebar bangunan tidak melebihi 1.5 ($H/W \leq 1.5$)
 - c. Rasio panjang dan lebar bangunan tidak melebihi 2 ($L/W \leq 2$)
3. Lantai dan atap sebagai diafragma kaku (tebal minimum beton bertulang 10 cm)
4. 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 2.8. Kebutuhan untuk “bangunan sederhana”.

Sumber : Meli dkk (2011)

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

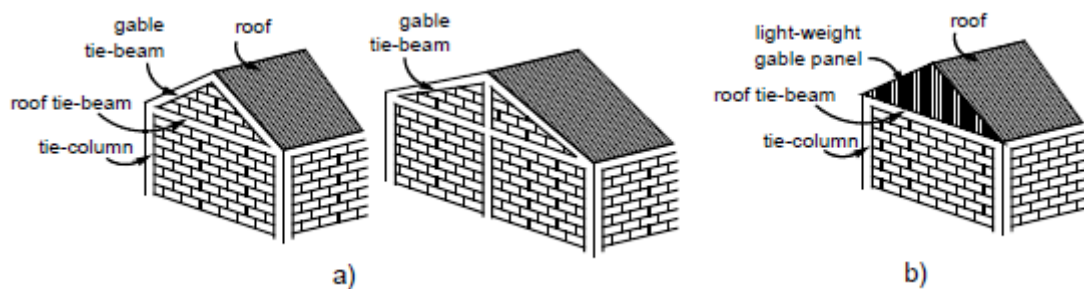
- 6 m pada daerah seismik rendah dan sedang, dan
- 4,5 m pada daerah seismik tinggi.

Dimensi dinding dan pembatasan rasio tinggi/lebar sebagai berikut:

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

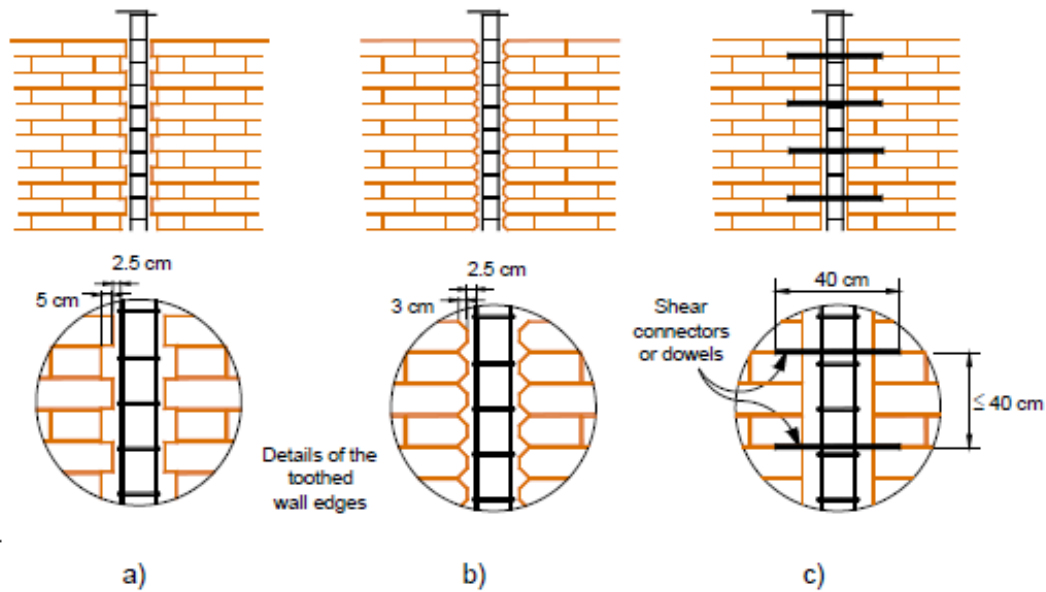
Beton pada kolom dan balok harus memanjang sampai tinggi *parapet* seperti pada *Gambar 2.9*. Apabila *parapet* tidak terikat, tinggi tidak melebihi 0,5 m, atau batas tinggi 1,2 m.

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 2.9*. Alternatif lain, bagian *gable* pada dinding dibuat dari kayu atau material ringan lainnya.



Gambar 2.9. Dinding *gable*: a) pembatasan elemen beton, dan b) panel *gable* ringan.
 Sumber : Meli dkk (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 2.10*. Panjang *toothing* harus sama dengan satu per empat dari panjang unit pasangan bata tetapi tidak kurang dari 5 m seperti pada *Gambar 2.10*. 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 2.10*.



Gambar 2.10. Tothing pada dinding: a) *machine-made hollow unit*, b) *hand-made solid unit*, dan c) ketentuan tulangan horizontal ketika *tothing* tidak memungkinkan.

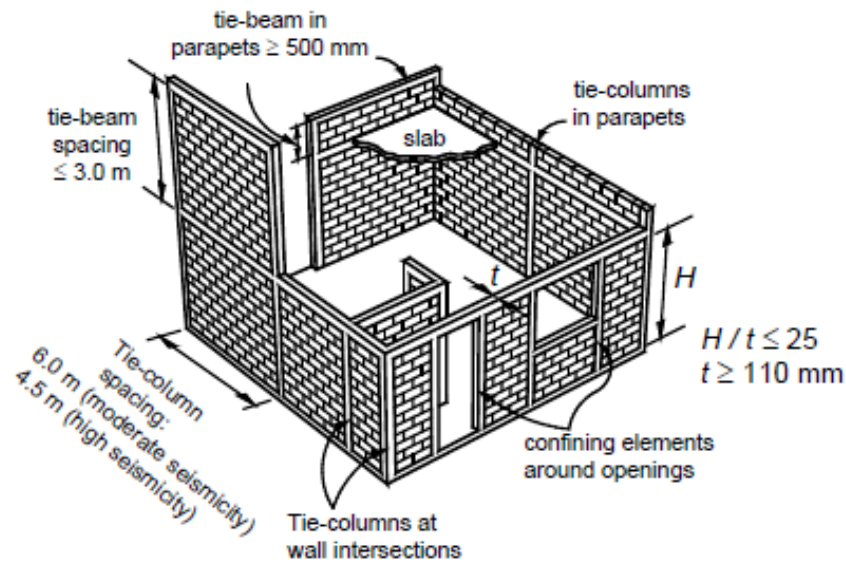
Sumber : Meli dkk (2011)

2.4.2 Komponen pengikat (kolom dan balok)

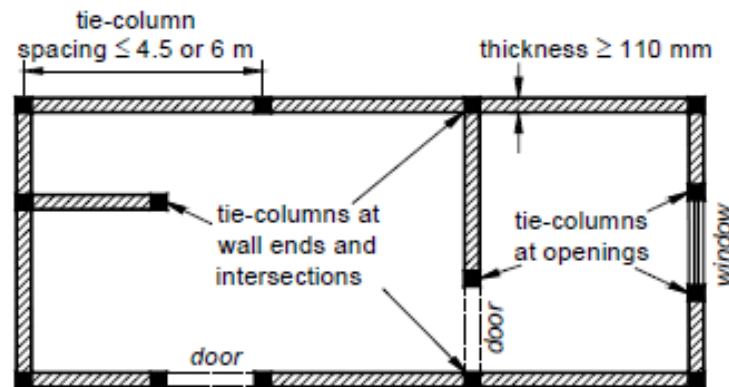
Jarak antar kolom tidak boleh melebihi 4,5 m untuk daerah seismik tinggi dan 6 m untuk daerah seismik sedang. Dimensi untuk dinding adalah 150 mm x tebal dinding. Kolom berada pada lokasi berikut:

1. Pada persimpangan dinding, dan
2. 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 2.11*.

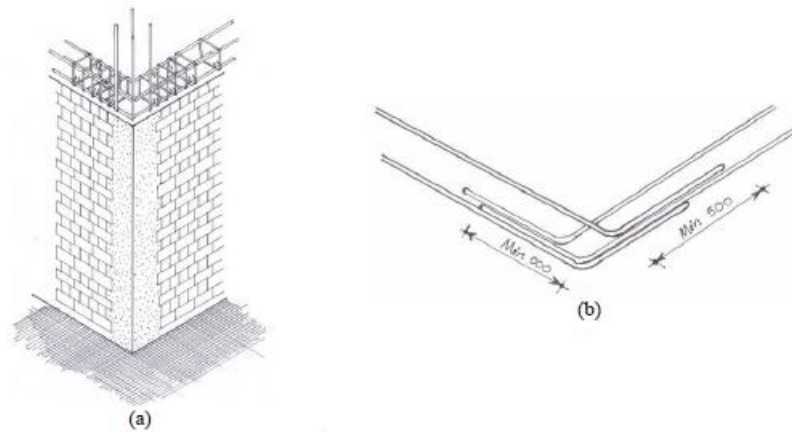


Gambar 2.11. Rekomendasi ikatan bangunan non struktur tahan gempa.
 Sumber : Meli dkk (2011)



Gambar 2.12. Lokasi kolom
 Sumber : Meli dkk (2011)

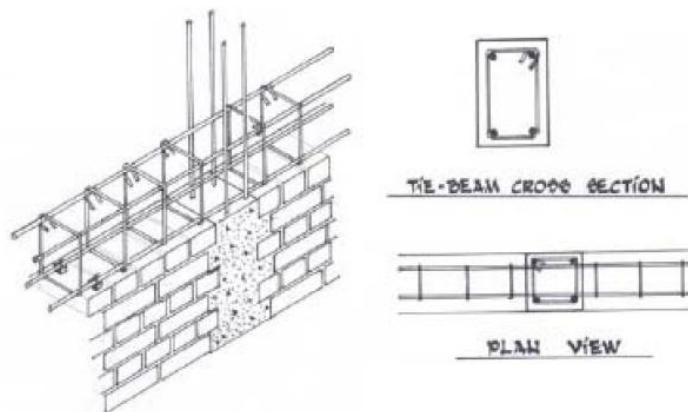
Tulangan kolom dan balok minimal memiliki 4 tulangan dengan ukuran minimum tulangan ulir 10 mm atau 12 mm untuk tulangan polos. Untuk memastikan efektifnya kolom dalam menahan gaya gempa, tulangan harus memiliki kait 90⁰ pada setiap simpangan seperti pada *Gambar 2.13*.



Gambar 2.13. Konstruksi balok: a) simpangan dinding; b) Ketentuan kait pada tulangan longitudinal.

Sumber : Brzev (2008).

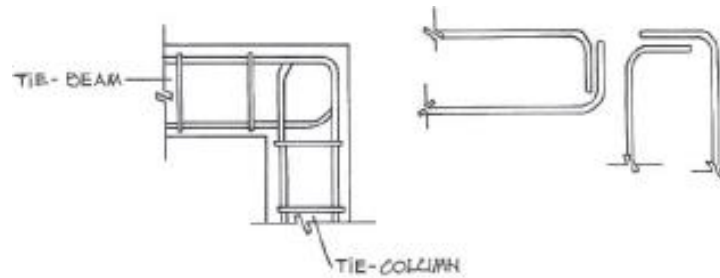
Detail yang benar untuk ikatan kolom-balok dapat menahan gempa pada seluruh bangunan. Pada *Gambar 2.14* menunjukkan detail tulangan pada ikatan balok kolom bagian join.



Gambar 2.14. Detail tulangan balok.

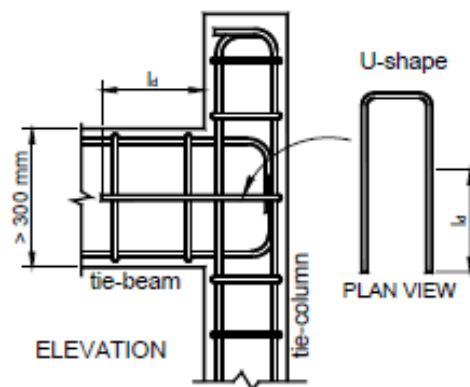
Sumber : Brzev (2008).

Pada atap, sambungan tulangan kolom dan balok dengan mengaitkan 90^0 untuk setiap tulangan balok dan kolom seperti pada *Gambar 2.15*.



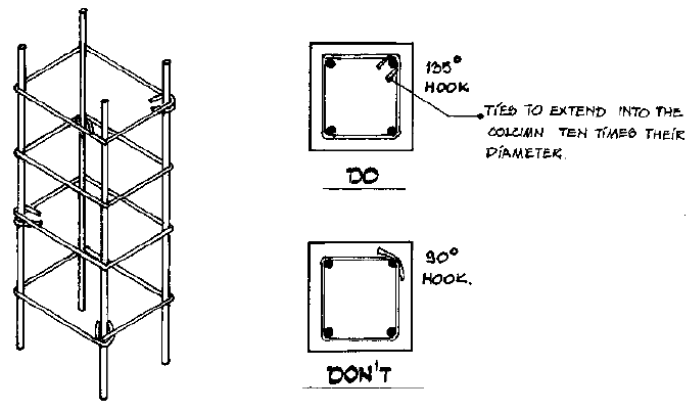
Gambar 2.15. Kait tulangan longitudinal kolom dan balok.
Sumber : Brzev (2008).

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 2.16*.



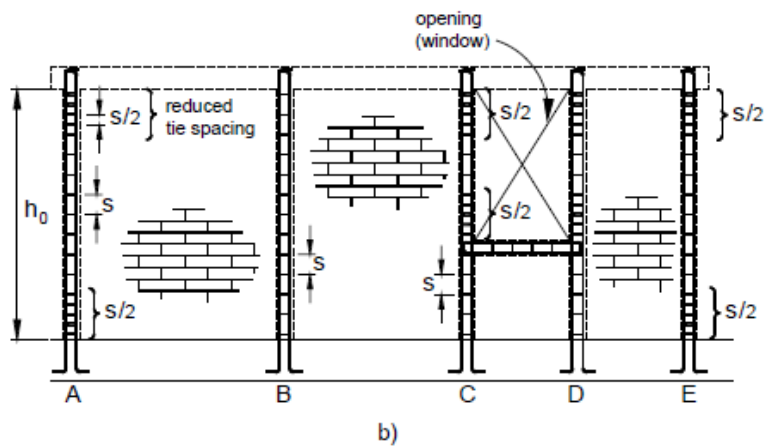
Gambar 2.16. Tambahan pengikat untuk tulangan vertikal pada ujung join kolom dan balok.
Sumber : Meli dkk (2011)

Pada *Gambar 2.17* ikatan sengkang menggunakan diameter minimum 6 mm dan dikait 135^0 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 2.18*. 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 2.17. Layout dan detail sengkang.

Sumber : Brzev (2008).

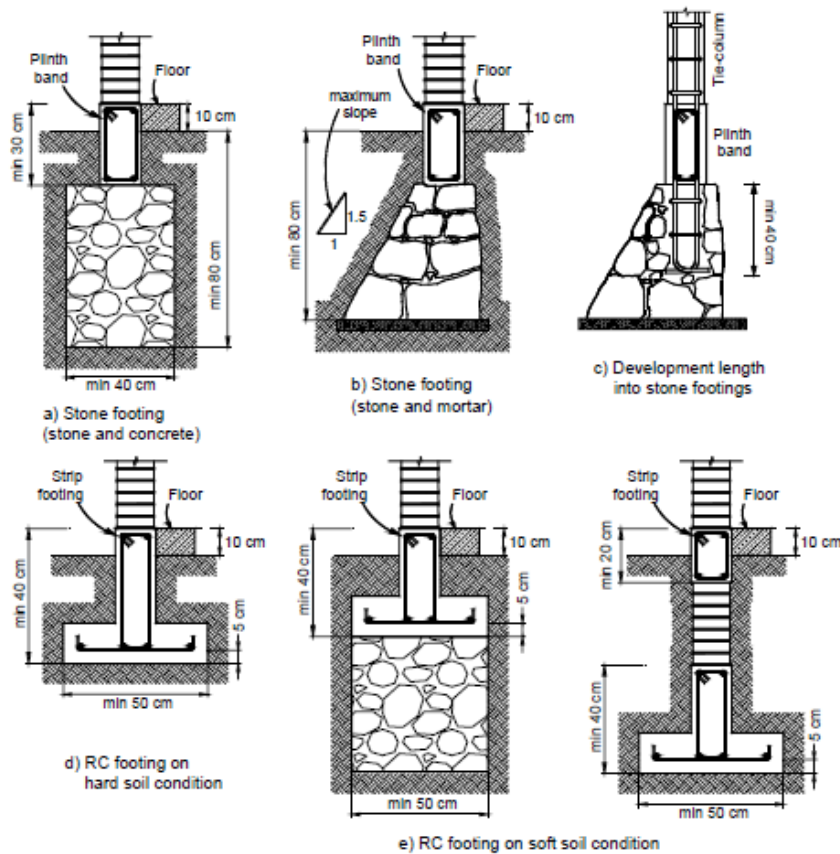


Gambar 2.18. Pengurangan spasi sengkang pada ujung kolom.

Sumber : Meli dkk (2011)

2.4.3 Konstruksi pondasi dan sloof

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 2.19.



Gambar 2.19. Detail pondasi untuk konstruksi tahan gempa.
 Sumber : Meli dkk (2011)

2.5 Perhitungan Beban Gempa

Berdasarkan SNI-1726.(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				
	$S_S \leq 0,1$	$S_S \leq 0,2$	$S_S \leq 0,3$	$S_S \leq 0,4$	$S_S \leq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	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 ^b				

Sumber : SNI-1726.(2012)

Catatan :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_S dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) 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 ^b				

Sumber : SNI-1726.(2012)

Catatan :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
 (b) 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:

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

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

2. 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} ,
3. 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:

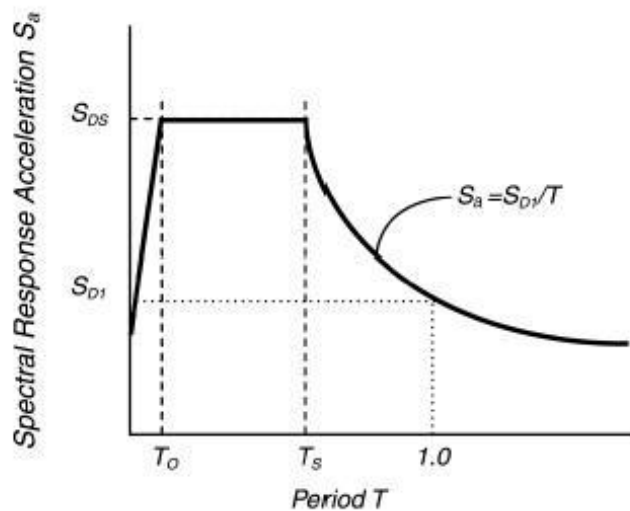
S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek,

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 2.20. Spektrum respons desain.

Sumber : SNI-1726.(2012)

2.5.1 Gaya lateral ekuivalen

Berdasarkan SNI-1726.(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:

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

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

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \dots\dots\dots(2-12)$$

C_s harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{D1} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots(2-13)$$

2.6 Metode Sederhana untuk Perhitungan Kerapatan Dinding

Berdasarkan Meli dkk. (2011), metode ini untuk menghitung indeks kerapatan dinding, d. Pengembangan metode ini diatur dengan asumsi bahwa keamanan bangunan diatur berdasarkan keruntuhan geser pada dinding, sengkang dan ikatan kolom diasumsikan mampu menahan kekuatan lentur pada bangunan.

2.6.1 Kontrol kapasitas seismik menggunakan *Wall Density Index*

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 pada Tabel 2.7 yang digunakan dan didapatkan melalui rumus berikut:

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

Tabel 2.7. Kuat geser dinding, v_m

Type of masonry unit	Type of mortar	Basic shear strength (v_m) MPa (kg/cm ²)
Solid clay bricks	I	0.35 (3.5)
	II and III	0.30 (3.0)
Hollow clay units	I	0.30 (3.0)
	II and III	0.20 (2.0)
Hollow concrete blocks	I	0.35 (3.5)
	II and III	0.25 (2.5)
Solid concrete blocks	I	0.30 (3.0)
	II and III	0.20 (2.0)

Sumber : Meli dkk (2011)

Dengan σ adalah rata-rata tegangan tekan pada daya dukung dinding akibat gaya gravitasi. Nilai σ adalah positif untuk tekan, apabila terjadi tegangan tarik pada dinding maka nilai σ diambil 0. Pada lantai pertama, nilai σ 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:

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

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

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

2.6.2 Kebutuhan kerapatan dinding terhadap 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

- σ_R = kuat tekan dinding
- σ_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 (σ_U) didapat dari dari persamaan 2-19. Kuat tekan (σ_R) dihitung sebagai kuat tekan dinding (f_m') pada *Tabel 2.8* dan faktor (F_E) yang diambil dari perhitungan eksentrisitas beban dan kelangsingan dinding. Penambahan 4 kg/cm² (0,4 MPa) pada f_m' sebagai kontribusi dari ikatan kolom ke kekuatan dinding, maka:

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

Keterangan:

$$F_E = \text{dinding interior} = 0,7$$

$$F_E = \text{dinding eksterior} = 0,6$$

Tabel 2.8. Kuat tekan dinding, f_m'

Type of masonry unit	Design compressive strength (f_m') MPa (kg/cm ²)		
	Type of Mortar		
	I	II	III
Solid clay bricks	1.5 (15)	1.5 (15)	1.5 (15)
Hollow clay units	4.0 (40)	4.0 (40)	3.0 (30)
Hollow concrete blocks	2.0 (20)	1.5 (15)	1.0 (10)
Solid concrete blocks	2.0 (20)	1.5 (15)	1.5 (15)

Sumber : Meli dkk (2011)

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

$$\sigma_R \geq F_s \sigma_U$$

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

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

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.

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

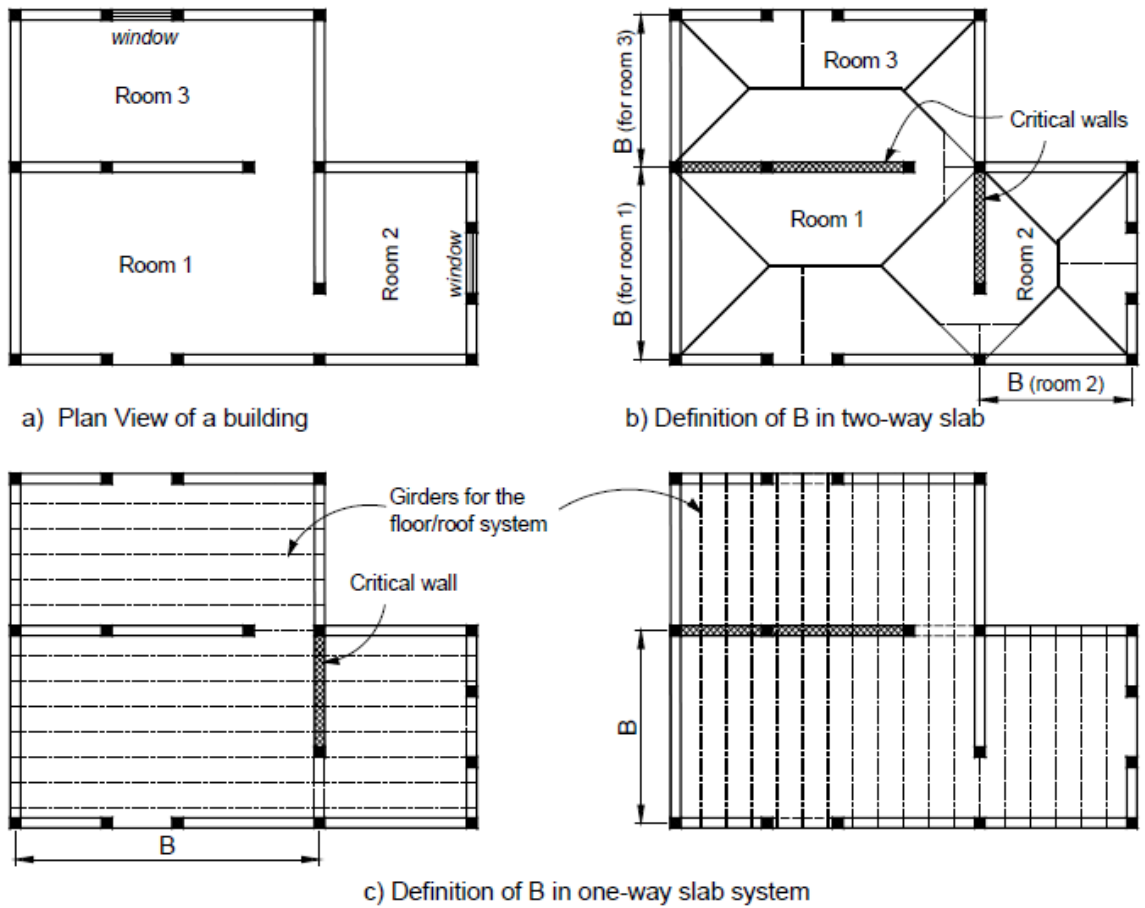
Keterangan:

n = jumlah lantai

w = berat per satuan luas untuk lantai/atap

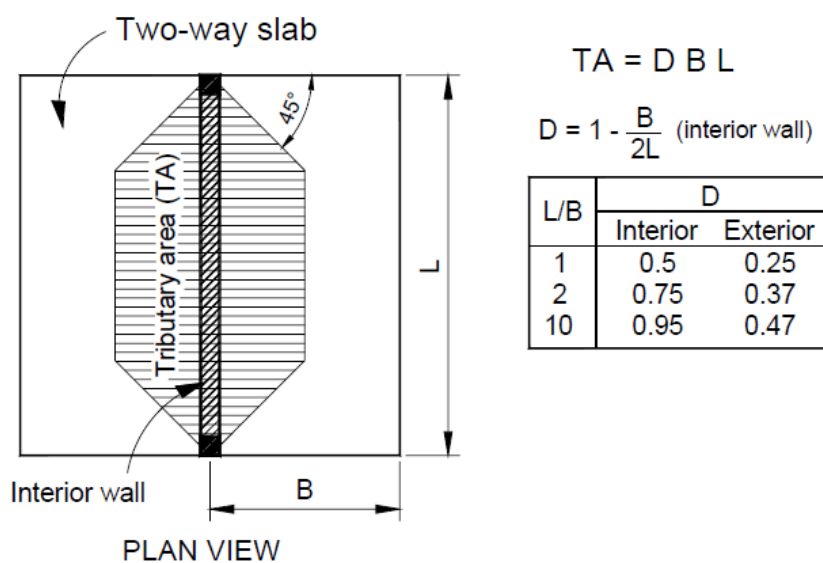
L = panjang lantai

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 2.21. Jarak antar tengah dinding.
 Sumber : Meli dkk (2011)

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



Gambar 2.22. Tributary area (TA).
 Sumber : Meli dkk (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 2.9* memuat maksimum rasio B/t yang diizinkan untuk perbedaan tipe material dinding dan jumlah lantai (n).

Tabel 2.9. 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 ²)			
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 dkk (2011)

BAB III METODE PENELITIAN

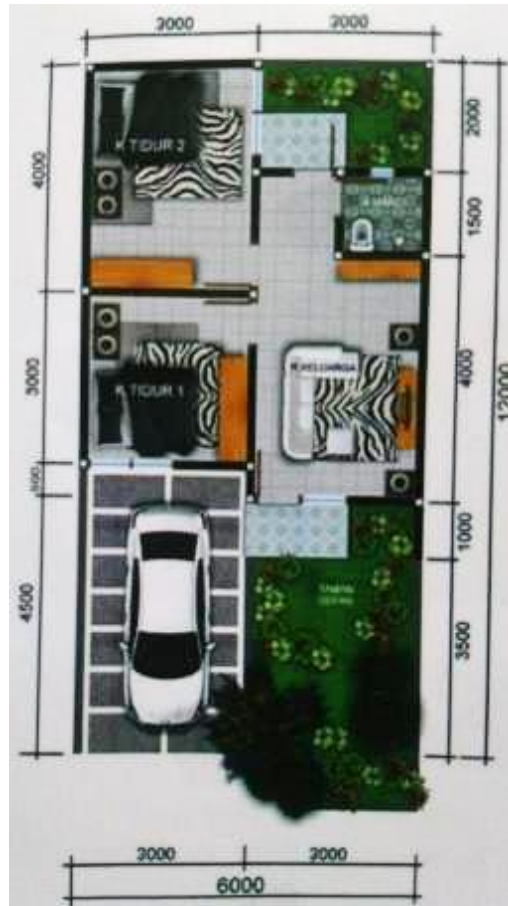
3.1. Data Umum Bangunan Rumah Tinggal

Bangunan yang menjadi obyek dalam penelitian ini adalah :

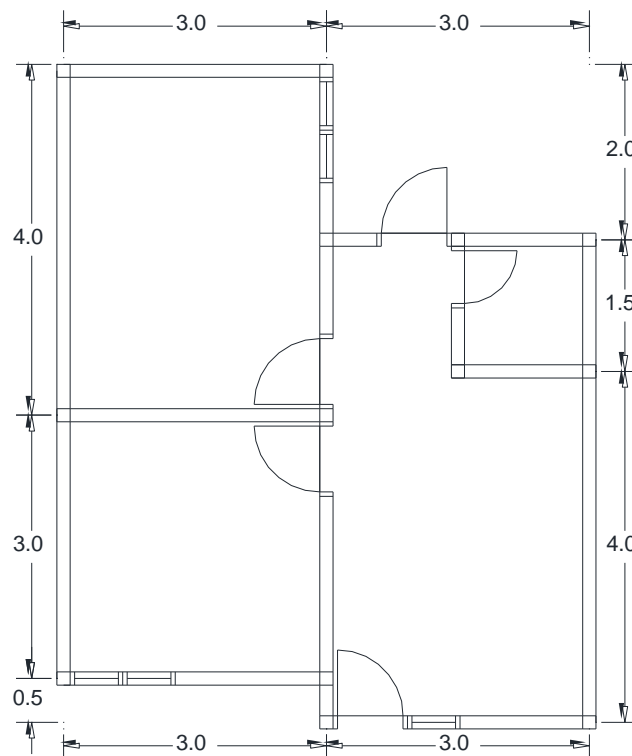
Lokasi : Kota Malang
Fungsi : Rumah tinggal
Jumlah Lantai : 1 lantai
Tipe Bangunan : Tipe 40, Tipe 45 dan Tipe 65

3.2. *Preliminary Design*

Bangunan A yang dimodelkan dalam analisis ini adalah rumah tinggal tipe 40 berlokasi di Kota Malang memiliki luas lahan 72 m^2 dan struktur utama memiliki luas 40 m^2 . Berikut ini adalah gambar denah pada brosur dan gambar denah yang digambar ulang menggunakan AutoCAD.



Gambar 3.1. Denah rumah tinggal tipe 40

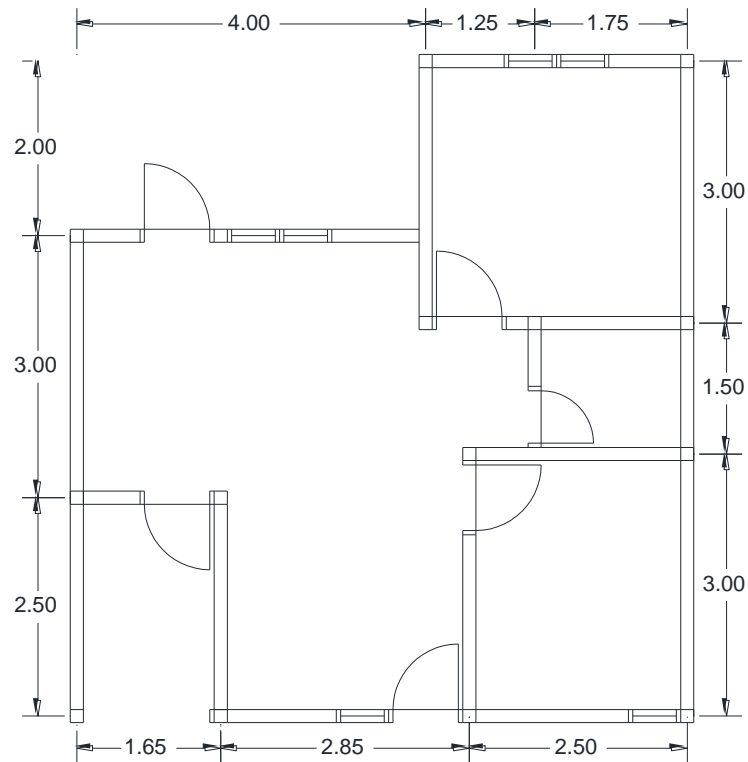


Gambar 3.2. Model denah rumah tinggal tipe 40

Bangunan B yang dimodelkan dalam analisis ini adalah rumah tinggal tipe 45 berlokasi di Kota Malang memiliki luas lahan 98 m² dan struktur utama memiliki luas 45 m². Berikut ini adalah gambar denah pada brosur dan gambar denah yang digambar ulang menggunakan AutoCAD.



Gambar 3.3. Denah rumah tinggal tipe 45

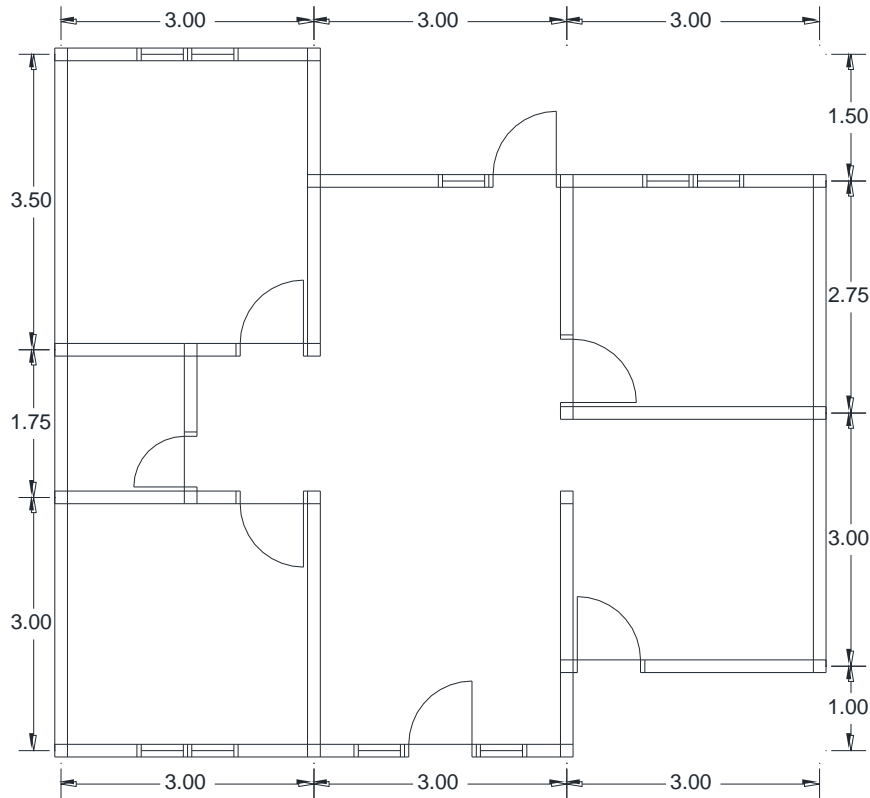


Gambar 3.4. Model denah rumah tinggal tipe 45

Bangunan C yang dimodelkan dalam analisis ini adalah rumah tinggal tipe 65 berlokasi di Kota Malang memiliki luas lahan 135 m² dan struktur utama memiliki luas 65 m². Berikut ini adalah gambar denah pada brosur dan gambar denah yang digambar ulang menggunakan AutoCAD.



Gambar 3.5. Denah rumah tinggal tipe 65



Gambar 3.6. Model denah rumah tinggal tipe 65

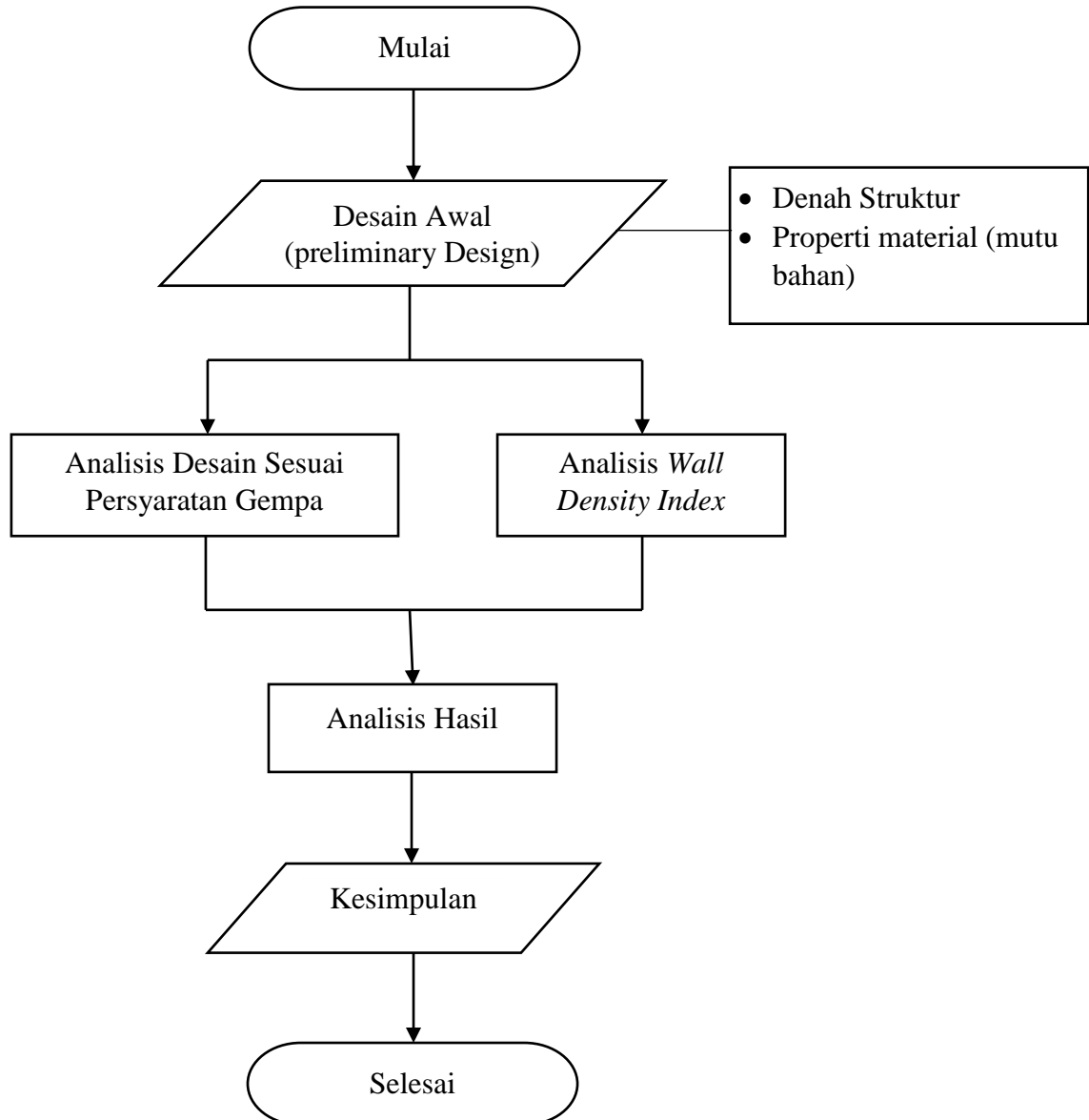
3.3. Langkah-langkah Analisis Struktur

Adapun langkah-langkah dalam penulisan ini sebagai berikut:

1. Membuat desain awal denah rumah tinggal tipe 40, tipe 45 dan tipe 65
2. Bandingkan desain awal denah rumah sesuai dengan persyaratan gempa.
3. Menghitung beban struktur bangunan sesuai dengan material yang digunakan pada bangunan tersebut,
4. Evaluasi beban gempa dasar struktur yang di hasilkan 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*,
6. Menghitung kebutuhan kerapatan dinding berdasarkan beban gravitasi,
7. Evaluasi kemampuan daya dukung dinding untuk dinding kritis terhadap beban gempa.
8. Analisis hasil dari metode *Wall Density Index* dan perbandingan desain awal dengan persyaratan 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*

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

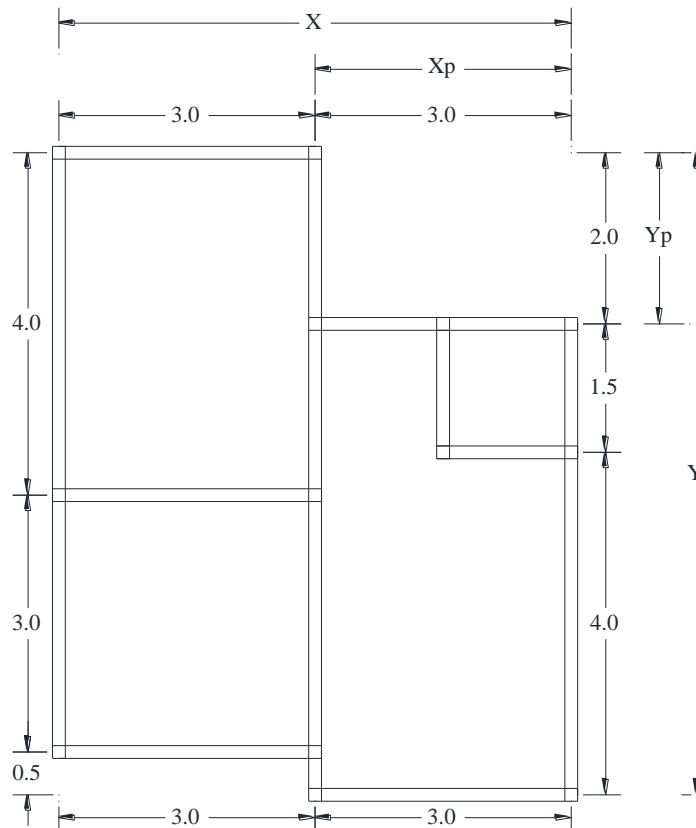
4.1 Desain Struktur Bangunan

Mendesain rumah tinggal sangatlah penting untuk mengkaji persyaratan teknis desain bangunan. Pada bentuk desain rumah tinggal tipe 40, 45 dan 65 di Kota Malang dapat dibandingkan dengan persyaratan teknis bangunan menurut Blondet (2005), Brzev (2008).

4.1.1 Bentuk bangunan

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 40, 45 dan 65 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*.

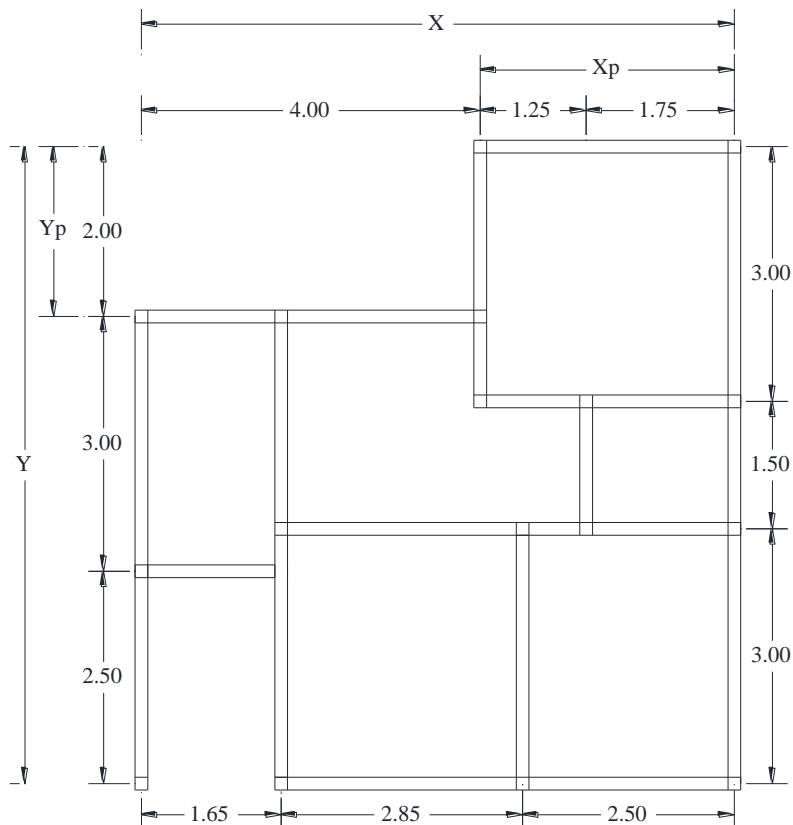
1. Denah rumah tipe 40



Gambar 4.1 Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 40.

Berdasarkan *Gambar 4.1* diketahui bagian X_p , X , Y_p dan Y sehingga diketahui nilai $X_p = 3$ m, $X = 6$ m, $Y_p = 2$ m dan $Y = 7,5$ m. Pada perhitungan $\frac{X_p}{X} = \frac{3}{6} = 0,5 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = \frac{2}{7,5} = 0,27 > 0,15$ yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*. Sehingga bangunan rumah tipe 40 dikatakan *irregular*.

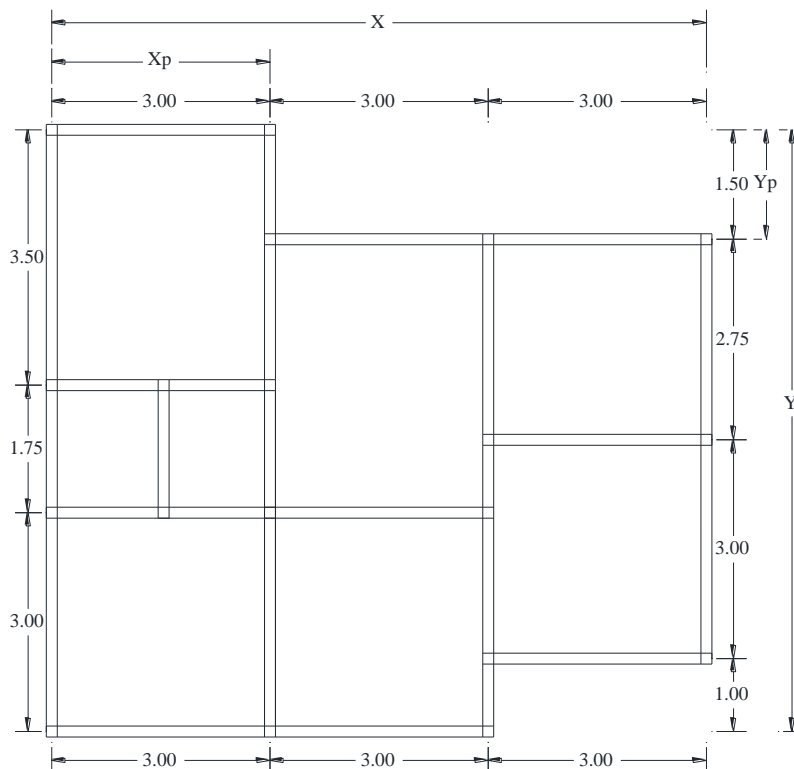
2. Denah rumah tipe 45



Gambar 4.2 Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 45.

Berdasarkan *Gambar 4.2* diketahui bagian X_p , X , Y_p dan Y sehingga diketahui nilai $X_p = 3$ m, $X = 6$ m, $Y_p = 2$ m dan $Y = 7,5$ m. Pada perhitungan $\frac{X_p}{X} = \frac{3}{7} = 0,43 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = \frac{2}{7,5} = 0,27 > 0,15$ yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*. Sehingga bangunan rumah tipe 45 dikatakan *irregular*.

3. Denah rumah tipe 65



Gambar 4.3 Penentuan bagian X , X_p , Y dan Y_p denah tipe 65

Berdasarkan Gambar 4.3 diketahui bagian X_p , X , Y_p dan Y sehingga diketahui nilai $X_p = 3$ m, $X = 6$ m, $Y_p = 2$ m dan $Y = 7,5$ m. Pada perhitungan $\frac{X_p}{X} = \frac{3}{9} = 0,33 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = \frac{1,5}{8,25} = 0,18 > 0,15$ yang berarti untuk bentuk denah memenuhi kriteria *irregular*. Sehingga bangunan rumah tipe 65 dikatakan *irregular*.

4.1.2 Bangunan tidak terlalu panjang

Panjang bangunan dibandingkan dengan lebar bangunan harus kurang dari 4 ($\frac{p}{l} \leq 4$). Sehingga dari denah bangunan tersebut dapat di tentukan sebagai berikut.

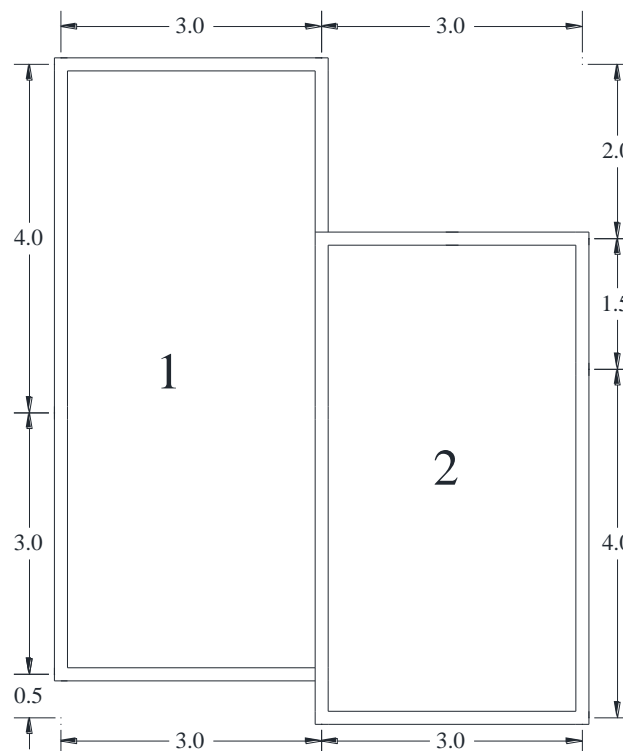
Pada bangunan di atas dapat di hitung berapa perbandingan antara panjang dan lebar bangunannya. Seperti pada bangunan tipe 40 memiliki perbandingan $\frac{p}{l} = \frac{7,5}{6} = 1,25$, pada tipe 45 memiliki perbandingan $\frac{p}{l} = \frac{7,5}{7} = 1,07$ dan pada tipe 65 memiliki perbandingan $\frac{p}{l} = \frac{9}{8,25} = 1,09$. Sehingga dapat disimpulkan ketiga bangunan tersebut sesuai dengan persyaratan teknis bangunan yang tidak panjang.

4.1.3 Distribusi dinding simetris dan merata

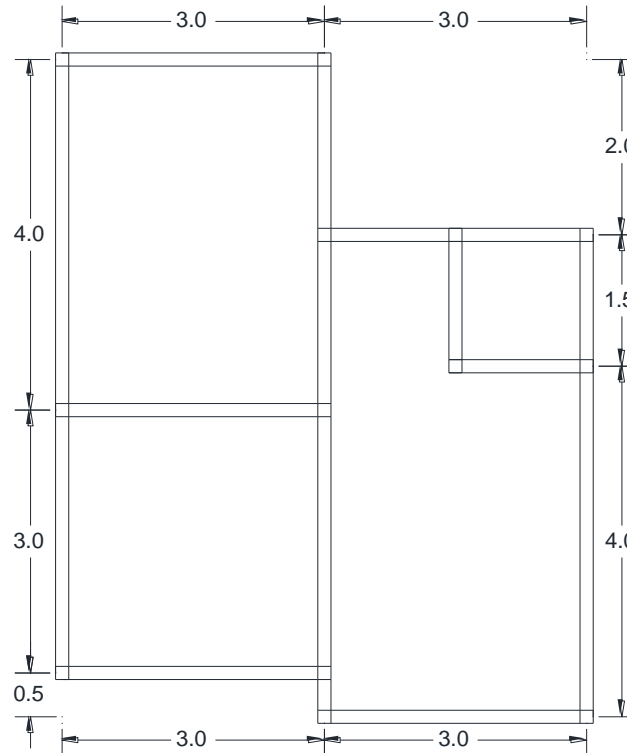
Distribusi dinding diharuskan simetris dan merata guna mengurangi efek torsi dan menambahkan ketahanan bangunan terhadap gaya gempa, meski distribusi dinding tidak bisa simetris sempurna dan merata. Dengan menghitung besarnya eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding sehingga dapat menentukan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

1. Tipe 40

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



Gambar 4.4 Pembagian daerah untuk daerah 1 dan 2 denah tipe 40.



Gambar 4.5 Denah balok rumah tipe 40.

Tabel 4.1. Massa daerah 1 denah tipe 40

Beban daerah 1	
1. Beton (2400 kg/m^3)	
Balok	
$23 \times 0,15 \times 0,15 \times 2400$	= 1242,00 kg
Kolom	
$4 \times 0,15 \times 0,15 \times 1,5 \times 2400$	= 324,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m^3)	
$(18,525 \times 1,5 + 5 \times 1,1547 + 0,5 \times 7 \times 2,0207) \times 1700 \times 0,15$	= 10361,53 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m^2)	
$7 \times 3 \times 18$	= 378,00 kg
4. Atap (50 kg/m^2)	
$3 \times 4,0415 \times 50 + 3 \times 5,0415 \times 50$	= 1362,45 kg
Total beban daerah 1	= 13667,98 kg

Tabel 4.2. Massa daerah 2 denah tipe 40

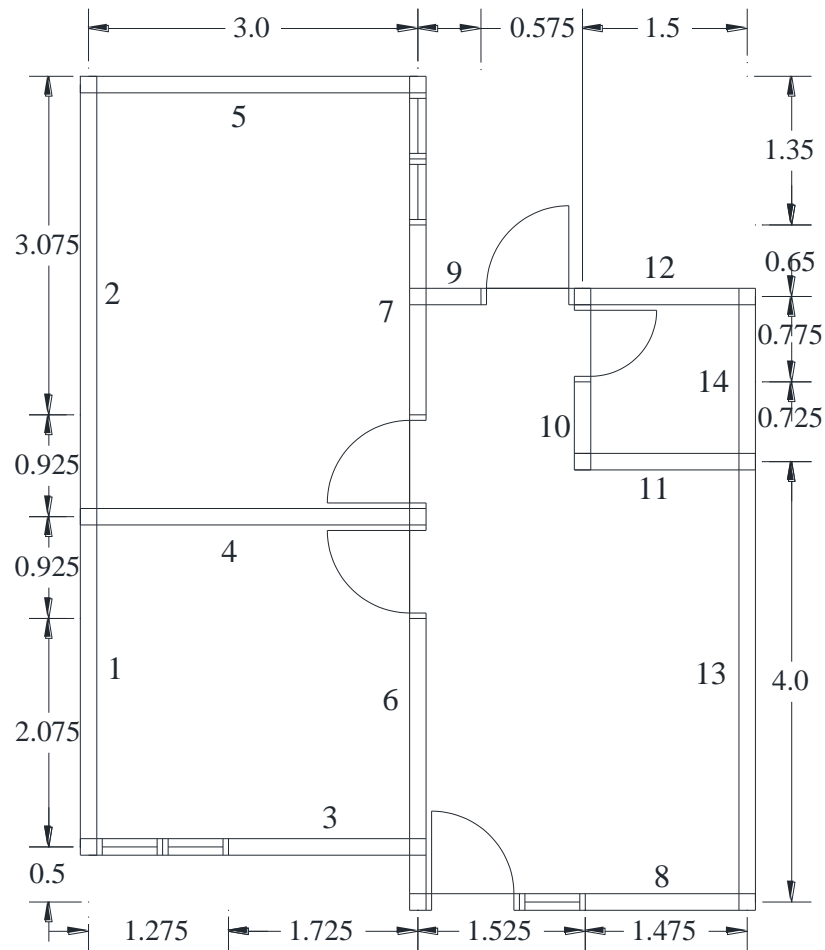
Beban daerah 2	
1. Beton (2400 kg/m ³)	
Balok	
20 x 0,15 x 0,15 x 2400	= 1080,00 kg
Kolom	
9 x 0,15 x 0,15 x 2,6547 x 2400	= 1290,18 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)	
(11,775 x 2,6547 + 2 x 0,5 x 5,5 x 1,5877) x 1700 x 0,15	= 10197,82 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)	
5,5 x 3 x 18	= 297,00 kg
4. Atap (50 kg/m ²)	
3 x 3,1754 x 50 + 3 x 4,1754 x 50	= 1102,62 kg
Total beban daerah 2	= 13967,62 kg

Tabel 4.3. Pusat massa denah tipe 40.

no	W (kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
1	13667,98	1,5	4	20501,97	54671,92
2	13967,62	4,5	2,75	62854,30	38410,96
Σ	27635,60			83356,27	93082,88

Pusat massa dari *Gambar 4.1* untuk arah x sebesar $\frac{83356,27}{27635,60} = 3,02$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{93082,88}{27635,60} = 3,37$ 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 4.4* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.6*.

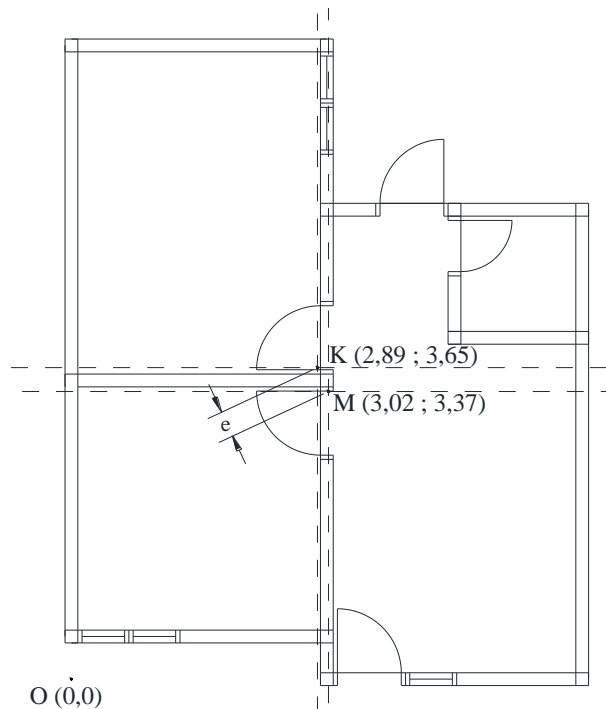


Gambar 4.6 Penomoran dinding denah tipe 40.

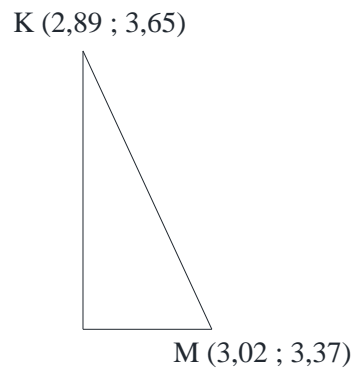
Tabel 4.4. Pusat kekakuan dinding denah tipe 40.

no	A (m ²)	x (m)	y (m)	Ax (m ³)	Ay (m ³)
1	0,45	0	2	0,00	0,90
2	0,6	0	5,5	0,00	3,30
3	0,25875	2,3625	0,5	0,61	0,13
4	0,45	1,5	3,5	0,68	1,58
5	0,45	1,5	7,5	0,68	3,38
6	0,38625	3	1,538	1,16	0,59
7	0,25875	3	5,288	0,78	1,37
8	0,22125	5,2625	0	1,16	0,00
9	0,08625	3,2875	5,5	0,28	0,47
10	0,10875	4,5	4,363	0,49	0,47
11	0,225	5,25	4	1,18	0,90
12	0,225	5,25	5,5	1,18	1,24
13	0,6	6	2	3,60	1,20
14	0,225	6	4,75	1,35	1,07
Σ	4,545			13,15	16,60

Pusat kekakuan dinding dari *Gambar 4.6* untuk arah x sebesar $\frac{13,15}{4,545} = 2,89$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{16,60}{4,545} = 3,65$ m.



Gambar 4.7. Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 40.



Gambar 4.8. Detail Eksentrisitas.

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

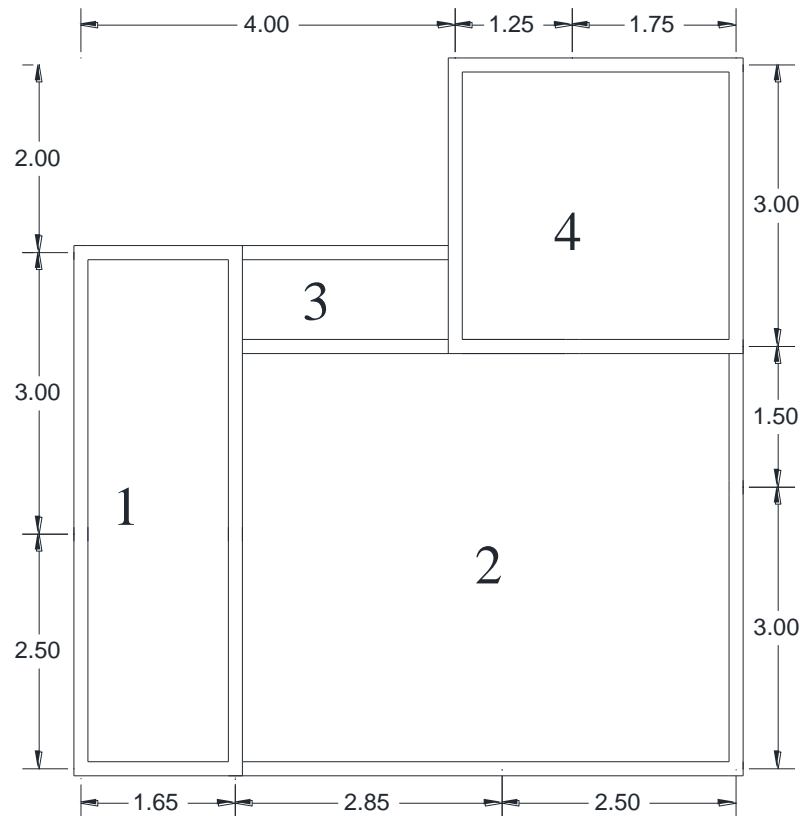
$$e = \sqrt{((3,02 - 2,89)^2 + (3,37 - 3,65)^2)}$$

$$e = 0,31 \text{ m}$$

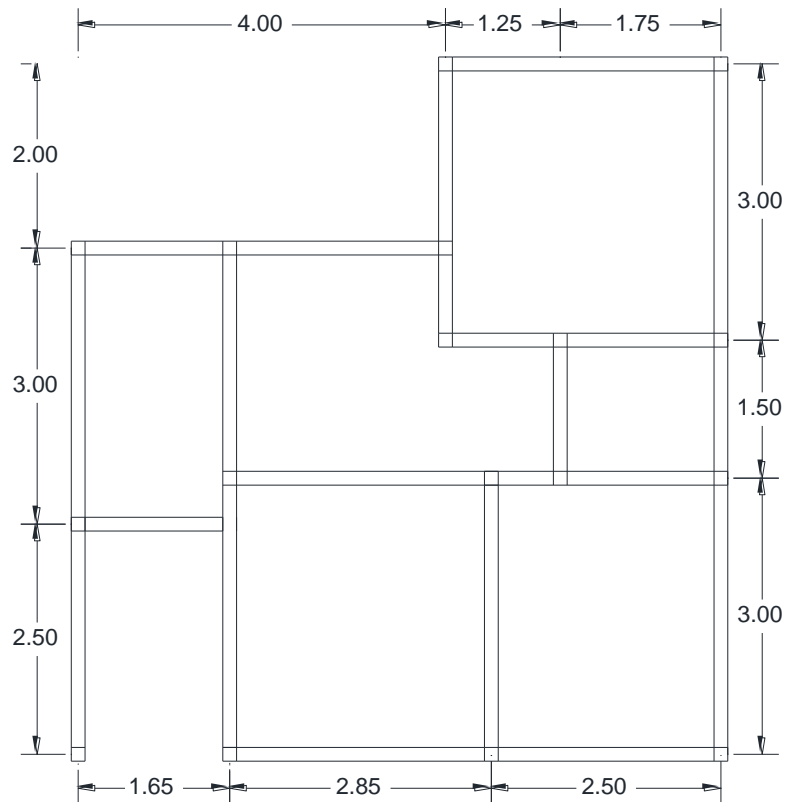
Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada *Gambar 4.7*. Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$. Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas sebesar $0,31 < 1,8$. Maka nilai eksentrisitas kecil sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

2. Tipe 45

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 4.5*, *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 45.



Gambar 4.10 Denah balok rumah tipe 45.

Tabel 4.5. Massa daerah 1 denah tipe 45

Beban daerah 1	
1. Beton (2400 kg/m^3)	
Balok	
$15,95 \times 0,15 \times 0,15 \times 2400$	= 861,30 kg
Kolom	
$6 \times 0,15 \times 0,15 \times 1,5 \times 2400$	= 486,00 kg
Plat	
$5,5 \times 1,65 \times 0,1 \times 2400$	= 2178,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m^3)	
$9,95 \times 1,5 \times 1700 \times 0,15$	= 3805,88 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m^2)	
$1,65 \times 5,5 \times 18$	= 163,35 kg
Total beban daerah 1	= 7494,53 kg

Tabel 4.6. Massa daerah 2 denah tipe 45

Beban daerah 2		
1. Beton (2400 kg/m ³)		
Balok		
19,7 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	1063,80 kg
Kolom		
5 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	=	567,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)		
12,95 x 1,5 x 1700 x 0,15	=	4953,38 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)		
5,35 x 4,5 x 18	=	433,35 kg
4. Atap (50 kg/m ²)		
5,35 x 6,1962 x 50	=	1657,47 kg
Total beban daerah 2	=	8675,00 kg

Tabel 4.7. Massa daerah 3 denah tipe 45

Beban daerah 3		
1. Beton (2400 kg/m ³)		
Balok		
2,35 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	126,90 kg
Kolom		
1 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	=	81,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)		
1,075 x 1,5 x 1700 x 0,15	=	411,19 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)		
2,35 x 1 x 18	=	42,30 kg
4. Atap (50 kg/m ²)		
2,35 x 1,1547 x 50	=	135,68 kg
Total beban daerah 3	=	797,06 kg

Tabel 4.8. Massa daerah 4 denah tipe 45

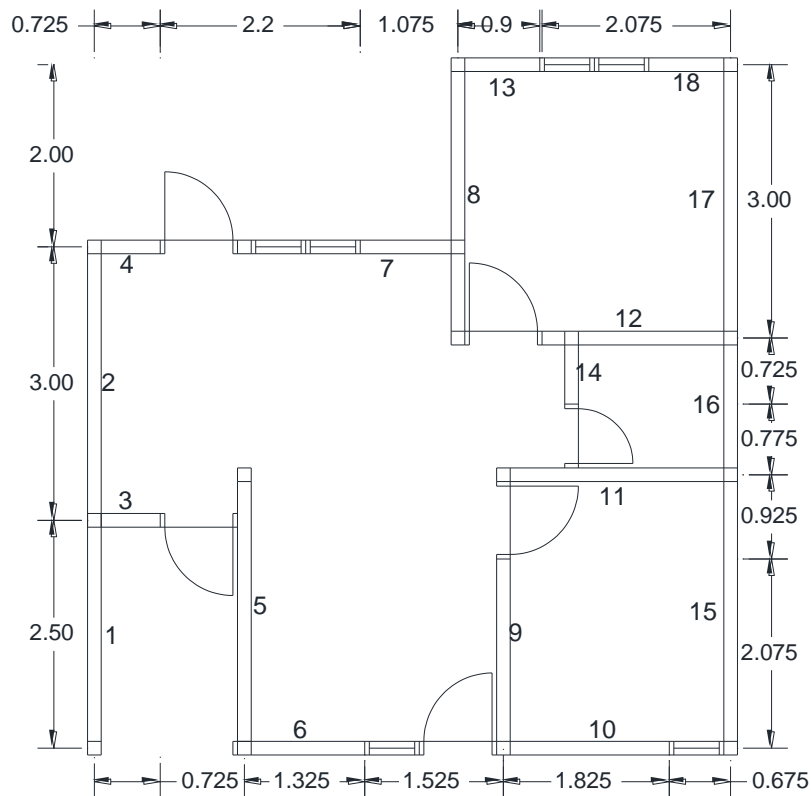
Beban daerah 4		
1. Beton (2400 kg/m ³)		
Balok		
12 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	648,00 kg
Kolom		
5 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	=	405,00 kg
Plat		
3 x 3 x 0,1 x 2400	=	2160,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)		
1,075 x 1,5 x 1700 x 0,15	=	411,19 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)		
3 x 3 x 18	=	162,00 kg
4. Atap (50 kg/m ²)		
3 x 1,1547 x 50	=	173,21 kg
Total beban daerah 4	=	3959,39 kg

Tabel 4.9. Pusat massa denah tipe 45

no	w (kg)	x (m)	y (m)	wx (kgm)	wy (kgm)
1	7494,53	0,825	2,75	6182,98	20609,94
2	8675,00	4,325	2,25	37519,36	19518,74
3	797,06	2,825	5	2251,71	3985,32
4	3959,39	5,5	6	21776,66	23756,36
Σ	20925,98			67730,71	67870,36

Pusat massa dari *Gambar 4.9* untuk arah x sebesar $\frac{667730,71}{20925,98} = 3,24$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{67870,36}{20925,98} = 3,24$ 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 4.10* dan penomoran dinding pada *Gambar 4.11*.

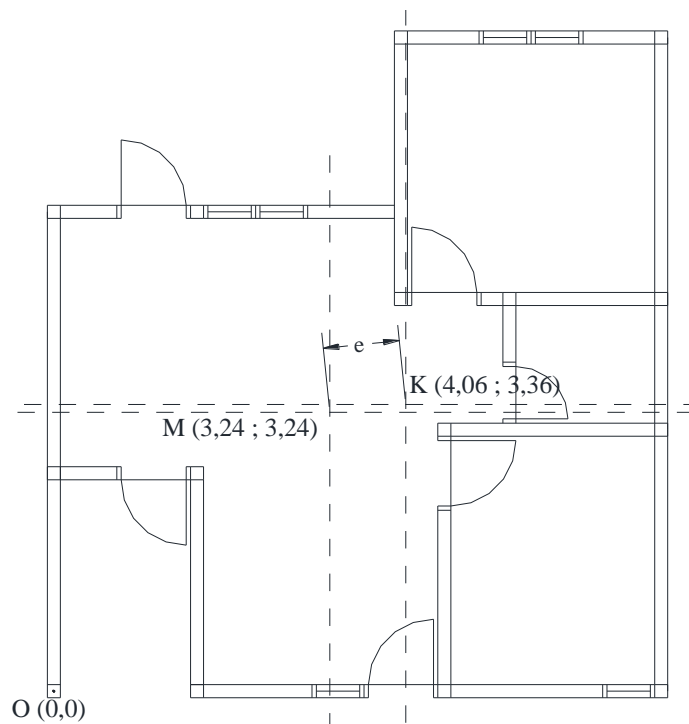


Gambar 4.11. Penomoran dinding denah tipe 45.

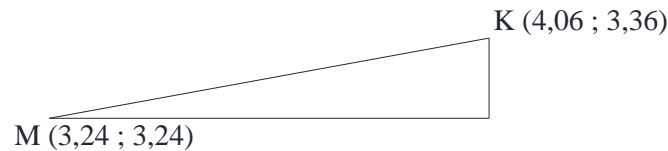
Tabel 4.10. Pusat kekakuan dinding denah tipe 45

no	A (m ²)	x (m)	y (m)	Ax (m ³)	Ay (m ³)
1	0,375	0	1,25	0,00	0,47
2	0,45	0	4	0,00	1,80
3	0,10875	0,3625	2,5	0,04	0,27
4	0,10875	0,3625	5,5	0,04	0,60
5	0,45	1,65	1,5	0,74	0,68
6	0,19875	2,3125	0	0,46	0,00
7	0,16125	3,4625	5,5	0,56	0,89
8	0,45	4	6	1,80	2,70
9	0,31125	4,5	1,038	1,40	0,32
10	0,27375	5,4125	0	1,48	0,00
11	0,45	5,75	3	2,59	1,35
12	0,31125	5,9625	4,5	1,86	1,40
13	0,135	4,45	7,5	0,60	1,01
14	0,10875	5,25	4,113	0,57	0,45
15	0,45	7	1,5	3,15	0,68
16	0,225	7	4,5	1,58	1,01
17	0,45	7	6	3,15	2,70
18	0,135	6,55	7,5	0,88	1,01
Σ	5,1525			20,90	17,33

Pusat kekakuan dinding dari Gambar 4.11 untuk arah x sebesar $\frac{20,90}{5,1525} = 4,06$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{17,33}{5,1525} = 3,36$ m.



Gambar 4.12. Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 45.



Gambar 4.13. Detail eksentrisitas.

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

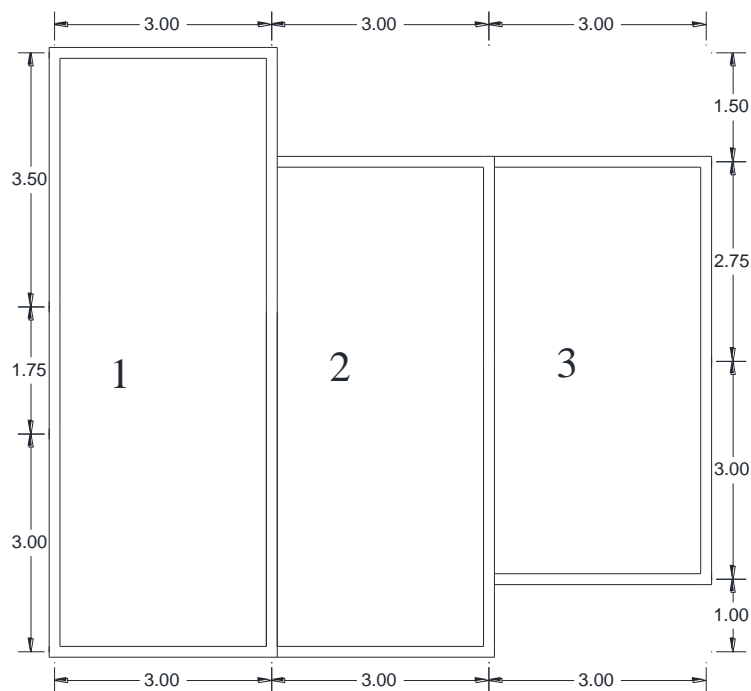
$$e = \sqrt{((4,06 - 3,24)^2 + (3,36 - 3,24)^2)}$$

$$e = 0,83 \text{ m}$$

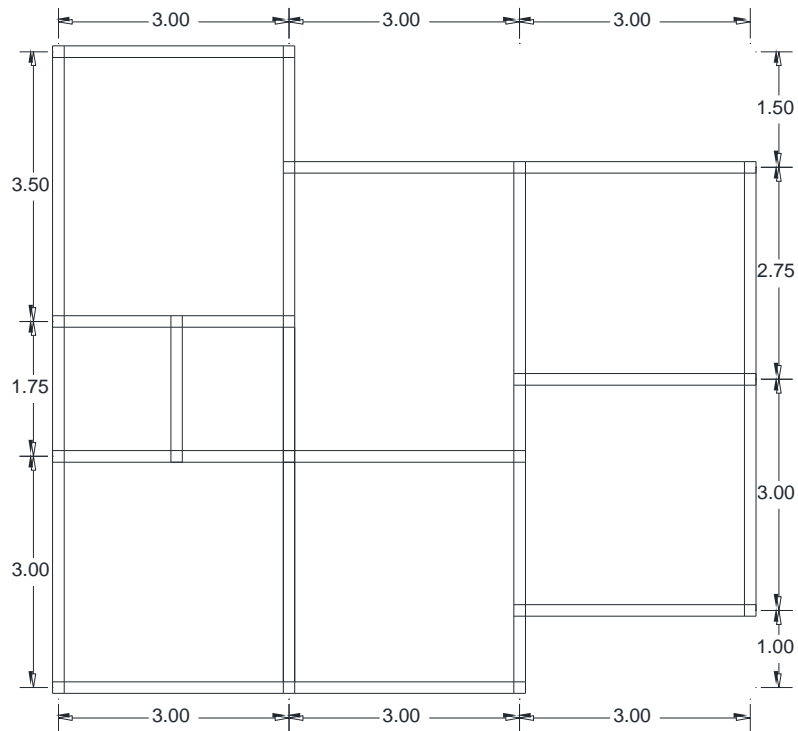
Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada Gambar 4.12. Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$. Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas sebesar $0,83 < 2,1$. Maka nilai eksentrisitas kecil sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

3. Denah tipe 65.

Nilai eksentrisitas didapatkan berdasarkan jarak antara titik pusat massa dengan titik pusat kekakuan dinding. Pada denah ini, dibagi menjadi 3 daerah yaitu daerah 1,2 dan 3 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 dan 3 pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.



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



Gambar 4.15. Denah balok rumah tipe 65.

Tabel 4.11. Massa daerah 1 denah tipe 65

Beban daerah 1	
1. Beton (2400 kg/m^3)	
Balok	
$30,25 \times 0,15 \times 0,15 \times 2400$	= 1633,50 kg
Kolom	
$11 \times 0,15 \times 0,15 \times 1,5 \times 2400$	= 891,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m^3)	
$23,475 \times 1,5 \times 1700 \times 0,15$	= 8979,19 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m^2)	
$3 \times 8,25 \times 18$	= 445,50 kg
4. Atap (50 kg/m^2)	
$9,25 \times 3,461 \times 50$	= 1600,71 kg
Total beban daerah 1	= 13549,90 kg

Tabel 4.12. Massa daerah 2 denah tipe 65

Beban daerah 2	
1. Beton (2400 kg/m ³)	
Balok	
15,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	= 850,50 kg
Kolom	
5 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	= 405,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)	
7,325 x 1,5 x 1700 x 0,15	= 2801,81 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)	
3 x 6,75 x 18	= 364,50 kg
4. Atap (50 kg/m ²)	
7,75 x 3,461 x 50	= 1341,14 kg
Total beban daerah 2	= 5762,95 kg

Tabel 4.13. Massa daerah 3 denah tipe 65

Beban daerah 3	
1. Beton (2400 kg/m ³)	
Balok	
14,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	= 796,50 kg
Kolom	
3 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	= 243,00 kg
Plat	
3 x 5,75 x 0,1 x 2400	= 4140,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)	
12,625 x 1,5 x 1700 x 0,15	= 4829,06 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)	
3 x 5,75 x 18	= 310,50 kg
Total beban daerah 3	= 10319,06 kg

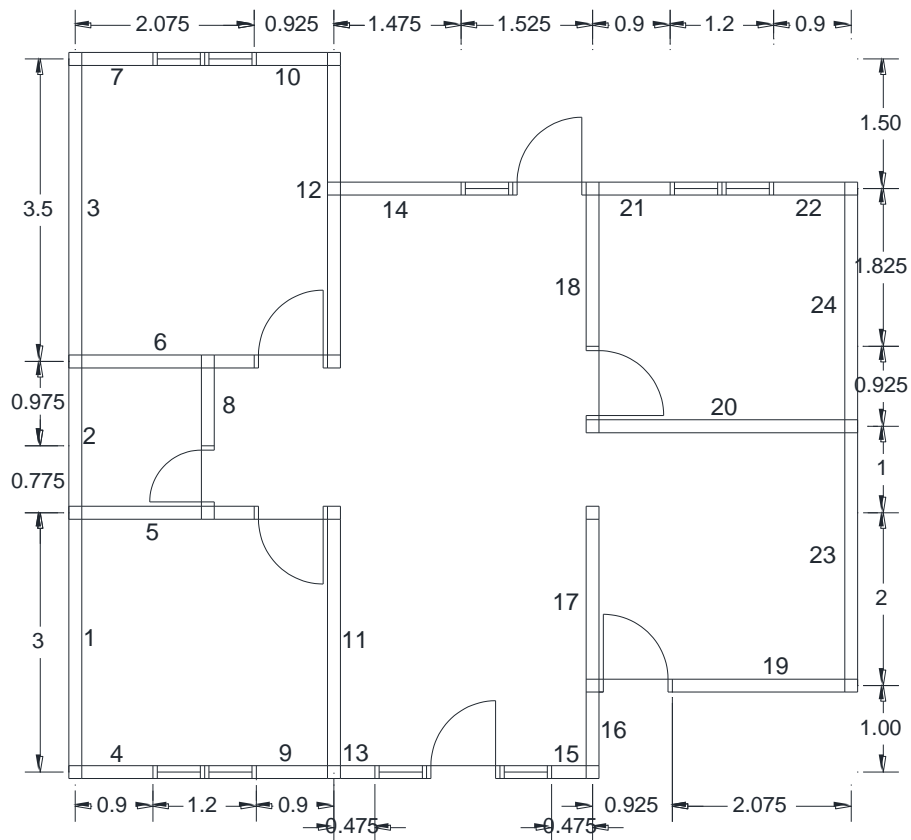
Tabel 4.14. Pusat massa denah tipe 65

no	W (kg)	x (m)	y (m)	Wx (kgm)	Wy (kgm)
1	13549,90	1,5	4,125	20324,85	55893,34
2	5762,95	4,5	3,375	25933,28	19449,96
3	10319,06	7,5	3,875	77392,97	39986,37
Σ	29631,91			123651,09	115329,66

Pusat massa dari *Gambar 4.11* untuk arah x sebesar $\frac{123651,09}{29631,91} = 4,17$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{115329,66}{29631,91} = 3,89$ 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*.

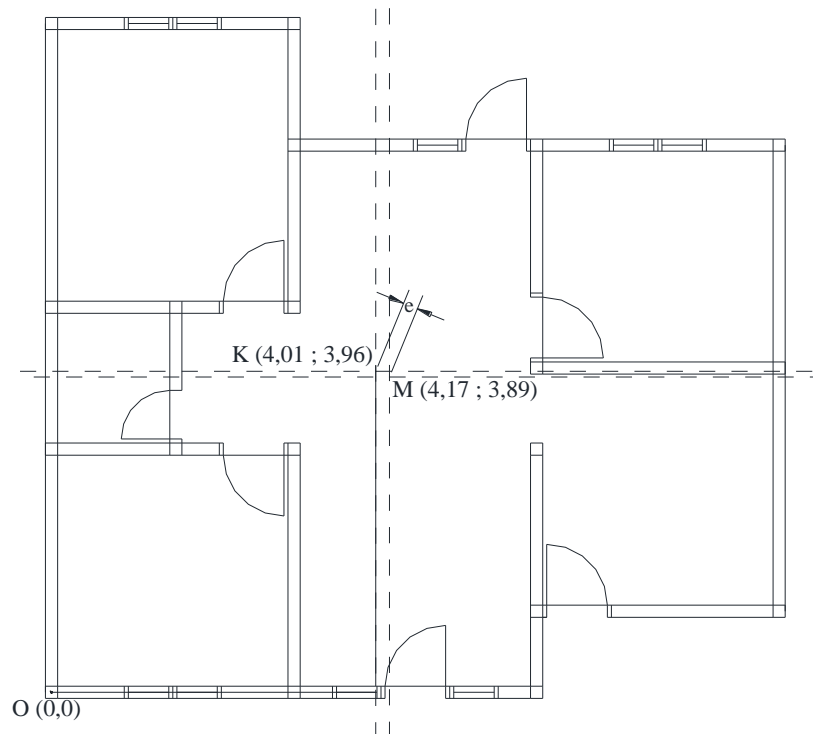


Gambar 4.16. Penomoran dinding denah tipe 65.

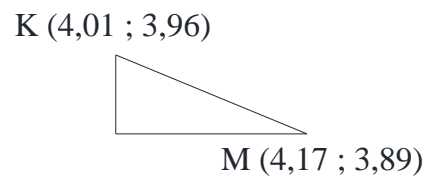
Tabel 4.15. Pusat kekakuan dinding denah tipe 65.

no	A (m ²)	x (m)	y (m)	Ax (m ³)	Ay (m ³)
1	0,45	0	1,5	0,00	0,68
2	0,2625	0	4,875	0,00	1,28
3	0,525	0	6,5	0,00	3,41
4	0,135	0,45	0	0,06	0,00
5	0,31125	1,0375	3	0,32	0,93
6	0,31125	1,0375	4,75	0,32	1,48
7	0,135	0,45	8,25	0,06	1,11
8	0,14625	1,5	4,163	0,22	0,61
9	0,135	2,55	0	0,34	0,00
10	0,135	2,55	8,25	0,34	1,11
11	0,45	3	1,5	1,35	0,68
12	0,525	3	6,5	1,58	3,41
13	0,07125	3,2375	0	0,23	0,00
14	0,22125	3,7375	6,75	0,83	1,49
15	0,07125	5,7625	0	0,41	0,00
16	0,15	6	0,5	0,90	0,08
17	0,31125	6	2,038	1,87	0,63
18	0,27375	6	5,838	1,64	1,60
19	0,31125	7,9625	1	2,48	0,31
20	0,45	7,5	4	3,38	1,80
21	0,135	6,45	6,75	0,87	0,91
22	0,135	8,55	6,75	1,15	0,91
23	0,45	9	2,5	4,05	1,13
24	0,4125	9	5,375	3,71	2,22
Σ	6,51375			26,12	25,78

Pusat kekakuan dinding dari *Gambar 4.13* untuk arah x sebesar $\frac{26,12}{6,51375} = 4,01$ m dan untuk arah y sebesar $\frac{25,78}{6,51375} = 3,96$ m.



Gambar 4.17. Koordinat pusat massa dan kekakuan dinding denah tipe 65.



Gambar 4.18. Detail eksentrisitas.

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

$$e = \sqrt{((4,01 - 4,17)^2 + (3,96 - 3,89)^2)}$$

$$e = 0,18 \text{ m}$$

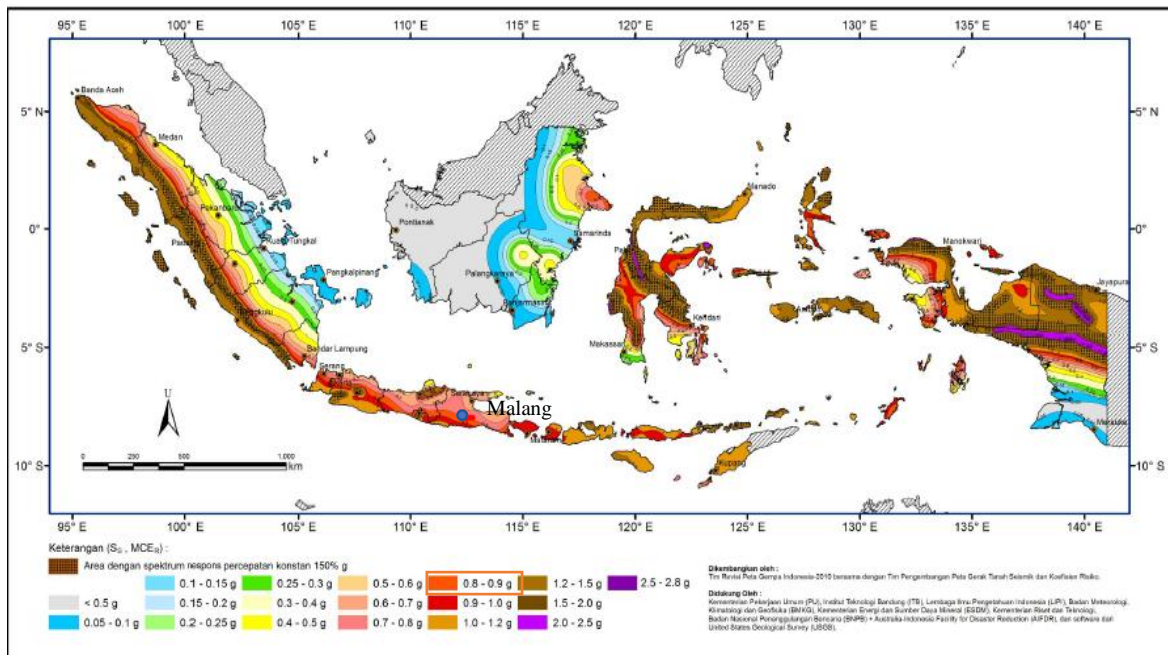
Jarak eksentrisitas arah x dan arah y pada Gambar 4.14. Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal A.5.4.3 bahwa nilai eksentrisitas dikatakan kecil apabila $0 < e < 0,3b$ dan dikatakan besar apabila nilai $e > 0,3b$. Dari perhitungan diatas didapatkan nilai eksentrisitas $0,18 < 2,475$. Maka nilai eksentrisitas kecil sehingga distribusi dinding dikatakan simetris dan merata.

4.2 Analisis Perhitungan

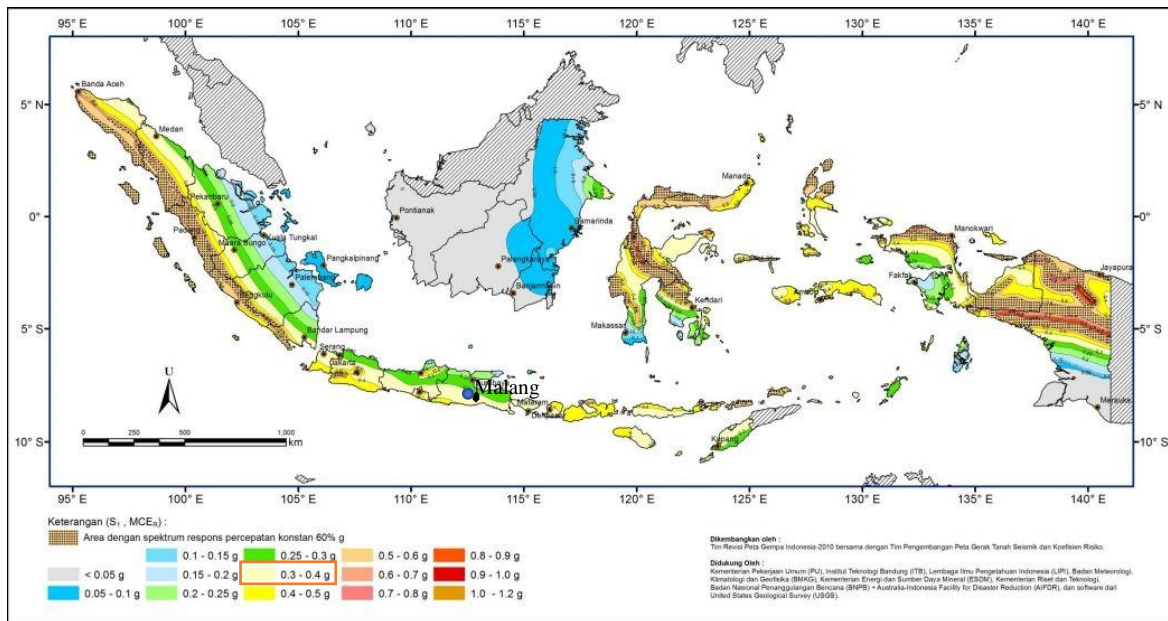
4.2.1 Perhitungan gaya gempa

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 (Ie) = 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 4.16 dan Gambar 4.17)



Gambar 4.19. S_s , titik hitam lokasi di Kota Malang
Sumber : SNI-1726.(2012)



Gambar 4.20. S_1 , titik hitam lokasi di Kota Malang
Sumber : SNI-1726.(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 (S_{MS}) dan perioda 1 detik (S_{M1}) 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 spektral 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 alternative pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda struktur, T , diizinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan, T_α . Dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$ (tabel 15 SNI 1726-2012) dan $h_n = 3$ m. Maka diperoleh nilai T_α :

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

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

$$C_S = 0,044 S_{D1} I_e \geq 0,01$$

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

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

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 40

Berdasarkan denah rumah tipe 40 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 .

$$A_P = (3 \times 5,5 + 3 \times 7) = 37,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_W = (3 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1,5 - 1,2 - 1,45 - 0,85) \times 0,15 = 1,95 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_W = (4 + 4 + 4 + 3 + 3 + 0,5 + 1,5 + 1,5 - 0,85 - 0,85 - 0,7 - 1,2) \times 0,15 = 2,685 \text{ m}^2$$

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

$$\text{Arah x, } d = \frac{1,95}{37,5} = 0,052 = 5,2\%$$

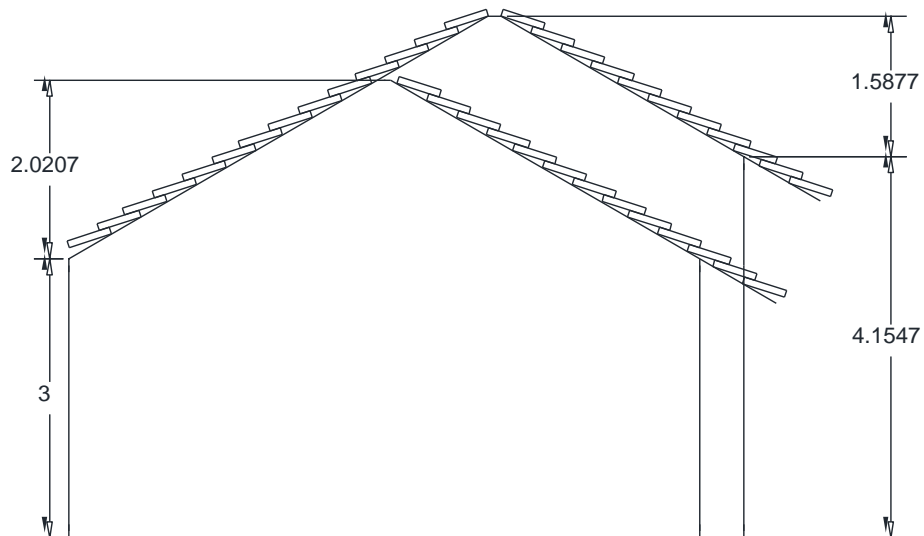
$$\text{Arah y, } d = \frac{2,685}{37,5} = 0,0716 = 7,2\%$$

$$\sum d = d_x + d_y = 0,052 + 0,0716 = 0,1236$$

Berdasarkan tabel 2.4, nilai d untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai d terkecil ada pada arah x dengan nilai $5,2\% > 2,5\%$.

- 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 bangunan tipe 40.

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok} &= (3 + 4 + 3 + 3 + 3 + 4 + 3 + 0,5 + 3 + 4 + 3 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 2) \\ &= 43 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= 3 \times 3,1754 + 3 \times 4,0415 + 3 \times 4,1754 + 3 \times 5,0415 \\ &= 49,30127 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

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

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 (α) adalah 30° .

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

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

Tabel 4.16. Berat per satuan luas.

Beban Mati			
1. Beton (2400 kg/m ³)			
a. Portal			
Balok			
43 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	2322	kg
Kolom			
(4 x 0,15 x 0,15 x 1,5 + 9 x 0,15 x 0,15 x 2,6547) x 2400	=	1614,18	kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)			
(4,635 x 1,5 + 3 x 1,1547) x 1700	=	17708,22	kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)			
18 x 37,5	=	675,00	kg
4. Atap (50 kg/m ²)			
49,30127 x 50	=	2465,06	kg
Total beban mati		24784,47	kg
Beban Hidup			
1. Atap beban air hujan (W _{ah} =16 kg/m ²)			
16 x 37,5	=	600,00	kg
Total beban hidup		600,00	kg
Total Berat per luas lantai bangunan			
D + L	=	25384,47	kg

Perhitungan berat pada *Tabel 4.16* didapatkan nilai $W_T = 25384,47$ kg. Gaya seismik (V_u), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 25384,47 = 5415,353 \text{ kg}$$

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 3 kg/cm². Nilai v didapat dari persamaan (2-18) dan nilai σ_U didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{25384,47}{4,635} = 5476,69 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 5476,69) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16643,01 < 45000 \text{ kg/m}^2$$

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

$$V_{RX} = 16643,01 \times 1,95 = 32453,86 \text{ kg}$$

$$V_{RY} = 16643,01 \times 2,685 = 44686,48 \text{ kg}$$

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

$$\frac{V_{Rx}}{V_U} = \frac{32453,86}{5415,353} \geq 1,6$$

5,99 > 1,6 (memenuhi)

$$\frac{V_{Ry}}{V_U} = \frac{44686,48}{5415,353} \geq 1,6$$

8,25 > 1,6 (memenuhi)

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_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 kg/cm². 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 :

$$\sigma_R = 0,7 (15 + 4) = 13,3 \text{ kg/cm}^2 = 133000 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (15 + 4) = 11,4 \text{ kg/cm}^2 = 114000 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

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

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{133000}{5476,69} \geq 2,33$$

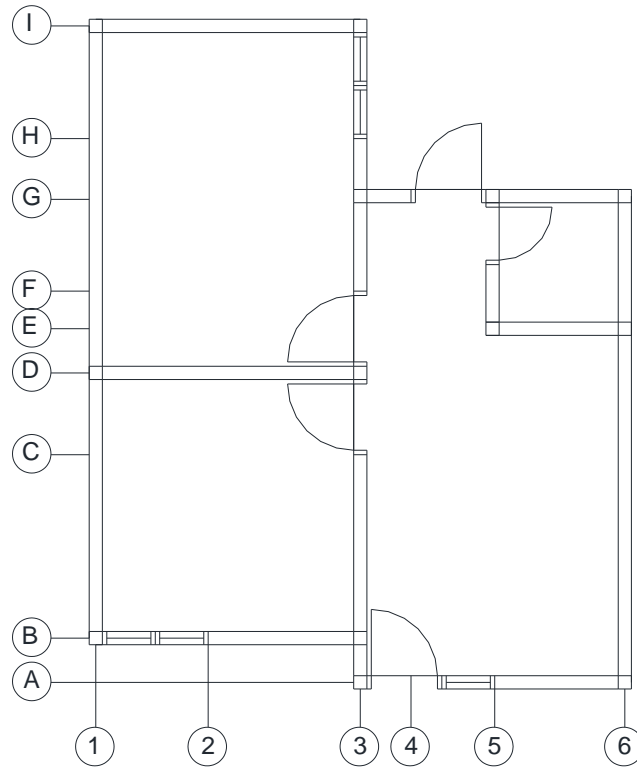
24,28 > 2,33 (memenuhi)

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{114000}{5476,69} \geq 2,33$$

20,82 > 2,33 (memenuhi)

- Kontrol keamanan tiap dinding



Gambar 4.22. Penamaan dinding rumah tipe 40

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 B1 - D1 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 1,7321 / 2 + 1700 \times 3 \times 3 \times 0,15$$

$$P_U = 3119,51 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{3119,51} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 16,4449 > 2,3333$$

- Dinding D1 - I1 dengan panjang 4 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 4 = 68400 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 4 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 3,5 \times 2,02073 / 2 + 1700 \times 0,15 \times (1,7321 + 2,0207) / 2 \times 0,5 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 4$$

$$P_U = 4416,99 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{68400}{4416,99} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 15,4857 > 2,3333$$

- Dinding B2 – B3 dengan panjang 1,725 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,725 = 29497,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 3,5 \times 5,0415 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 1,725$$

$$P_U = 2363,88 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{29497,5}{2363,88} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,4784 > 2,3333$$

- Dinding I1 – I3 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 3,5 \times 4,0415 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 3164,25 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{3164,25} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 16,2124 > 2,3333$$

- Dinding A3 – C3 dengan panjang 2,575 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 2,575 = 44032,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3,5 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 2,575 \times 1,5877 / 2 + 1700 \times 0,15 \times (1,5877 + 1,1547) / 2 \times 0,925 + 1700 \times 0,15 \times 2,575 \times 4,1547$$

$$P_U = 4283,05 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{44032,5}{4283,05} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,2807 > 2,3333$$

- Dinding F3 – H3 dengan panjang 1,725 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,725 = 29497,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 4 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 0,65 + 1700 \times 0,15 \times 2 \times 1,1547 + 1700 \times 0,15 \times 1,705 \times 4,1547$$

$$P_U = 2441,05 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{29497,5}{2441,05} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,0839 > 2,3333$$

- Dinding A5 – A6 dengan panjang 1,475 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,475 = 25222,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 1,475 \times 4,1547 + 50 \times 3 \times 4,1754$$

$$P_U = 2351,00 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{25222,5}{2351,00} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,7284 > 2,3333$$

- Dinding G3 – G4 dengan panjang 0,575 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 0,575 = 9832,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 1,5 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 1,5 \times 3,1754 + 1700 \times 0,15 \times 4,1547 \times 0,575$$

$$P_U = 928,34 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{9832,5}{928,34} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 10,5915 > 2,3333$$

- Dinding G5 – G6 dengan panjang 1,5 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,5 = 25650 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 1,5 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 1,5 \times 3,1754 + 1700 \times 0,15 \times 1,5 \times 4,1547$$

$$P_U = 1908,33 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{25650}{1908,33} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 13,4411 > 2,3333$$

- Dinding A6 – E6 dengan panjang 4 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 4 = 68400 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 4 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 4 \times 4,1547 + 1700 \times 0,15 \times 0,5 \times 2,75 \\ \times 1,5877 + 1700 \times 0,15 \times 1,25 \times (1,5877 + 0,866)/2$$

$$P_U = 5401,55 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{68400}{5401,55} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 12,663 > 2,3333$$

- Dinding E6 – G6 dengan panjang 1,5 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,5 = 25650 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 1,5 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 1,5 \times 4,1547 + 1700 \times 0,15 \times 0,5 \times \\ 1,5 \times 0,866$$

$$P_U = 1835,8 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{25650}{1835,8} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 13,9721 > 2,3333$$

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 $10,28 > 2,33$ sehingga telah memenuhi kebutuhan.

2. Tipe 45

Berdasarkan denah rumah tipe 45 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 .

$$A_p = (3 \times 7,5 + 2,35 \times 2,5 + 3 \times 4 + 2,5 \times 1,65) = 44,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (7 + 2,5 + 3 + 3 + 4 - (0,85 \times 4 + 1,2 \times 3)) \times 0,15 = 1,875 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (2,5 + 3 + 2,5 + 3 + 3 + 1,5 + 1,5 + 3 + 3 - 0,85 - 0,85) \times 0,15 = 3,195 \text{ m}^2$$

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

$$\text{Arah x, } d = \frac{1,875}{44,5} = 0,0421 = 4,2\%$$

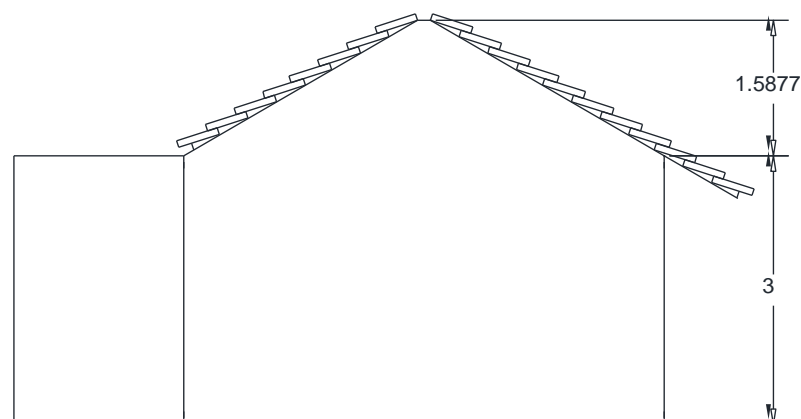
$$\text{Arah y, } d = \frac{3,195}{44,5} = 0,0718 = 7,2\%$$

$$\sum d = d_x + d_y = 0,0421 + 0,0718 = 0,1139$$

Berdasarkan tabel 2.4, nilai d untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai d terkecil ada pada arah x dengan nilai $4,2\% > 2,5\%$.

- 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 4.23. Tampak samping bangunan tipe 45.

$$\begin{aligned} \text{Panjang balok} &= (1,65 + 4 + 2,5 + 3 + 2,5 + 3 + 2,85 + 2,85 + 3 + 2,5 + 3 + 2,5 + 1,5 + 1,5 \\ &\quad + 3 + 3 + 3 + 3) \\ &= 48,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas atap} &= 5,35 \times 3,1754 + 5,35 \times 4,1754 \\ &= 39,3271 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

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

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 (α) adalah 30° .

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

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

Tabel 4.17. Berat per satuan luas.

Beban Mati	
1. Beton (2400 kg/m ³)	
a. Portal	
Balok	
48,35 x 0,15 x 0,15 x 2400	= 2610,90 kg
Kolom	
17 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	= 1377,00 kg
Plat	
13,95 x 0,1 x 2400	= 3348,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)	
5,1975 x 1700 x 1,5	= 13253,63 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)	
18 x 44,5	= 801,00 kg
4. Atap (50 kg/m ²)	
39,32706 x 50	= 1966,35 kg
Total beban mati	23356,88 kg
Beban Hidup	
1. Atap beban air hujan ($W_{ah}=16 \text{ kg/m}^2$)	
16 x 44,5	= 712,00 kg
Total beban hidup	712,00 kg
Total Berat per luas lantai bangunan	
D + L	= 24068,88 kg

Perhitungan berat pada *Tabel 4.17* didapatkan nilai $W_T = 24068,88 \text{ kg}$. Gaya seismik (V_u), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 24068,88 = 5134,694 \text{ kg}$$

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 3 kg/cm^2 . Nilai v didapat dari persamaan (2-18) dan nilai σ_U didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{24068,88}{5,07} = 4747,31 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 4747,31) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16424,19 < 45000 \text{ kg/m}^2$$

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

$$V_{RX} = 16424,19 \times 1,875 = 30795,36 \text{ kg}$$

$$V_{RY} = 16424,19 \times 3,195 = 52475,30 \text{ kg}$$

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

$$\text{Untuk arah x, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{30795,36}{5134,694} \geq 1,6$$

$$6,00 > 1,6 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Untuk arah y, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{52475,30}{5134,694} \geq 1,6$$

$$10,22 > 1,6 \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_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 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 untuk dinding eksterior adalah 0,6, sehingga didapat nilai:

Dinding interior :

$$\sigma_R = 0,7 (15 + 4) = 13,3 \text{ kg/cm}^2 = 133000 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (15 + 4) = 11,4 \text{ kg/cm}^2 = 114000 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{133000}{4747,31} \geq 2,33$$

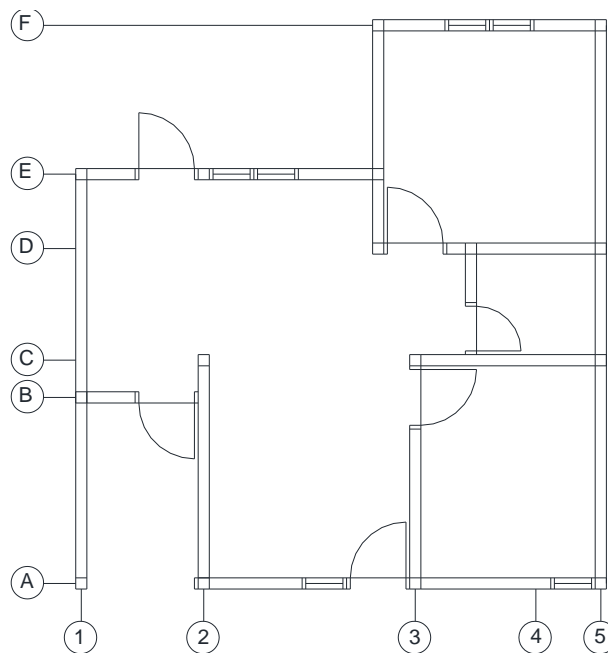
$$28,02 > 2,33 \text{ (memenuhi)}$$

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{114000}{4747,31} \geq 2,33$$

$$24,01 > 2,33 \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol keamanan tiap dinding



Gambar 4.24. Penamaan dinding rumah tipe 45

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 A1 - B1 dengan panjang 2,5 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 2,5 = 42750 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 2,5 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,825 \times (2,5 + 1,675)/2 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 2,5$$

$$P_U = 2460,83 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{42750}{2460,83} \geq 2,3333$$

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

- Dinding B1 - E1 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,825 \times (3 + 1,35)/2 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 2887,65 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{2887,65} \geq 2,3333$$

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

- Dinding A2 – C2 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,825 \times (3 + 1,35) \times 0,5 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3 + 1700 \times 0,15 \times 5,5 \times 1,5877$$

$$P_U = 4001,03 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{4001,03} \geq 2,3333$$

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

- Dinding A2 – A3 dengan panjang 1,325 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,325 = 22657,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 2,85 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 2,85 \times 4,1754 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 1,325$$

$$P_U = 1762,52 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{22657,5}{1762,52} \geq 2,3333$$

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

- Dinding A3 – A5 dengan panjang 1,825 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,825 = 31207,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 2,5 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 2,5 \times 4,1754 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 1,825$$

$$P_U = 2053,05 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{31207,5}{2053,05} \geq 2,3333$$

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

- Dinding F4 – F5 dengan panjang 0,9 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 0,9 = 15390 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 1,5 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 1,5 \times 1,5 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 0,9$$

$$P_U = 1039,5 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{15390}{1039,5} \geq 2,3333$$

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

- Dinding A5 – C5 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3 + 1700 \times 0,15 \times 2,75 \times 0,5 \times 1,5877 + 1700 \times 0,15 \times 0,25 \times (1,5877 + 1,4434) \times 0,5$$

$$P_U = 3110,31 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{3110,31} \geq 2,3333$$

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

- Dinding D5 – F5 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 3 \times 1,5 + 1700 \times 0,5 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 2997 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{2997} \geq 2,3333$$

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

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 $12,82 > 2,33$ sehingga telah memenuhi kebutuhan.

3. Tipe 65

Berdasarkan denah rumah tipe 65 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 .

$$A_p = (3 \times 8,25 + 3 \times 6,75 + 3 \times 5,75) = 62,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah x, } A_w = (3 \times 9 - (0,85 \times 5 + 1,2 \times 3 + 0,6 \times 3)) \times 0,15 = 2,6025 \text{ m}^2$$

$$\text{Arah y, } A_w = (3 \times 4 + 1 + 2,75 \times 2 + 1,75 \times 2 + 3,5 \times 2 - 0,85 - 0,7) \times 0,15 = 4,1175 \text{ m}^2$$

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

$$\text{Arah x, } d = \frac{2,6025}{62,25} = 0,0418 = 4,18\%$$

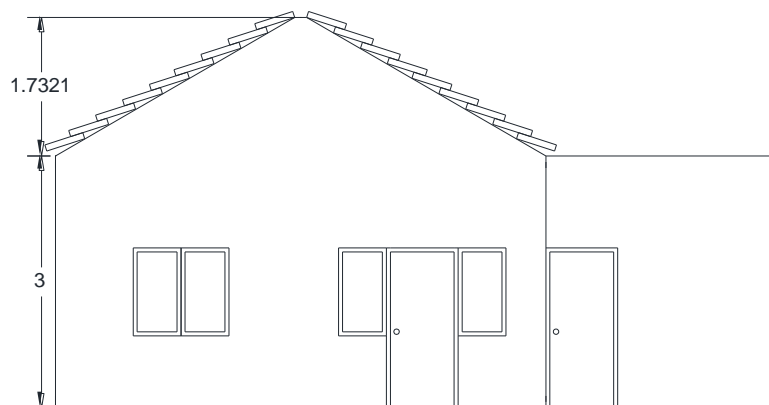
$$\text{Arah y, } d = \frac{4,1175}{62,25} = 0,0662 = 6,62\%$$

$$\sum d = d_x + d_y = 0,041807 + 0,066145 = 0,108$$

Berdasarkan tabel 2.4, nilai d untuk Kota Malang dengan $PGA \leq 4$, harus lebih besar dari nilai minimum yaitu 2,5%. Nilai d terkecil ada pada arah x dengan nilai 4,2% > 2,5%.

- 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 4.25. Tampak depan bangunan tipe 65.

$$\text{Panjang balok} = (3 + 1,75 + 3,5 + 3 + 3 + 3 + 3 + 1,75 + 3 + 1,75 + 3,5 + 3 + 3 + 3 + 1 + 3 + 2,75 + 3 + 3 + 3 + 3 + 2,75)$$

$$= 60,75 \text{ m}$$

$$\text{Luas atap} = 7,75 \times 3,4641 + 9,25 \times 3,4641$$

$$= 58,8897 \text{ m}^2$$

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

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 (α) adalah 30° .

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

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

Tabel 4.18. Berat per satuan luas.

Beban Mati		
1. Beton (2400 kg/m ³)		
a. Portal		
Balok		
60,75 x 0,15 x 0,15 x 2400	=	3280,50 kg
Kolom		
19 x 0,15 x 0,15 x 1,5 x 2400	=	1539,00 kg
Plat (2400 kg/m ³)		
3 x 5,75 x 0,1 x 2400	=	4140,00 kg
2. Dinding (1700 kg/m ³)		
6,72 x 1,5 x 1700	=	17136,00 kg
3. Plafon dan penggantung langit-langit (18 kg/m ²)		
18 x 62,25	=	1120,50 kg
4. Atap (50 kg/m ²)		
58,8897 x 50	=	2944,49 kg
Total beban mati		30160,49 kg
Beban Hidup		
1. Atap beban air hujan ($W_{ah}=16 \text{ kg/m}^2$)		
16 x 62,25	=	996,00 kg
Total beban hidup		996,00 kg
Total Berat per luas lantai bangunan		
D + L	=	31156,49 kg

Perhitungan berat pada *Tabel 4.18* didapatkan nilai $W_T = 31156,49 \text{ kg}$. Gaya seismik (V_u), atau disebut gaya geser dasar seismik, didapat dari persamaan (2-10):

$$V_u = 0,2133 \times 31156,49 = 6587,84 \text{ kg}$$

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 3 kg/cm^2 . Nilai v didapat dari persamaan (2-18) dan nilai σ_U didapat dari persamaan (2-19)

$$\sigma_U = \frac{31156,49}{6,72} = 4595,31 \text{ kg/m}^2$$

$$v = (0,5 \times 30000 + 0,3 \times 4595,31) \leq 1,5 \times 30000$$

$$v = 16378,59 < 45000 \text{ kg/m}^2$$

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

$$V_R \text{ untuk arah x} = 16378,59 \times 2,6025 = 42625,29 \text{ kg}$$

$$V_R \text{ untuk arah y} = 16378,59 \times 4,1175 = 67438,86 \text{ kg}$$

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

$$\text{Untuk arah x, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{42625,29}{6587,84} \geq 1,6$$

$$6,47 > 1,6 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Untuk arah y, } \frac{V_R}{V_U} = \frac{67438,86}{6587,84} \geq 1,6$$

$$10,24 > 1,6 \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol *Wall Density Index* terhadap beban gravitasi

Kuat tekan (σ_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 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 untuk dinding eksterior adalah 0,6, sehingga didapat nilai:

Dinding interior :

$$\sigma_R = 0,7 (15 + 4) = 13,3 \text{ kg/cm}^2 = 133000 \text{ kg/m}^2$$

Dinding eksterior :

$$\sigma_R = 0,6 (15 + 4) = 11,4 \text{ kg/cm}^2 = 114000 \text{ kg/m}^2$$

Kontrol tegangan menggunakan persamaan (2-24),

Pada dinding interior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{133000}{4595,31} \geq 2,33$$

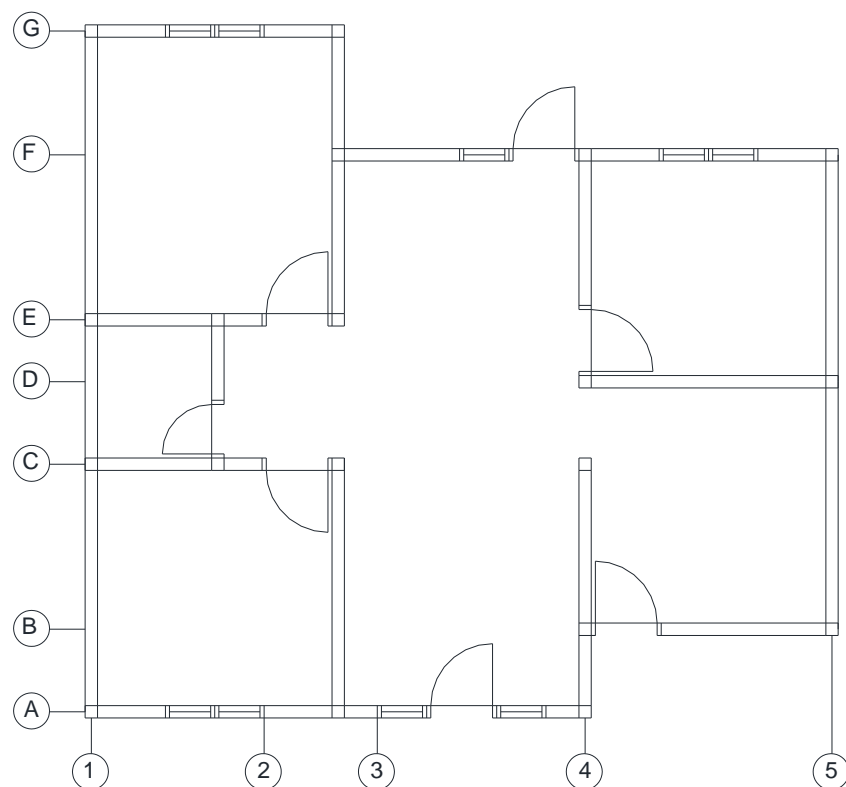
28,94 > 2,33 (memenuhi)

Pada dinding eksterior

$$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} = \frac{114000}{4595,31} \geq 2,33$$

24,81 > 2,33 (memenuhi)

- Kontrol keamanan tiap dinding



Gambar 4.26. Penamaan dinding rumah tipe 65

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 A1 - C1 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 3 \times 3,4641 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 2976,62 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{2976,62} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,2343 > 2,3333$$

- Dinding E1 - G1 dengan panjang 3,5 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3,5 = 59850 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3,5 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 3,5 \times 3,4641 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3,5$$

$$P_U = 3472,72 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{59850}{3472,72} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,2343 > 2,3333$$

- Dinding A2 – A3 dengan panjang 1,375 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,35 = 23512,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 1700 \times 0,15 \times 0,9 \times 0,5 \times 1,2124 + 1700 \times 0,15 \times 0,475 \times 0,5 \times 1,4578 + 1700 \times 3 \times 1,375 \times 0,15 + 50 \times 1 \times 1,5877$$

$$P_U = 1520,68 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{23512,5}{1520,68} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 15,4619 > 2,3333$$

- Dinding A4 – D4 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 4 \times 3,4641 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 4 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 1,5 \times 3$$

$$P_U = 4508,82 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{4508,82} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 11,3778 > 2,3333$$

- Dinding D4 – F4 dengan panjang 1,825 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 1,825 = 31207,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 2,75 \times 0,15 \times 0,15 + 50 \times 2,75 \times 3,4641 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 2,75 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 2,75 \times 1,375$$

$$P_U = 3182,31 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{31207,5}{3182,31} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 9,8065 > 2,3333$$

- Dinding B4 – B5 dengan panjang 2,075 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 2,075 = 35482,5 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 3 \times 1,5 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 2,075$$

$$P_U = 2289,38 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{35482,5}{2289,38} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 15,4988 > 2,3333$$

- Dinding D4 – D5 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 1,5 \times 3 + 2400 \times 0,1 \times 1,375 \times (3 + 0,25) \times 0,5 + 1700 \times 0,15 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 3533,25 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{3533,25} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 14,5192 > 2,3333$$

- Dinding B5 – D5 dengan panjang 3 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 3 = 51300 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 3 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 3 \times 1,5 + 1700 \times 0,5 \times 3 \times 3$$

$$P_U = 2997 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{2997} \geq 2,3333$$

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

- Dinding D5 – F5 dengan panjang 2,75 m

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

$$P_R = 114000 \times 0,15 \times 2,75 = 47025 \text{ kg}$$

$$P_U = 2400 \times 2,75 \times 0,15 \times 0,15 + 2400 \times 0,1 \times 0,5 \times 2,75 \times 1,375 + 1700 \times 0,5 \times 2,75 \times 3$$

$$P_U = 2706 \text{ kg}$$

$$\frac{P_R}{P_U} = \frac{51300}{2706} \geq 2,3333$$

$$\frac{P_R}{P_U} = 17,3781 > 2,3333$$

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 $9,81 > 2,33$ sehingga telah memenuhi kebutuhan.

4.3 Pembahasan

Tabel 4.19. Perbandingan 3 tipe bangunan

Parameter	Tipe			Referensi			Keterangan	
	40	45	65	SNI (2012)	Blondet (2005)	Meli (2011)		Building (2009)
Bentuk bangunan	$\frac{x_p}{X}$	0,5	0,43	0,33			$\frac{x_p}{X} > 0,15$	<i>Irregular</i>
	$\frac{y_p}{Y}$	0,27	0,27	0,18			$\frac{y_p}{Y} > 0,15$	
Distribusi dinding. e (m)		0,31	0,83	0,18	$\leq 0,3$ b			Simetris dan merata
	$\frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}}$	1,25	1,07	1,09		$\frac{p}{l} \leq 4$		Bangunan tidak panjang
Wall Density Index	dx	5,20%	4,21%	4,18%			$d \geq 2,5\%$	Memenuhi
	dy	7,16%	7,18%	6,62%				
Kontrol kapasitas seismik menggunakan Wall Density Index	$\frac{V_{Rx}}{V_U}$	$\frac{32453,86}{5415,35} = 5,99$	$\frac{30795,36}{5134,69} = 6,00$	$\frac{42525,29}{6587,84} = 6,47$			$\frac{V_R}{V_U} \geq 1,6$	Memenuhi
	$\frac{V_{Ry}}{V_U}$	$\frac{44686,48}{5415,35} = 8,25$	$\frac{52475,30}{5134,69} = 10,22$	$\frac{67438,86}{6587,84} = 10,24$				
Kontrol Wall Density Index terhadap beban gravitasi	Interior	$\frac{133000}{5476,69} = 24,28$	$\frac{133000}{4747,31} = 28,02$	$\frac{133000}{4595,31} = 28,94$			$\frac{\sigma_R}{\sigma_U} \geq 2,33$	Memenuhi
	Eksterior	$\frac{114000}{5476,69} = 20,82$	$\frac{114000}{4747,31} = 24,01$	$\frac{114000}{4595,31} = 24,81$				
Kontrol dukung dinding	tiap	$\frac{P_R}{P_U} = 10,28$	$\frac{51300}{4001,03} = 12,82$	$\frac{31207,5}{3182,31} = 9,81$			$\frac{P_R}{P_U} \geq 2,33$	Memenuhi

Berdasarkan *Tabel 4.19* didapatkan hasil bahwa segi bentuk bangunan untuk ketiga tipe rumah semuanya berbentuk *irregular* karena sesuai dengan persyaratan Building Seismic Safety Council (2009) dimana $\frac{x_p}{X} > 0,15$ dan $\frac{y_p}{Y} > 0,15$ dengan rincian untuk tipe 40, tipe 45 dan tipe 65 berturut-turut sebesar $0,5 > 0,15$ dan $0,27 > 0,15$; $0,43 > 0,15$ dan $0,27 > 0,15$; $0,33 > 0,15$ dan $0,18 > 0,15$, sedangkan untuk distribusi dinding ketiga denah baik itu tipe 40, tipe 45 dan tipe 65 memiliki distribusi dinding simetris dan merata dengan nilai eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding untuk tipe 40 sebesar $0,31 < 0,3 b$, dengan nilai b pada bangunan tipe 40 sebesar 6 m sehingga nilai $0,3b = 0,3 \times 6 = 1,8$. Pada tipe 45 nilai eksentrisitas sebesar $0,83 < 0,3 b$, dengan nilai b pada bangunan tipe 45 sebesar 7 m sehingga nilai $0,3b = 0,3 \times 7 = 2,1$. Pada tipe 65 nilai eksentrisitas sebesar $0,18 < 0,3 b$, dengan nilai b pada bangunan tipe 65 sebesar 8,25 m sehingga nilai $0,3b = 0,3 \times 8,25 = 2,475$. Dari segi perbandingan panjang dengan lebar yang syaratnya harus kurang dari 4, ketiga bangunan tersebut telah memenuhi syarat $\frac{p}{l} \leq 4$. Dengan nilai perbandingan panjang dengan lebar untuk tipe 40 sebesar 1,25, untuk tipe 45 sebesar 1,07 dan untuk tipe 65 sebesar 1,09. Sehingga ketiga bangunan tersebut telah memenuhi syarat dari bentuk bangunan tahan gempa.

Adapun syarat kapasitas ketahanan gempa yang menggunakan metode *Wall Density Index* menurut Meli, dkk nilai *Wall Density Index* untuk daerah Malang harus lebih besar dari 2,5% untuk bangunan 1 lantai. Pada bangunan tipe 40 indeks kerapatan dindingnya untuk $dx = 5,2\%$ dan $dy = 7,16\%$. Pada bangunan tipe 45 indeks kerapatan dindingnya untuk $dx = 4,21\%$ dan $dy = 7,18\%$. Pada bangunan tipe 65 indeks kerapatan dindingnya untuk $dx = 4,18\%$ dan $dy = 6,62\%$. Dengan demikian ketiga bangunan telah memenuhi syarat indeks kerapatan dindingnya dengan kerapatan dinding arah x yang paling kecil dibandingkan kerapatan dinding arah y .

Kontrol kapasitas seismik menggunakan *Wall Density Index* dengan syarat $\frac{V_R}{V_U} \geq 1,6$. Pada tipe 40 nilai kapasitas seismik arah x dan arah y sebesar 5,99 dan 8,25. Pada tipe 45 nilai kapasitas seismik arah x dan arah y sebesar 6,00 dan 10,22. Pada tipe 65 nilai kapasitas seismik arah x dan arah y sebesar 6,47 dan 10,24. Dengan demikian ketiga bangunan telah memenuhi terhadap seismik yang 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 40 dengan dinding interior dan ekterior sebesar 24,28 dan 20,82. Untuk denah tipe 45 dengan dinding interior dan ekterior sebesar 28,02 dan 24,01. Untuk

denah tipe 65 dengan dinding interior dan ekterior sebesar 28,94 dan 24,81. Dengan demikian ketiga bangunan tersebut kebutuhan kerapatan dinding terhadap beban gravitasi telah memenuhi syarat.

Adapun kontrol daya dukung pada setiap dinding yang ditinjau pada dinding paling kritis didapatkan nilai untuk tipe 40 sebesar 10,28, untuk tipe 45 sebesar 12,82 dan untuk tipe 65 sebesar 9,81. Dengan syarat $\frac{P_R}{P_U} \geq 2,33$ maka tiap dinding pada bangunan tersebut telah memenuhi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penulisan ini adalah:

1. Tipe 40 memiliki bentuk bangunan *irregular* dengan syarat $\frac{X_p}{X} = 0,5 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = 0,27 > 0,15$, untuk distribusi dinding dikatakan simetris dan merata karena nilai eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding tergolong kecil yaitu $0,31 < 1,8$ dan untuk perbandingan panjang-lebarnya sebesar 1,25 dengan syarat harus lebih kecil dari 4. Tipe 45 memiliki bentuk bangunan *irregular* dengan syarat $\frac{X_p}{X} = 0,43 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = 0,27 > 0,15$, untuk distribusi dinding dikatakan simetris dan merata karena nilai eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding tergolong kecil yaitu $0,83 < 2,1$ dan untuk perbandingan panjang-lebarnya sebesar 1,207 dengan syarat harus lebih kecil dari 4. Tipe 65 memiliki bentuk bangunan *irregular* dengan syarat $\frac{X_p}{X} = 0,33 > 0,15$ dan $\frac{Y_p}{Y} = 0,18 > 0,15$, untuk distribusi dinding dikatakan simetris dan merata karena nilai eksentrisitas pusat massa terhadap pusat kekakuan dinding tergolong kecil yaitu $0,18 < 2,475$ dan untuk perbandingan panjang-lebarnya sebesar 1,09 dengan syarat harus lebih kecil dari 4. Berdasarkan denah dapat disimpulkan untuk semua tipe rumah bentuk denahnya sudah memenuhi persyaratan gempa.
2. Berdasarkan hasil analisis, denah tipe 40 memiliki nilai *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $5,2\% > 2,5\%$, kontrol kapasitas seismik menggunakan *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $5,99 > 1,6$, kontrol *Wall Density Index* terhadap gaya gravitasi terletak pada dinding ekterior yaitu $20,82 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil yaitu $10,28 > 2,33$. Kemudian pada denah tipe 45 memiliki nilai *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $4,21\% > 2,5\%$, kontrol kapasitas seismik menggunakan *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $6,00 > 1,6$, kontrol *Wall Density Index* terhadap gaya gravitasi terletak pada dinding ekterior yaitu $24,01 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil yaitu $12,82 > 2,33$. Kemudian pada denah tipe

65 memiliki nilai *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $4,18\% > 2,5\%$,
kontrol kapasitas

seismik menggunakan *Wall Density Index* terkecil pada arah x yaitu $6,47 > 1,6$, kontrol *Wall Density Index* terhadap gaya gravitasi terletak pada dinding ekterior yaitu $24,81 > 2,33$, dan kontrol daya dukung pada setiap dinding terkecil yaitu $9,81 > 2,33$. Berdasarkan hasil analisis didapatkan kesimpulan ketiga tipe rumah sudah memenuhi kapasitas ketahanan gempa menggunakan metode *Wall Density Index*.

5.2 Saran

Adapun kajian untuk selanjutnya adalah:

1. Menggunakan nilai *compressive strength* dan *basic shear strength* pada umumnya yang digunakan pada rumah tinggal di Indonesia.
2. Perlunya analisis lebih lanjut dalam pengaruh eksentrisitas terhadap dinding yang diakibatkan gaya gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Malang. 2016. *Kota Malang Dalam Angka 2016*. Malang. Badan Pusat Statistik.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI-1726. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI-1726. Jakarta.
- Blondet, M. 2005. *Construction and Maintenance of Masonry Houses for Masons and Craftsman*. Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Boen, T. 2005. *Constructing Seismic Resistant Masonry Houses in Indonesia*. United Nations Centre for Regional Development (UNCRD).
- Boen, T. 2001. *Earthquake Resistant Design of Non-Engineered Buildings In Indonesia*. Makalah disajikan dalam EQTAP Workshop IV, Kamakura, 3-4 Desember.
- Brzev, S. 2008. *Earthquake-Resistant Confined Masonry Construction*. National Information Center of Earthquake Engineering.
- Building Seismic Safety Council. 2009. *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*. Washington, D.C.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. *Pedoman Teknis Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Frick, H. 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan I*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Meli, R., Brzev, S., Astroza, M., Boen, T., Crisafulli, F., Dai, J., Farsi, M., Hart, T., Mebarki, A., Moghadam, A.S., Quiun, D., Tomazzevic, M. & Yamin, L. 2011. *Seismic Design Guide for Low-Rise Confined Masonry*. Gujarat: Gujarat State Disaster Management Authority.
- Suharjanto. 2013. *Rekayasa Gempa*. Yogyakarta: Amara Books.

Widomoko. 1995. *Konstruksi Bangunan I Dasar-dasar Perencanaan dan Bangunan Tidak Bertingkat*. Malang. Instruktur Teknologi Nasional