

**ANALISA BANGUNAN SEDERHANA PADA TANAH
TERLIKUI FAKSI DI KOTA PADANG
(STUDI KASUS : BANGUNAN RUMAH MASYARAKAT DI KOTA
PADANG)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Program Strata-1 pada jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Andalas Padang*

Oleh :

EGIATHARI
1010923022

Pembimbing :

DR.Ir. FEBRIN ANAS ISMAIL, M.T
DR. FAUZAN, M.Sc.Eng



**JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2014**

ABSTRAK

Likuifaksi (liquefaction) merupakan salah satu bahaya yang ditimbulkan dari gempa bumi. Pada saat gempa terjadi tanah mengalami perubahan sifat dari solid ke liquid akibat beban siklik yang diterima. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bangunan rumah satu lantai terhadap tanah terlikuifaksi dan menganalisa penurunan yang terjadi akibat tanah dan beban bangunan ditinjau berdasarkan tebal plat lantai yang digunakan sebagai perkutan struktur. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode analisa struktur dengan menggunakan data tanah existing bangunan berdasarkan hasil uji Cone Penetration Test (CPT). Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literature yang kemudian dianalisis menggunakan software SAP 2000 versi 11. Hasil analisis dari titik tinjau luar dan dalam bangunan memperlihatkan bahwa gaya dalam pada kolom mengalami penurunan nilai gaya. Penurunan diakibatkan oleh diberikannya pelat pada dasar lantai sehingga struktur menjadi kaku sedangkan momen lintang dan normal mengalami penurunan yang signifikan. Sedangkan penurunan bangunan yang terjadi setelah diberikannya plat lantai menjadi seragam sehingga penggunaan plat lantai dasar dapat dijadikan sebagai metoda baru dalam persoalan penurunan bangunan. Penelitian ini memberikan rekomendasi kepada pemerintah agar menjadi pertimbangan dalam membuat kebijakan terhadap bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi.

Kata Kunci : *Gempa Bumi, Likuifaksi, Base Plate*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia Nya, tugas akhir ini yang berjudul “Analisa Bangunan Sederhana Pada Tanah Terlikuifaksi di Kota Padang” dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan akademis untuk penyelesaian Program S1 Teknik Sipil Universitas Andalas.

Pada kesempatan ini, ucapan terima kasih dan penghargaan penulis sampaikan kepada:

1. Orang tua, atas segala doa, kasih sayang, pengertian, perhatian, dan dorongan yang diberikan.
2. Bapak DR.Ir. Febrin Anas Ismail, M.T selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan dan motivasi yang tiada hentinya.
3. Bapak Fauzan Dr.Eng selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan dan motivasi yang telah diberikan.
4. Seluruh dosen, staf pengajar dan karyawan/ti, serta rekan-rekan mahasiswa di lingkungan Fakultas Teknik khususnya Jurusan Teknik Sipil Universitas Andalas.

Semoga segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan, mendapat pahala di sisi Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak.

Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan dapat menambah wawasan kita semua. Mudah-mudahan Allah SWT merahmati kita semua.

Padang, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Likuifaksi	5
2.2 Efek Likuifaksi Terhadap Bangunan.	10
2.3 Hasil – Hasil Penelitian Terdahulu	15
2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Likuifaksi	20
2.5 Metode Estimasi Penurunan Tanah	22
2.6 Indeks Potensi Likuifaksi	26
2.7 Analisis Tanah.....	27
2.8 Struktur Bangunan Rumah Masyarakat.....	29
2.9 Potensi Likuifaksi Kota Padang.....	32

BAB 3. METODOLOGI

3.1 Kerangka Kerja	39
3.2 Uraian Skema Kerangka Kerja	
3.2.1 Masalah	40
3.2.2 Pengumpulan Data	40
3.2.3 Studi Literatur	40
3.2.4 Observasi Lapangan.....	40
3.2.5 Analisa Struktur Bangunan	40
3.2.6 Solusi	40
3.2.7 Desian Bangunan Sederhana Terhadap Tanah Likuifaksi	41

3.2.8 Pembuatan Laporan	41
-------------------------------	----

BAB 4. PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

4.1 Tinjauan Umum	43
4.2 Kondisi Eksisting Bangunan.....	43
4.3 Permodelan Struktur	45
4.3.1 Permodelan Struktur Atas	45
4.3.2 Permodelan Struktur Bawah.....	45
4.4 Analisa Struktur	54
4.4.1 Analisa Pembebanan	54
4.4.1.1 Beban Mati	54
4.4.1.2 Beban Hidup	55
4.4.1.3 Beban Gempa.....	55
4.4.1.4 Kombinasi Pembebanan.....	57

BAB 5. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisa Hasil Uji <i>Cone Penetration Test</i> (CPT).....	59
5.2 Analisa Struktur Kondisi Eksisting.	61
5.2.1 Gaya Dalam Kondisi Eksisting	62
5.2.2 <i>Point Displacement</i> Kondisi Eksisting.....	63
5.3 Perkuatan Struktur	65
5.3.1 Perkuatan Dengan Memberikan Plat Pada Bagian Lantai	66
5.3.2 Perbandingan Kondisi Variasi Plat dan Penurunan	66
5.3.2.1 Gaya Dalam Kolom.....	66
5.3.2.2 Displacement Akibat Variasi Plat Lantai.....	70
5.3.2.3 Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai	71

BAB 6. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan	75
6.2 Saran.	76

DAFTAR KEPUSTAKAAN

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1** Grafik Hubungan CN dan Tegangan Efektif Tanah (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982).
- Gambar 2.2** Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982)
- Gambar 2.3** Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982)
- Gambar 2.4** Hubungan qc_1 dan CSR atau CRR terhadap Potensi Likuifaksi (Robertson and Wride, 1998)
- Gambar 2.5** Bangunan apartemen yang rubuh akibat likuifaksi
- Gambar 2.6** Gedung perkantoran di Jepang yang miring akibat tanah terlikuifaksi
- Gambar 2.7** Amblasnya bangunan karena hilangnya daya dukung akibat likuifaksi. Gempa Izmit, Turki
- Gambar 2.8** Akibat likuifaksi gempa
- Gambar 2.9** Jatuhnya bentang jembatan karena adanya pergerakan lateral tanah akibat likuifaksi
- Gambar 2.10** Distribusi ukuran partikel tanah di area yang diuji
- Gambar 2.11** Distribusi ukuran partikel tanah di beberapa daerah di Bantul
- Gambar 2.12** Estimasi percepatan gempa di permukaan tanah (a) lokasi bangunan Masjid, (b) lokasi bangunan Perpustakaan UMY
- Gambar 2.13** Sebaran penurunan akibat likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta dan sekitarnya
- Gambar 2.14** Metoda Untuk Menentukan Potensi Likuifaksi (Seed & Idriss, 1982)
- Gambar 2.15** Hubungan antara regangan volumetric, kerapatan relative, dan faktor keamanan terhadap likuifaksi.
- Gambar 2.16** Hubungan nilai tahanan ujung seismic dan regangan volumetric untuk beragam faktor keamanan.
- Gambar 2.17** Hasil uji penerasi standar dan bor log
- Gambar 2.18** Distribusi ukuran butiran tanah pada lokasi pengujian untuk kedalaman tertentu
- Gambar 2.19** Rasio tegangan - tahanan penetrasi
- Gambar 2.20** Potensi likuifaksi ganda
- Gambar 3.1** Bagan Alir Penelitian
- Gambar 4.1** Tampak depan rumah masyarakat yang akan di analisa
- Gambar 4.2** Denah rumah masyarakat yang akan di analisa
- Gambar 4.3** Model Bangunan Struktur Atas
- Gambar 4.4** Cone resistance (qc) in Mpa and Friction ratio (R_f) in % (0 - 12 m)
- Gambar 4.5** Normalised cone resistance (q_{norm}) and Friction ratio (R_f) in %

- Gambar 4.6** Plot showing where data falls on the Robertson (1990) classification of soil behavior types.
- Gambar 4.7** Data klasifikasi tanah dari interpretasi
- Gambar 4.8** Permodelan lapisan tanah yang di inputkan ke SAP2000
- Gambar 4.9** Kotak Dialog Material Propertis
- Gambar 4.10** Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 1
- Gambar 4.11** Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 2
- Gambar 4.12** Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 3
- Gambar 4.13** Kotak Dialog Kolom
- Gambar 4.14** Kotak Dialog Balok
- Gambar 4.15** Kotak Dialog Balok
- Gambar 4.16** Kotak Dialog *Set Modifier* Kolom
- Gambar 4.17** Kotak Dialog *Set Modifier* Balok
- Gambar 4.18** Kotak Dialog *Set Modifier* Plat Lantai
- Gambar 4.19** Hasil respon spektrum gempa yang di inputkan ke SAP2000
- Gambar 5.1** Hasil pengolahandata klasifikasi tanah dari interpretasi berdasarkan warna pada SAP 2000.
- Gambar 5.2** Tanah solid pada SAP 2000
- Gambar 5.3** Permodelan struktur atas dan bawah pada SAP 2000.
- Gambar 5.4** Lokasi Titik Tinjau Kolom
- Gambar 5.5** Perbandingan Gaya Dalam Kolom Luar dan Dalam
- Gambar 5.6** Penurunan Pada Kondisi Eksisting
- Gambar 5.7** Penurunan Pada Kondisi Eksisting
- Gambar 5.8** Perkiraan Penurunan Distorsi Pada Kondasi Eksisting
- Gambar 5.9** Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 10 cm
- Gambar 5.10** Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 12 cm
- Gambar 5.11** Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 15 cm
- Gambar 5.12** Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 20 cm
- Gambar 5.13** Perbandingan Gaya Dalam Kolom Bagian Luar
- Gambar 5.14** Perbandingan Gaya Dalam Kolom Bagian Dalam
- Gambar 5.15** Displacement Arah X Bagian Luar Akibat Variasi Plat Lantai
- Gambar 5.16** Displacement Arah X Bagian Dalam Akibat Variasi Plat Lantai
- Gambar 5.17** Displacement Arah Y Bagian Luar Akibat Variasi Plat Lantai
- Gambar 5.18** Displacement Arah Y Bagian Dalam Akibat Variasi Plat Lantai
- Gambar 5.19** Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai Pada Titik Tinjau Luar
- Gambar 5.20** Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai Pada Titik Tinjau Dalam
- Gambar 5.21** Penurunan Pada Penambahan Plat 10 cm
- Gambar 5.22** Penurunan Setelah Diberikannya Plat 10 cm

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1** Empat gempa besar akibat merusak di ujung abad 20
- Tabel 2.2** Hubungan antara penurunan permukaan tanah dan derajat kerusakan bangunan
- Tabel 2.3** Persamaan empirik regangan seismic
- Tabel 2.4** Rasio tegangan - tahanan penetrasi
- Tabel 2.5** Tabel Potensi Likuifaksi di Kota Padang
- Tabel 2.6** Tabel Potensi Kedalaman Likuifaksi di Kota Padang
- Tabel 3.1** Jadwal Kegiatan Penelitian
- Tabel 4.1** Parameter tanah berdasarkan grafik
- Tabel 4.2** Modulus Elastisitas Elemen Struktur
- Tabel 4.3** Pembebanan akibat beban mati
- Tabel 4.4** Perbedaan Parameter Respon Spektra Gempa
- Tabel 4.5** Penentuan Parameter Respon Spektra Gempa 2012
- Tabel 4.6** Perbedaan Kombinasi Pembebanan SNI 03-1726-2002 dan 2012
- Tabel 5.1** Hasil pengolahan data klasifikasi tanah dari interpretasi
- Tabel 5.2** Propertis fisik tanah disekitar air tawar
- Tabel 5.3** Gaya Dalam Kolom Bagian Luar dan Dalam
- Tabel 5.4** Batas Izin Penurunan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumatera Barat khususnya kota Padang, merupakan daerah yang memiliki potensi sangat besar terhadap gempa. Sehingga hal ini menjadi perhatian khusus bagi kita semua. Berbicara tentang gempa bumi pasti ingatan kita tertuju pada kejadian September 2009 lalu. Tahun ini merupakan kejadian yang sangat memilukan di daerah Sumatra Barat khususnya Kota Padang. Bagaimana tidak pada saat itu Kota Padang diguncang gempa yang berkekuatan 7,6 Skala Richter yang berasal dari lepas pantai daerah Sumatra Barat. Akibat dari gempa bumi 2009 tersebut banyak aspek yang ditimbulkan. Aspek yang paling nyata terasa akibat dari gempa 2009 itu terletak pada struktur tanah. Akibat dari gempa tersebut tidak hanya menyebabkan runtuhnya dasar laut di Kepulauan Mentawai tetapi juga menyebabkan likuifaksi terjadi di hampir sebagian besar daerah di Sumatra Barat khususnya Kota Padang. Berdasarkan informasi yang didapat dari Peneliti Puslit Geoteknologi LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) menyebutkan bahwa wilayah utara Kota Padang mengalami penurunan tanah sekitar 25 cm akibat dari likuifaksi.

Likuifaksi sendiri merupakan ancaman bagi kerusakan konstruksi di Kota Padang yang mana dapat diakibatkan oleh kecepatan dan percepatan gempa serta perpindahan permukaan tanah. Dimana potensi dari likuifaksi ini terutama pada lapisan pasir yang jenuh air dengan adanya gaya siklik dinamik. Hal ini merupakan ancaman yang sangat mengkuatirkan bagi kita semua. Seperti mana yang kita ketahui bersama Kota Padang merupakan kota yang cukup sering diguncang gempa baik gempa bumi tektonik maupun gempa bumi vulkanik yang berada di sekitar wilayah atau daerah Kota Padang. Apabila intensitas ini terus meningkat dapat dipastikan penurunan tanah akibat likuifaksi di Kota Padang ini akan semakin besar.

Akibat dari gempa yang menyebabkan likuifaksi tersebut kebanyakan konstuksi bangunan yang ada di daerah Kota Padang ini mengalami kerusakan

di bagian strukturnya. Seperti yang kita ketahui struktur bangunan adalah inti dari bangunan itu sendiri. Apabila intinya tersebut bermasalah akan berdampak kepada bagian yang lainnya pula. Hal ini sangatlah berpengaruh besar terhadap konstruksi bangunan yang berada pada daerah gempa. Saat sekarang ini diinginkan struktur bangunan yang tahan terhadap bahaya likuifaksi.

1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

- a. Mengidentifikasi struktur bangunan rumah satu lantai terhadap tanah terlikuifaksi.
- b. Membuat model struktur yang aman untuk tanah yang berpotensi likuifaksi.
- c. Menganalisa penurunan yang terjadi akibat tanah dan beban bangunan ditinjau berdasarkan tebal plat lantai yang digunakan.

Manfaat dari hasil penelitian ini adalah untuk :

- a. Memberikan rekomendasi kepada pemerintah sebagai bahan pertimbangan dalam membuat kebijakan terhadap bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi.
- b. Memberikan rekomendasi kepada masyarakat sebagai bahan pertimbangan dalam membuat bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari penelitian terlalu luas, maka pembatasan masalah dalam penelitian akan berkonsentrasi pada beberapa hal yaitu:

- a. Penelitian hanya dilakukan di kawasan Kota Padang.
- b. Kawasan yang diteliti adalah kawasan perumahan masyarakat yang ada di Kota Padang.
- c. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode analisa struktur.

- d. Analisa yang dilakukan berdasarkan SNI gempa 2012 (SNI 03 – 1726 – 2012).
- e. Data tanah yang di peroleh adalah data tanah yang di dapat dari hasil pengujian di laboratorium terdahulu berdasarkan uji *Cone Penetration Test* (CPT).
- f. Analisa struktur yang digunakan menggunakan software SAP2000 versi 11.

1.4 Sistematka Penulisan

Sistematika penulisan proposal ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan dan manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori tentang likuifaksi secara umum, gambar bangunan akibat likuifaksi, hasil – hasil penelitian terdahulu, metoda estimasi penurunan tanah, indeks potensi likuifaksi, analisis tanah, faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi, dan analisa struktur.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metoda-metoda yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

Bab ini menjelaskan tentang bagaimana membuat permodelan pada software SAP 2000 tentang penggabungan antara struktur atas bangunan dengan struktur bawah bangunan dan apa saja yang akan di analisa.

BAB V ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan mengenai pembahasan hasil yang di peroleh dari permodelan dan analisa yang di lakukan menggunakan SAP 2000.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan hasil yang di dapat dari hasil penelitian tersebut dan memberikan saran kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Likuifaksi

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat dari beban siklis dinamis. Pada lapisan tanah, beban siklis dinamis terjadi akibat rambatan gelombang gempa bumi tektonik. Seed et al (1975) mendefinisikan, bahwa likuifaksi adalah proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air menjadi cair akibat meningkatnya tekanan air pori yang harganya menjadi sama dengan tekanan total oleh sebab terjadinya beban dinamik, sehingga tegangan efektif tanah menjadi nol. Liou (1976) mendefinisikan, bahwa likuifaksi adalah proses berubahnya tanah granular jenuh dari keadaan padat (solid) menuju keadaan berperilaku cair akibat kenaikan tekanan air pori.

Jadi dapat disimpulkan bahwa likuifaksi adalah kehilangan kekuatan tanah yang diakibatkan faktor alam dimana dari tanah yang keadaan solid menuju keadaan cair yang akan berpengaruh terhadap kekuatan tanah tersebut dalam memikul beban.

Kondisi ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.1)$$

dengan,

σ' = tegangan efektif,

σ = tegangan total (berat permukaan tanah)

u = tekanan air pori

Parameter likuifaksi merupakan parameter yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kriteria likuifaksi yang terjadi pada deposit tanah. Dimana dalam hal ini, perilaku likuifaksi pada tanah dipengaruhi oleh dua parameter utama, yaitu perlawanan terkoreksi (qc_1) dan rasio tegangan siklik (CSR).

Perhitungan nilai perlawanan terkoreksi qc_1 , dirumuskan oleh Seed dan Idriss (1971) sebagai berikut :

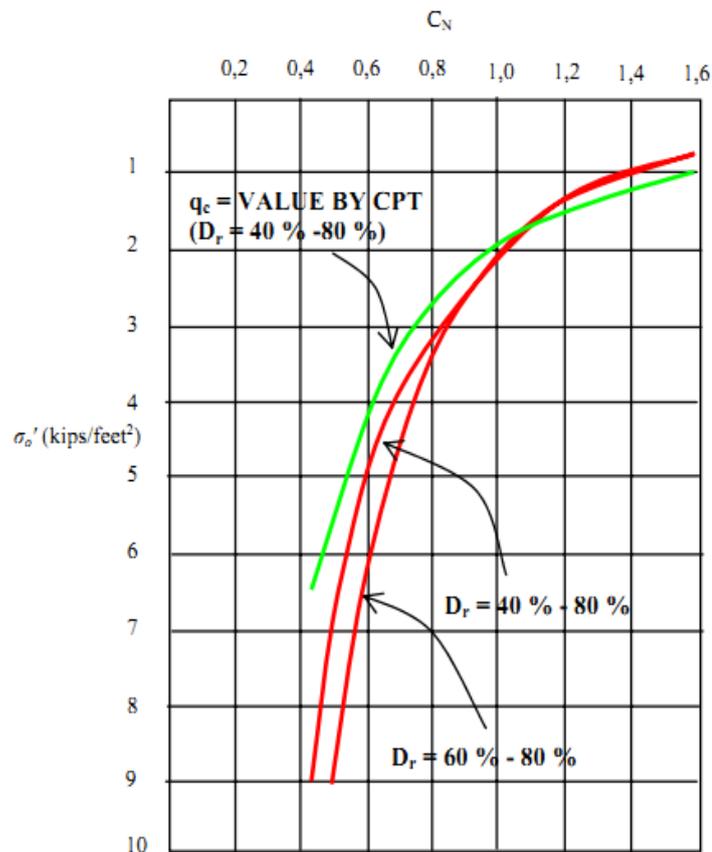
$$qc_1 = C1 \times qc = CN \cdot qc \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2.2)$$

dimana :

- qc_1 = perlawanan konus tekoreksi
- qc = perlawanan konus
- CN = faktor koreksi

Untuk faktor koreksi ditentukan hubungan antara teggangan efektif tanah dan CN pada gambar. Seed dan Idriss (1971) merumuskan persamaan perhitungan nilai CSR tanah, yaitu :

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad (2.3)$$



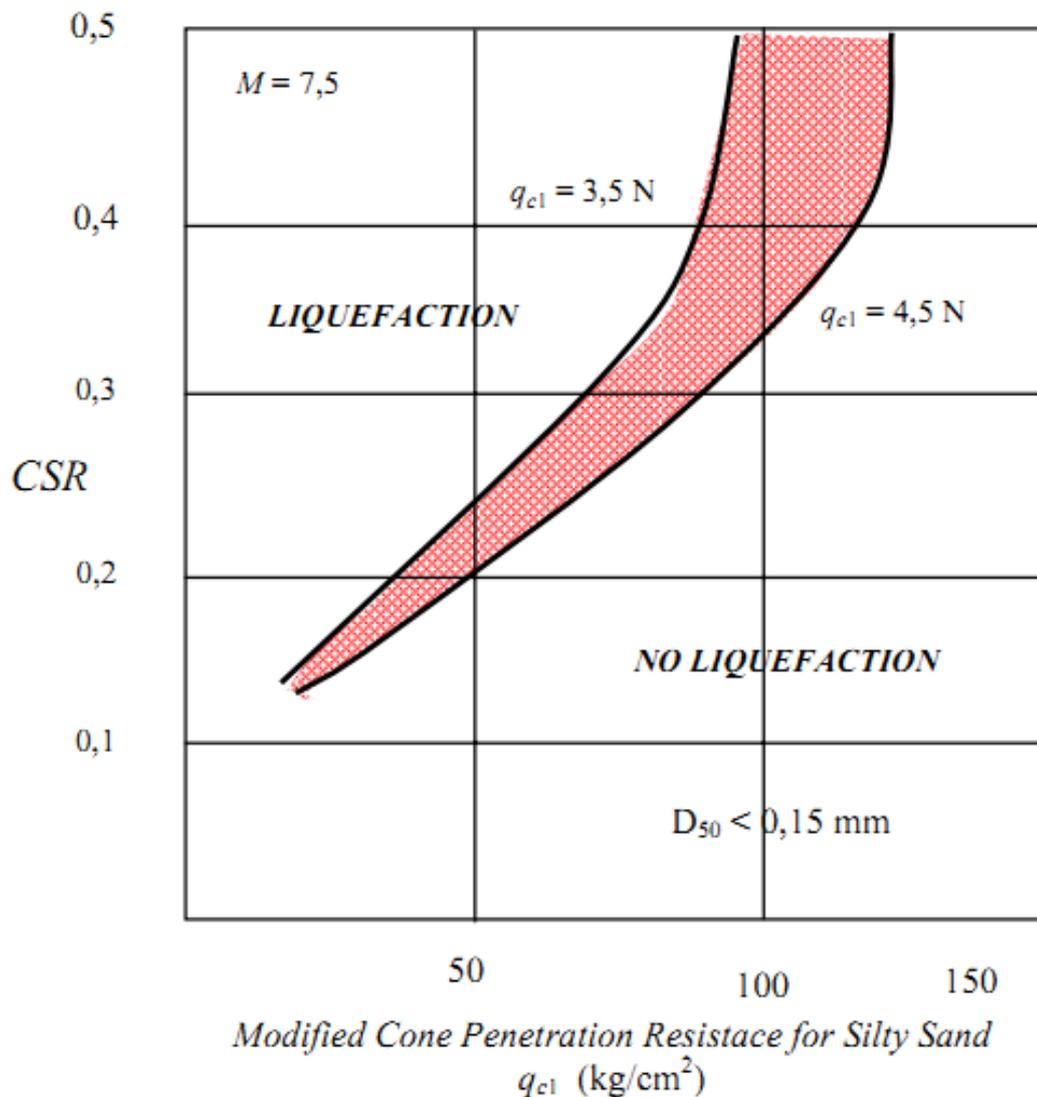
Gambar 2.1 Grafik Hubungan CN dan Tegangan Efektif Tanah (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982).

Dimana r_d merupakan koefisien reduksi tegangan pada suatu kedalaman yang dirumuskan untuk mengestimasi besarnya koefisien reduksi besaran CSR.

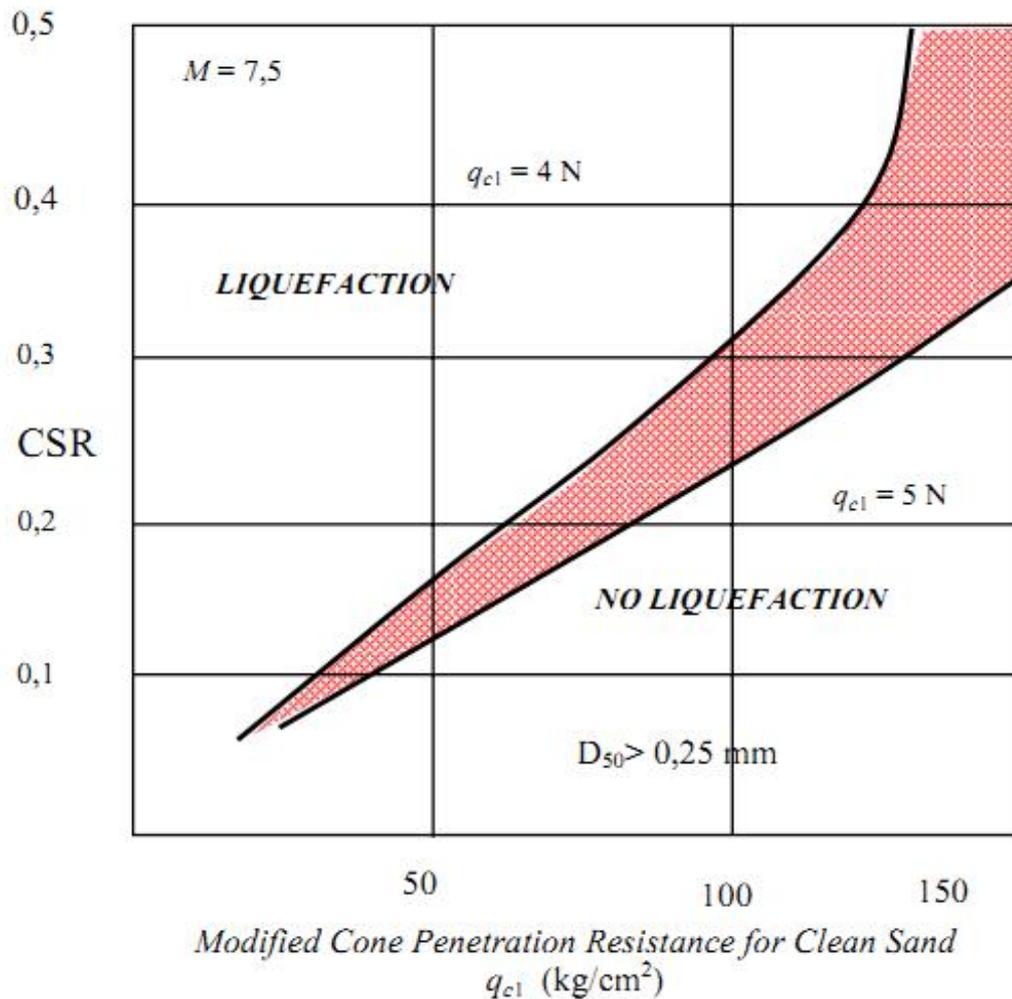
Formulasi untuk mengestimasi koefisien reduksi tegangan (Blake, 1996) yaitu:

$$r_d = \frac{1,0 - 0,4113z^{1,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1,0 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,00121z^2} \quad (4)$$

Seed dan Idriss (1971), menentukan potensi likuifaksi berdasarkan grafik pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3. Grafik tersebut merupakan hubungan antara CSR dan perlawanan konus terkoreksi.

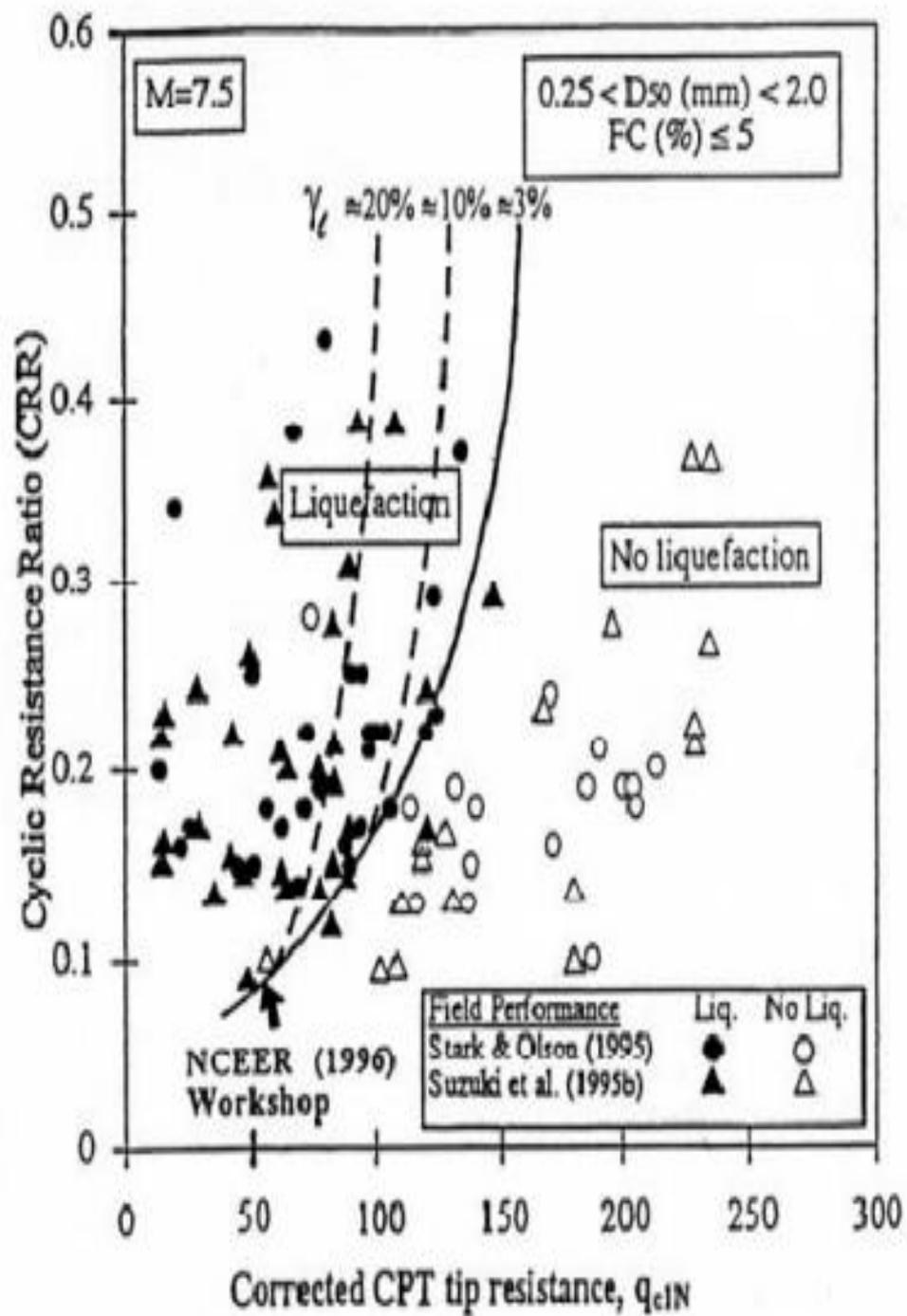


Gambar 2.2 Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982)



Gambar 2.3 Grafik CSR – Perlawanan Konus Terkoreksi Uji Sondir untuk Tanah Pasir Berlempung (*Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes*, Seed & Idriss, 1982)

Selain parameter yang telah disebutkan, dalam melakukan analisa potensi likuifaksi dibutuhkan suatu variabel yang diintegrasikan dalam sebuah persamaan yang dapat mendefinisikan kapasitas tanah sebagai tahanan likuifaksi. Para ahli menginisiasikan tahanan tanah terhadap likuifaksi dengan simbol CRR (*Cyclic Resistance Ratio*). Robertson dan Wride (1998) membuat sebuah rujukan dalam bentuk grafik hubungan CRR dengan Nilai q_{c1} terkoreksi pada pasir halus dengan FC (*Fine Contents*) $\leq 5\%$ dan grafik ini hanya berlaku untuk magnitudo gempa yang terjadi sebesar 7,5 SR. Grafik hubungan antara CRR dan q_c terkoreksi ditunjukkan oleh Gambar 2.4



Gambar 2.4 Hubungan q_{c1} dan CSR atau CRR terhadap Potensi Likuiifikasi (Robertson and Wride, 1998)

2.2 Efek Likuifaksi Terhadap Bangunan

Likuifaksi mengakibatkan keruntuhan daya dukung, pergerakan tanah lateral, beda penurunan pada bangunan, dan juga longsornya dam. Likuifaksi terjadi pada tanah pasir lepas yang jenuh air. Oleh karena itu, likuifaksi biasanya terjadi di pantai, dan daerah lain yang merupakan bekas aliran sungai atau danau dengan permukaan air tanah yang tinggi. Salah satu sebab utama gempa ini sangat merugikan adalah karena gempa ini terjadi pada daerah yang berpopulasi padat, dengan infrastruktur yang sudah jadi.

Kalau kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa Northridge dapat dikatakan paling kecil dibandingkan kerusakan yang ditimbulkan oleh tiga gempa lainnya (lihat Tabel 1), maka kemungkinan itu adalah hasil dari penerapan Peraturan Bangunan Tahan Gempa yg memadai secara ketat, tipe bangunan dan kondisi geologi lokal yang berbeda dengan daerah Kobe, misalnya.

Tabel 2.1 Empat gempa besar akibat merusak di ujung abad 20

Gempa	Terjadi	Kerugian (milyar US\$)	Mw*	Kedalaman pusat gempa(km)	Durasi (detik)	Sesar penyebab	PGA maksimum tercatat (g)
Northridge, Calif ornia	17 Jan. 1994 jam 4:31 pagi	15	6.7	18	15	Thrust-fault	1.8
Kobe, Jepang	17 Jan. 1995 jam 5:46 pagi	150	6.9	10	17	Thrust-fault	0.8
Izmit, Turkey	17 Ag. 1999, jam 3:02 pagi	40	7.4	17	45	Strike-slip fault	0.4
Taiwan	21 Sept. 1999 jam 1:47 pagi	30	7.6	15	32	Thrust-fault	1.0

Dari ke-empat gempa ini, hanya satu yang langsung diakibatkan oleh sesar *strike-slip*, yaitu Gempa Izmit. Tiga lainnya diakibatkan oleh *thrust-fault* sebagai akibat sampingan baik dari pergerakan patahan *strike-strip* Northridge ataupun akibat pergerakan lempeng pada daerah hunjaman (subduction) seperti di Taiwan dan Kobe. Semuanya meninggalkan *fault scarps* (bekas patahan) di permukaan. Dari ke-empat gempa ini hanya satu gempa yang

memang sudah diduga bakal terjadi, yaitu gempa Izmit. Dengan menghitung besarnya tegangan dan regangan, yg berarti juga energi, sepanjang segmen sesar Anatolia utara, sejak tahun 1997 US *Geological Survey* sudah mengantisipasi akan terjadinya gempa di daerah sekitar Izmit. Di sepanjang sesar ini, hanya bagian inilah yang belum mengalami keruntuhan sejak tahun 1939. Sedangkan 6 segmen 2 lainnya telah runtuh dan menghasilkan gempa dengan magnituda sekitar 7, pada tahun 1939, 1942, 1943, 1957 dan 1967. Gempa lainnya dapat dikatakan tidak diduga bakal terjadi di daerah itu. Secara historis, daerah Kobe, di Jepang, Chi-chi di Taiwan termasuk daerah yang ‘miskin’ gempa besar. Kecuali Northridge, yang memang dikelilingi oleh beberapa sesar aktif. Sekalipun demikian, tidak ada seorangpun yang menyangka bahwa di bawah kota Northridge tersembunyi potensi sesar yang bisa menghasilkan gempa besar.

Ke-empat gempa ini melanda negara dengan teknologi tahan gempa yang canggih, Amerika Serikat, Jepang, Taiwan dan Turki. Gedung modern yg terbuat dari struktur baja, pada umumnya dapat bertahan dan tidak runtuh. Tapi, gedung-gedung rangka beton, sekalipun dibangun dengan teknologi modern, kebanyakan hancur lebur. Hal ini tidak saja terjadi di Turki dan Taiwan, tapi juga di Northridge, California, tempat embahnya para ahli gempa dunia, dan juga Kobe, Jepang, yang mempunyai peraturan gempa yang lebih ketat dari Amerika. Disamping faktor tingkat guncangan yang sangat tinggi, faktor guncangan susulan, durasi gempa, dan faktor efek lokal site juga merupakan penyebab semakin luasnya daerah bencana. Sebagai ilustrasi mengenai kuatnya guncangan gempa ini, pada Gambar 2.5 bangunan apartemen yang rubuh akibat likuifaksi dan Gambar 2.6 gedung perkantoran di Jepang yang miring akibat tanah terlikuifaksi. (<http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/,2maret2014>)



Gambar 2.5 Bangunan apartemen yang rubuh akibat likuifaksi

(Sumber : EQE international. <http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/2maret2014>).



Gambar 2.6 Gedung perkantoran di Jepang yang miring akibat tanah terlikuifaksi

(Sumber : EQE international. <http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/2maret2014>).

Pada ke-empat bencana gempa ini, bencana likuifaksi terjadi di mana-mana. Terutama daerah pantai yang biasanya terdiri dari endapan tanah lepas yang lunak serta juga mempunyai muka air tanah yang tinggi. Di Kobe dan Izmit, selain faktor percepatan yang tinggi yang banyak merusak bangunan gedung rangka beton, likuifaksi merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan banyaknya amblasan gedung akibat hilangnya daya dukung (Gambar 2.7), serta terjadinya pergerakan lateral, yang menyebabkan rumah dan gudang berpindah ke laut (Gambar 2.8), atau juga jatuhnya bentang jembatan (Gambar 2.9).



Gambar 2.7 Amblasnya bangunan karena hilangnya daya dukung akibat likuifaksi. Gempa Izmit, Turki

(Sumber Olsen, ERDC-WES. <http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/2maret2014>).



Gambar 2.8 Akibat likuifaksi gempa

(Sumber University of California, Berkeley. <http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/,2maret2014>)



Gambar 2.9. Jatuhnya bentang jembatan karena adanya pergerakan lateral tanah akibat likuifaksi

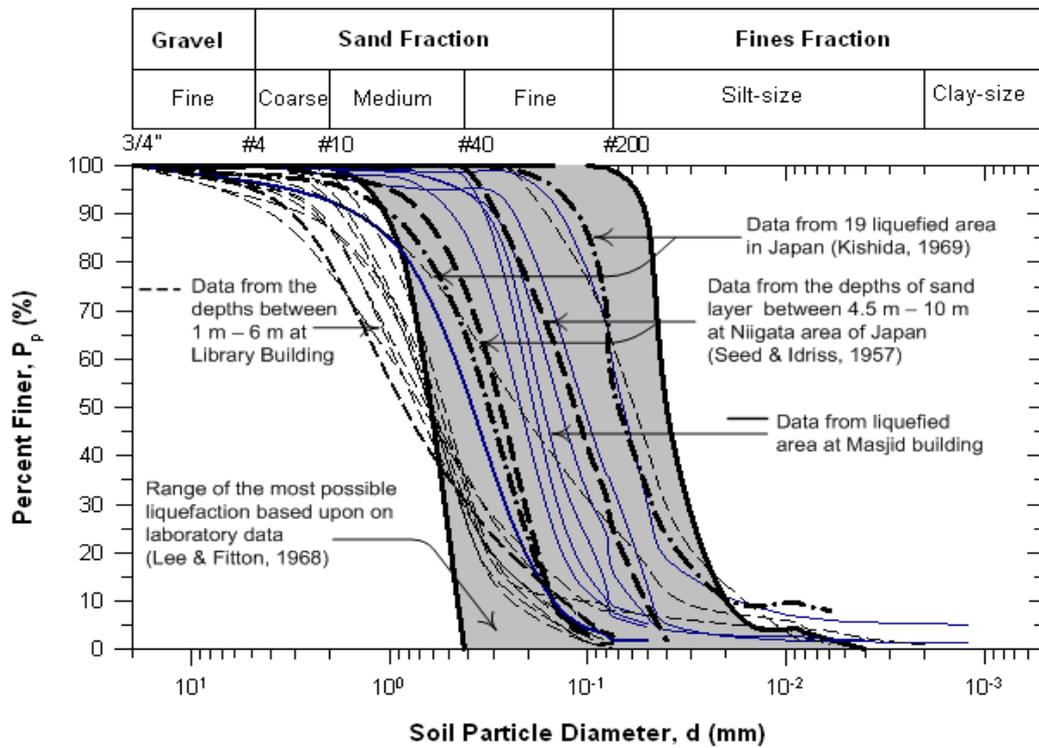
(Sumber : University of California, Berkeley. <http://geoteknik-indonesia.blogspot.com/,2maret2014>).

2.3 Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu

Muntohar (2009) melakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan percepatan pergerakan permukaan tanah (*peak ground acceleration/PGA*) akibat gempa bumi 27 Mei 2006. Analisis dilakukan dengan menggunakan data sondir. Percepatan pergerakan permukaan tanah dihitung dengan analisis-balik (*back-analysis*) berdasarkan kejadian likuifaksi di Kampus Terpadu UMY. Magnitudo gempa yang digunakan dalam analisis adalah 6,3 Mw yang merupakan magnitudo gempa 27 Mei 2006.

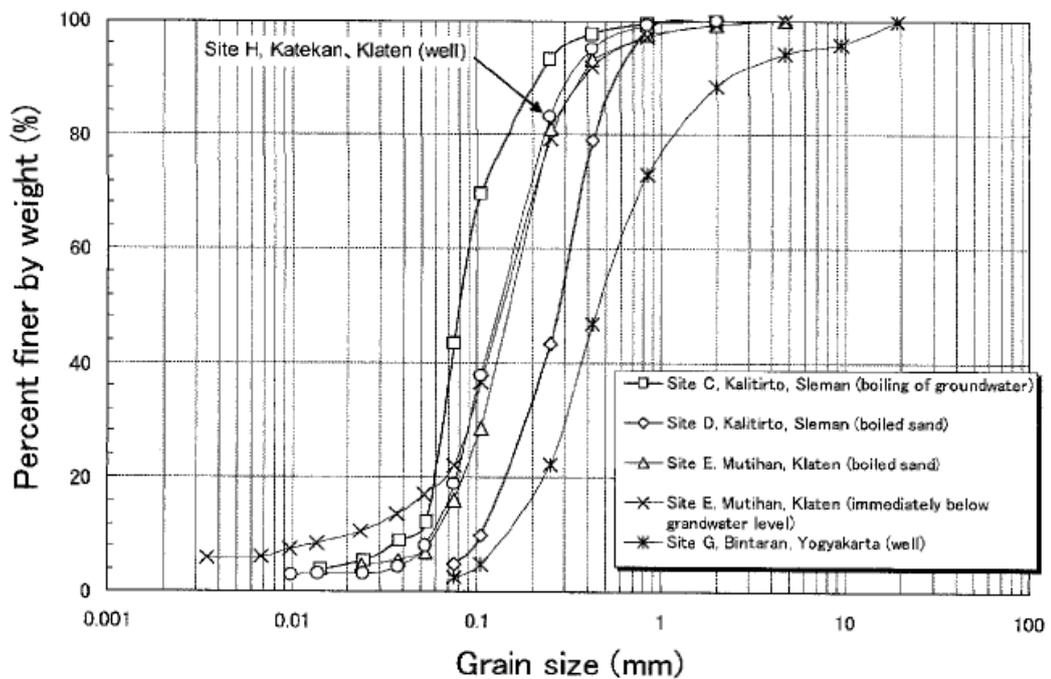
Hasil analisis balik menunjukkan bahwa percepatan gempa antara 0,23 g dan 0,54 g telah menyebabkan likuifaksi 50% lapisan pasir di bawah permukaan tanah (Gambar 2.10). Secara umum, percepatan gempa di permukaan tanah sebesar 0,36 g hingga 0,68 g diperkirakan dapat memicu terjadinya likuifaksi. Kajian terhadap potensi likuifaksi dengan menggunakan hasil uji penetrasi standard (*standard penetration test/SPT*) yang dilakukan oleh Muntohar (2010).

Lokasi kajian berada di Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Berdasarkan hasil uji awal berupa distribusi ukuran partikel tanah (Gambar 2.10) diketahui bahwa lokasi yang diuji sangat rentan terhadap risiko likuifaksi. Keadaan ini adalah kondisi umum untuk wilayah Bantul seperti ditunjukkan pula pada Gambar 2.7 (Koseki dkk.,2007). Hasil penelitian ini menunjukkan potensi likuifaksi dapat terjadi di kedalaman 5 m hingga 20 m dari permukaan tanah dengan probabilitas kejadian berkisar 5% hingga 90%.



Gambar 2.10 Distribusi ukuran partikel tanah di area yang diuji

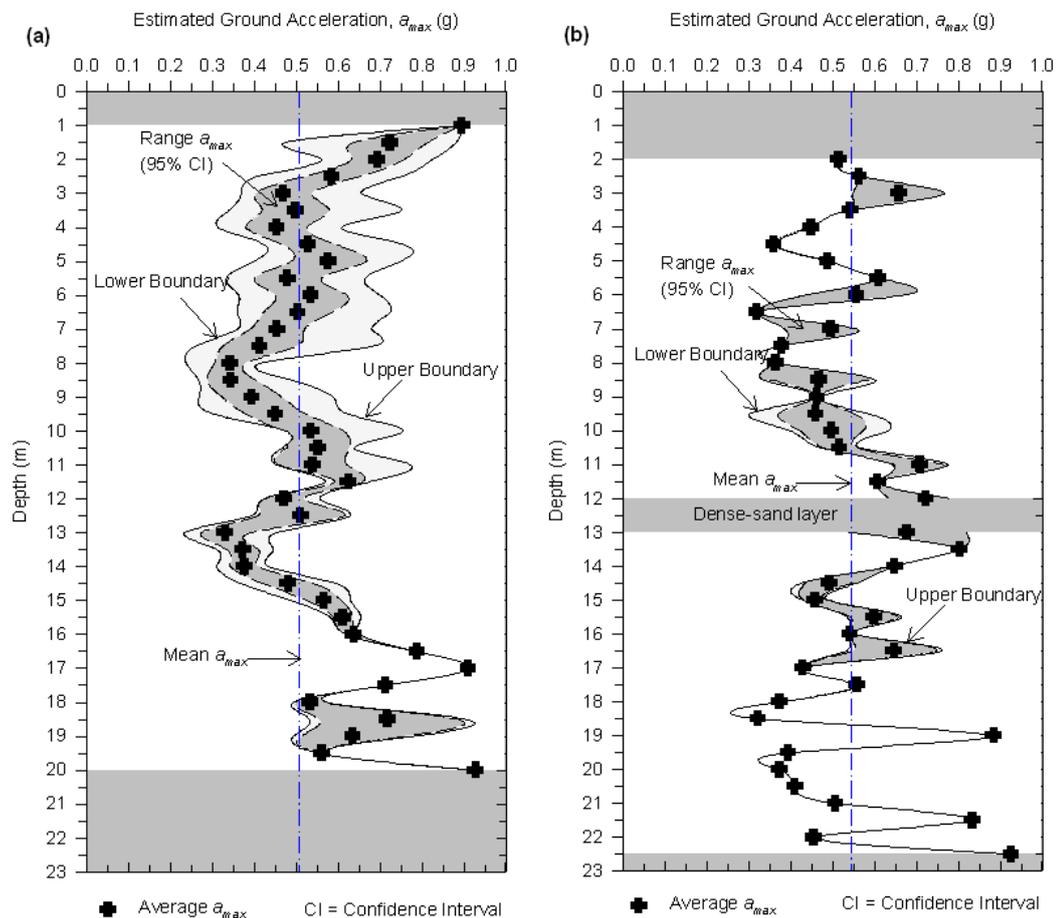
(Sumber : Muntohar, 2010a. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009).



Gambar 2.11 Distribusi ukuran partikel tanah di beberapa daerah di Bantul

(Sumber : Koseki dkk., 2007. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009)

Kajian untuk mengetahui percepatan gempa di permukaan tanah ketika gempa bumi 27 Mei 2006 di Yogyakarta menjadi menarik karena tidak terdapat data pencatatan seismik. Elnashai dkk. (2007) membuat estimasi PGA berdasarkan rekaman seismik pada Stasiun BMG Yogyakarta(YOGI). Percepatan gempa di permukaan tanah untuk daerah Bantul diperkirakan berkisar antara 0,183 g hingga 0,303 g pada arah vertikal, dan 0,197 g hingga 0,336 g pada arah horisontal. Nilai percepatan gempa dipermukaan tanah mencapai maksimum di daerah dekat patahan yaitu 0,49 g pada arah horizontal dan 0,47 g pada arah vertikal.



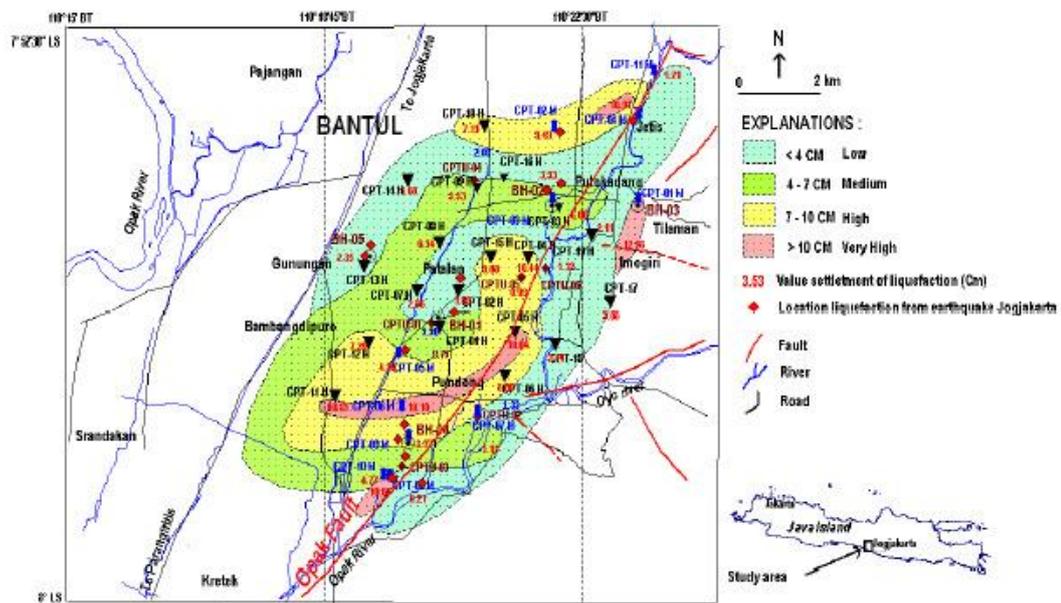
Gambar 2.12 Estimasi percepatan gempa di permukaan tanah (a) lokasi bangunan Masjid, (b) lokasi bangunan Perpustakaan UMY

(Sumber : Muntohar, 2009).

Menggunakan data yang disajikan oleh Muntohar (2009), Muntohar(2010) melakukan estimasi penurunan permukaan tanah akibat likuifaksi dengan menggunakan hasil uji CPT dan teknik mitigasi dengan menggunakan teknik kolom-kapur (*lime-column*). Lokasi yang diuji adalah di dekat unit Masjid Kampus. Penurunan permukaan tanah yang terjadi diperkirakan berkisar 2,5 cm hingga 13,5 cm. Setelah mitigasi dengan kolom kapur,penurunan yang terjadi di permukaan tanah berkurang (Gambar 2.12) yang besarnya bergantung pada nilai percepatan seismik permukaan tanah maksimum.

Soebowo dkk. (2007) melakukan kajian potensi likuifaksi dan penurunan permukaan tanah di zona patahan Opak, Patalan Bantul. Analisis dilakukan berdasarkan data-data N-SPT, CPT/CPTu dengan nilai PGA dipermukaan sebesar 0,25 g, skala gempa bumi Mw 6,2, jarak sumber gempa terhadap daerah studi kurang lebih 5 - 10 km sekitar patahan aktif Opak, dan muka air tanah setempat.

Hasil analisis menunjukkan bahwa hampir semua titik telah terjadi likuifaksi dengan kedalaman bervariasi mulai - 0.4 hingga – 6 meter. Analisis likuifaksi dan penurunan dengan metode Ishihara dan Yoshimine (1990), dengan nilai faktor aman diambil hasil evaluasi potensi likuifaksi dan menggunakan Software LIQIT, maka penurunan total lapisan tanah terutama terkonsentrasi di bagian tengah Patalan, bervariasi antara 2 cm hingga 10 cm, dengan penurunan terbesar (> 10cm). Pola penyebaran penurunan setidaknya sangat dikontrol oleh segmen dari patahan Opak (Gambar 2.13).



Gambar 2.13 Sebaran penurunan akibat likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta dan sekitarnya

(Sumber : Soebowo dkk., 2007. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009)

Tingkat kerusakan bangunan akibat pengaruh penurunan permukaan tanah karena likuifaksi menurut Ishihara dan Yosimine (1992) seperti disajikan pada Tabel 2.2. Shibata dan Teparaksa (1988) menyajikan rekaman peristiwa gempa bumi yang menyebabkan likuifaksi dan kerusakan bangunan. Magnitudo gempa bumi yang tercatat berkisar dari Mw 6,6 hingga Mw 7,8 dengan percepatan seismik permukaan tanah (a_{max}) antara 0,1 g hingga 0,8 g. Gempa bumi yang terjadi di Niigata, Jepang pada 16 Juni 1964 memiliki kekuatan 7,3 skala Richter dengan percepatan seismik permukaan tanah maksimum 0,16 kali percepatan gravitasi ($a_{max} = 0,16$ g). Likuifaksi terjadi pada lapisan tanah pasir jenuh yang menyebabkan terjadinya penurunan tanah. Sebagai akibatnya bangunan di atasnya mengalami kerusakan berat. Rata-rata penurunan bangunan berkisar 90 cm pada daerah yang terdampak likuifaksi (Ishihara dan Koga, 1981).

Tabel 2.2 Hubungan antara penurunan permukaan tanah dan derajat kerusakan bangunan

(Ishihara dan Yosimine, 1992. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009)

Derajat Kerusakan	Penurunan (cm)	Fenomena di permukaan tanah
Ringan hingga tidak ada	0 – 10	Retakan minor
Kerusakan Menengah	10 – 30	Retakan kecil, pasir halus keluar dari permukaan tanah
Kerusakan Berat	30 – 70	Retakan besar, pasir halus menyembur, deformasi lateral

2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Likuifaksi

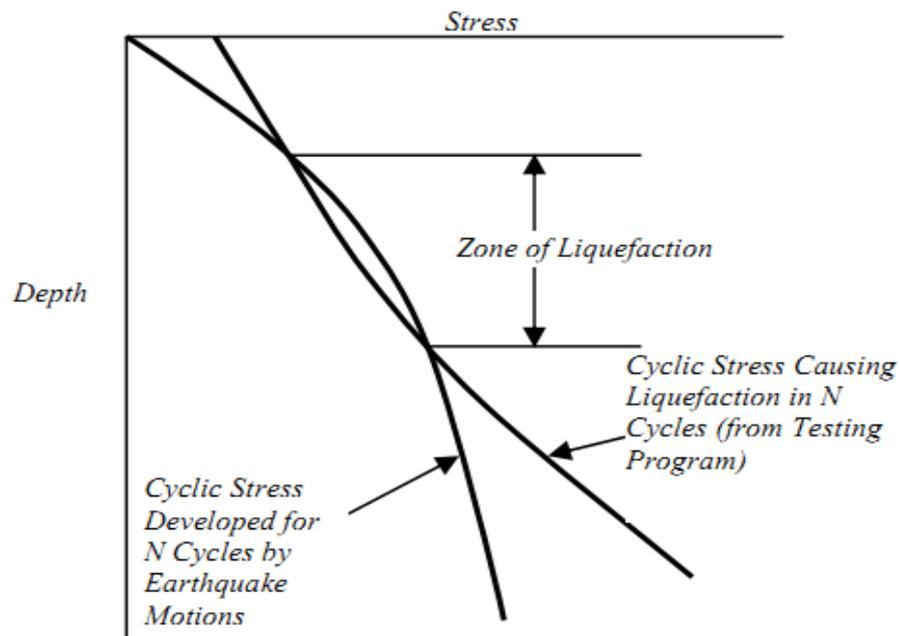
Prinsip umum untuk evaluasi potensi likuifaksi pada suatu lapisan tanah dapat ditentukan dari kombinasi sifat-sifat tanah, faktor lingkungan serta karakteristik dan parameter gempa. Faktor-faktor spesifik yang dapat dijelaskan yaitu :

1. Sifat – sifat tanah berupa Modulus Geser Dinamik (*Dynamic Shear Modulus*), Sifat Redaman (*Damping Characteristics*), Karakteristik Butiran dan Kepadatan Tanah.
2. Faktor lingkungan yaitu Cara Pembentukan Tanah, Riwayat Geologis (Aging, Sementasi), Koefisien Tekanan Tanah Lateral dan Tegangan Keliling.
3. Intesitas Getaran, Lama Getaran dan Besar dan Arah Getaran.

Faktor yang disampaikan diatas tidak dapat ditentukan secara langsung, tetapi pengaruhnya dapat dimasukkan kedalam prosedur evaluasi dengan melakukan uji pembebanan siklik atau dengan mengukur karakteristik tanah dengan uji

lapangan. Dengan mengacu kondisi tersebut maka cara atau prosedur evaluasi potensi likuifaksi dapat dilakukan pola sebagai berikut :

1. Penentuan tegangan geser siklik akibat gempa pada tiap kedalaman tanah dengan cara mengkonversikan diperkenalkannya pembebanan akibat gempa yang tidak beraturan menjadi jumlah ekivalensi siklus tegangan. Dengan cara tersebut intensitas getaran bumi, lama getaran dan variasi tegangan geser terhadap kedalaman dapat ikut diperhitungkan.
2. Penentuan tegangan geser siklik dengan pengujian laboratorium maupun uji lapangan yang mengakibatkan likuifaksi sesuai dengan beban yang telah ditentukan pada langkah kesatu diatas. Pada pengujian laboratorium dapat dilakukan uji traksial siklik atau uji *simple shear* dengan melakukan koreksi penyesuaian kondisi lapangan seperlunya.
3. Membandingkan tegangan geser siklik yang terjadi dilapangan akibat gempa (τ_{AV}) terhadap tegangan geser yang diperlukan untuk terjadinya likuifaksi (τ_1) sebagai tegangan geser lawan. Zona dimana harga $\tau_{AV} > \tau_1$ merupakan daerah yang berpotensi mengalami likuifaksi. Secara sistematis diatas ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.14 Metoda Untuk Menentukan Potensi Likuifaksi (Seed & Idriss, 1982)

Sebagaimana yang telah dijelaskan bahwa perilaku likuifaksi pada tanah bersifat merusak dan menimbulkan dampak negatif yang besar terhadap stabilitas tanah dan bangunan di atasnya. Adapun dampak yang ditimbulkan dari perilaku likuifaksi adalah :

1. Terjadinya penurunan tanah hingga 5 % ketebalan lapisan tanah terlikuifaksi.
2. Terjadinya kehilangan daya dukung lateral tanah.
3. Terjadinya kehilangan daya dukung tanah.
4. Terjadinya pengapungan struktur yang dibenamkan dalam tanah, seperti tanki di bawah tanah.
5. Meningkatkan tekanan lateral tanah yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur penahan tekanan lateral tanah, seperti *quay walls*.
6. Terjadinya *lateral spreading* (*limited lateral movements*).
7. Terjadinya *lateral flow* (*extensive lateral movements*).

2.5 Metode Estimasi Penurunan Tanah

Likuifaksi akan menjadi masalah serius bila menyebabkan terjadinya keruntuhan gedung sebagai akibat penurunan permukaan tanah selama guncangan gempa bumi. Penurunan permukaan tanah ini terjadi padaregangangan yang relative kecil (*small-strain*) setelah likuifaksi (*postliquefaction*). Ishihara dan Yoshimine (1992) merumuskan suatu hubunganantara regangan volumterik, kerapatan relative (D_r), dan faktor keamanan terhadap likuifaksi (FSL) berdasarkan hasil uji laboratorium yang dilakukan oleh Nagase dan Ishihara (1988). Hubungan tersebut disajikan pada Gambar 2.15. Nilai regangan volumetrik sebagai akibat disipasi tekanan air pori saat guncangan gempa akan digunakan untuk penghitungan penurunan permukaan tanah.

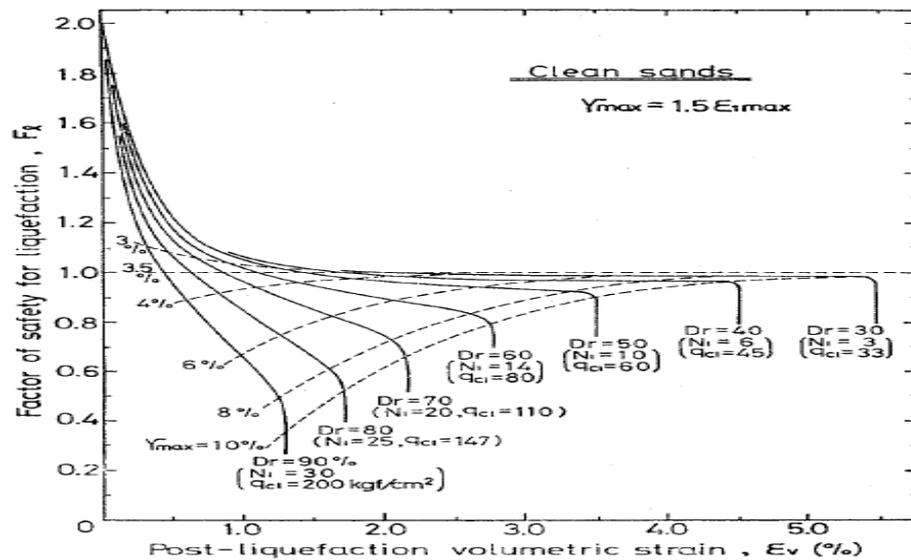
Rumusan pada Gambar 2.15 diperbaiki oleh Zhang dkk (2002) yang mengganti variabel kerapatan relatif dengan nilai tahanan ujung seismik (qc_{1N}). Nilai qc_{1N} ini telah digunakan dalam analisis potensi likuifaksi seperti dijelaskan pada Gambar 2.16. Hubungan yang diberikan oleh Gambar 2.16 ini memiliki kelebihan yaitu memperhitungkan magnitudo gempa (M_w), dan percepatan gempa di permukaan tanah (a_{max}), nilai tahanan ujung seismik (qc_{1N}), dan sifat-

sifat tanah lainnya (berat volume tanah, derajat jenuh air). Untuk permukaan tanah yang relatif datar, bila dianggap pergerakan arah lateral tidak terjadi atau sangat kecil setelah gempa bumi, sehingga regangan volumetrik akan sama dengan regangan vertikal. Penurunan permukaan tanah dapat dihitung dengan melakukan integral regangan vertikal untuk setiap lapisan tanah pada seluruh kedalaman (Persamaan 2.4). Hasil penghitungan penurunan permukaan tanah ini juga sebagai indeks-potensi likuifaksi penyebab penurunan yang dapat digunakan sebagai perancangan

bangunan tahan gempa (Zhang dkk., 2002).

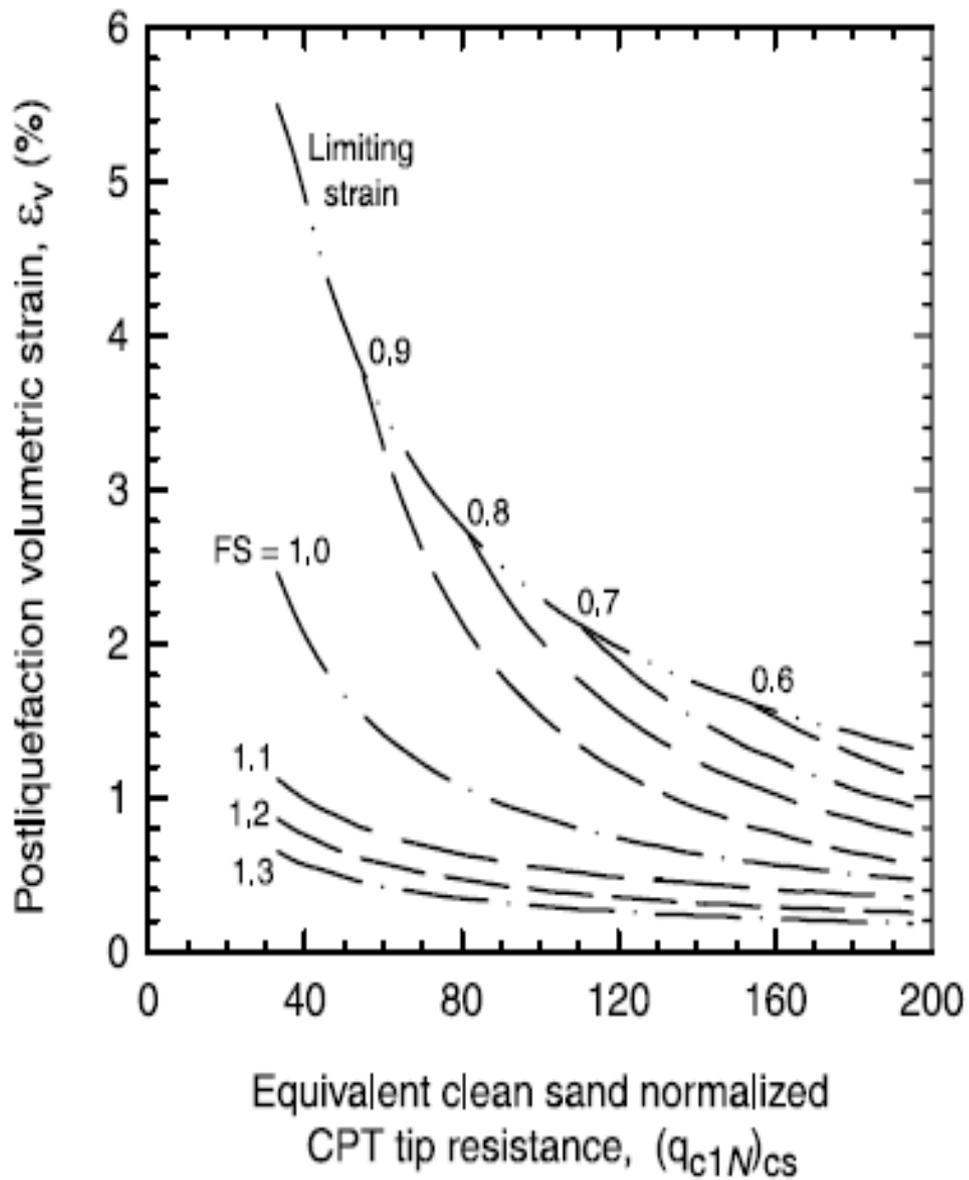
$$S = \int_0^z \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{v,i} \Delta z_i \quad (2.4)$$

dengan $\varepsilon_{v,i}$ adalah regangan volumetrik pasca likuifaksi pada lapisan tanah ke- i dan Δz_i adalah tebal lapisan tanah ke- i . Secara empirik, besarnya regangan vertical seismik sebagai fungsi dari faktor aman dan nilai tahanan ujung seismik diberikan dalam persamaan-persamaan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.15 Hubungan antara regangan volumetric, kerapatan relative, dan faktor keamanan terhadap likuifaksi

(Sumber : Ishihara dan Yoshimine, 1992. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009).



Gambar 2.16 Hubungan nilai tahanan ujung seismic dan regangan volumetrik untuk beragam faktor keamanan

(Sumber : Zhang dkk., 2002. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED) 2009)

Tabel 2.3 Persamaan empirik regangan seismik

Faktor Aman (FS)	Nilai Tahanan Ujung Seismik $(q_{c1N})_{cs}$	Regangan Seismik (ϵ_v)
$\leq 0,5$	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$
0,6	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 147$	$102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$
	$147 < (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$2411(q_{c1N})_{cs}^{-1,45}$
0,7	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 110$	$102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$
	$110 < (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1701(q_{c1N})_{cs}^{-1,42}$
0,8	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 80$	$102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$
	$80 < (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1690(q_{c1N})_{cs}^{-1,46}$

Faktor Aman (FS)	Nilai Tahanan Ujung Seismik $(q_{c1N})_{cs}$	Regangan Seismik (ϵ_v)
0,9	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 60$	$102(q_{c1N})_{cs}^{-0,82}$
	$60 < (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$1430(q_{c1N})_{cs}^{-1,48}$
1,0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$64(q_{c1N})_{cs}^{-0,93}$
1,1	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$11(q_{c1N})_{cs}^{-0,65}$
1,2	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$9,7(q_{c1N})_{cs}^{-0,69}$
1,3	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	$7,6(q_{c1N})_{cs}^{-0,71}$
2,0	$33 \leq (q_{c1N})_{cs} \leq 200$	0

2.6 Indeks Potensi Likuifaksi

Indeks Potensi Likuifaksi atau Liquefaction Potential Index (LPI) adalah suatu indeks yang digunakan untuk estimasi potensi likuifaksi yang menyebabkan kerusakan fondasi. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh Iwasaki dkk. (1978). LPI menganggap bahwa kerusakan likuifaksi adalah sebanding terhadap kondisi berikut :

- (1) Ketebalan lapisan yang terlikuifaksi (*liquefied layer*),
- (2) Jarak lapisan terlikuifaksi terhadap permukaan tanah, dan
- (3) Jumlah lapisan dengan nilai faktor keamanan kurang dari satu. Anggapan tersebut dirumuskan dalam persamaan 2.5.

$$LPI = \int_0^{20m} F w(z) dz \quad (2.5)$$

dengan,

$$\begin{aligned} F &= 1 - FS && \text{untuk } FS \leq 1, \\ F &= 0 && \text{untuk } FS > 1, \text{ dan} \end{aligned}$$

$w(z)$ merupakan fungsi bobot (weighting) yang bergantung pada kedalaman, yaitu $w(z) = 10 - 0,5 z$, dengan z adalah kedalaman lapisan pasir (m).

Berdasarkan definisi yang diberikan dalam persamaan 2.5, nilai LPI dapat berkisar dari 0 untuk suatu lokasi dimana tidak terjadi likuifaksi hingga 100 untuk lokasi dimana faktor keamanan sama dengan nol diseluruh kedalaman 20 m. Iwasaki dkk. (1982) dan Toprak dan Holzer (2003) melakukan kompilasi rekaman kasus likuifaksi dan membandingkan LPI dengan tingkat kerusakan akibat likuifaksi. Iwasaki dkk. (1982) menyimpulkan bahwa likuifaksi dengan tingkat kerusakan yang tinggi terjadi di lokasi yang memiliki $LPI > 15$, dan sebaliknya tingkat kerusakan karena likuifaksi tidak terjadi di lokasi dengan $LPI < 5$.

Toprak dan Holzer (2003) membuat korelasi penampakan permukaan karena likuifaksi dengan LPI untuk gempa Loma Prieta, California pada tahun 1898, dan menyimpulkan bahwa *sand boiling* dan deformasi lateral terjadi di lokasi yang memiliki nilai LPI > 5 dan 12. Hayati dan Andrus (2008) menggunakan nilai LPI untuk membuat peta potensi likuifaksi di Charleston, South Carolina berdasarkan riwayat gempa bumi tahun 1886. Hasil kajiannya menyimpulkan bahwa kerusakan berat akibat likuifaksi terjadi bila nilai LPI > 15.

2.7 Analisis Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terkait secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Mineral-mineral tanah merupakan gumpalan komponen dari beberapa unsur kimia antara lain :

- a) Oksigen (O_2)
- b) Air (H_2O)
- c) Kalsium (K)
- d) Ferrum (Fe)
- e) Alumunium (Al)

Parameter yang diuji dalam menganalisis tanah :

1. Modulus Geser Tanah

Modulus geser tanah saat gempa bumi terjadi pada lapisan tanah salah satu diantaranya ditentukan oleh Hardin dan Black, 1968 :

- a. Jenis lapisan tanah,
- b. *Confining pressure / stress level*,
- c. *Strain level*,
- d. Derajat kejenuhan tanah,
- e. Frekuensi dan jumlah siklus beban dinamik,
- f. Besar beban dinamik
- g. *Dynamics prestrain*.

2. Cara Menemntukan Modulus Geser Tanah

Cara untuk menentukan modulus geser tanah dapat ditentukan berdasarkan uji lapangan, uji laboratorium dan formula empiris.

Berdasarkan uji lapangan dapat menggunakan data uji :

- a. *Cross – borehole wave propogation test* (uji perambatan gelombang),
- b. *Up – hole* atau *down hole wave propogation test*,
- c. *Suraface wave propogation test*,
- d. *Vertical fotting resonance test*,
- e. *Cyclic plate loading test*,
- f. *N-SPT*.

Ada beberapa metoda yang dilakukan untuk menentukan modulus geser berdasarkan uji lapangan antara lain :

- a) Cross-Bore Hole Wave Proagation Test (Woods,1978)
- b) Up-Hole atau Down Hole Wave Propagation Test (Woods,1978)
- c) Surface Wave Propagation Test (Nazarian & Stokoe,1985)
- d) Vertical Footing Resonance Test (Prakash,1987)
- e) Cyclic Plate Loading Test
- f) SPT (Imai,1977)

Perbaikan tanah rentan likuifaksi pada struktur bangunan dapat dilakukan sebagai berikut :

- Meningkatkan kerapatan (densifikasi),
- Perbaikan dengan cara kimiawi (Solidifikasi),
- Menurunkan derajat kejenuhan dengan *dewatering*,
- Dissipasi tekanan air pori dengan drainase
- Kontrol deformasi (memasang dinding diafragma)
- Memperkuat pondasi,
- Penggunaan flexible joint dalam struktur untuk mengurangi bahaya likuifaksi,
- Penggunaan *geogrid* untuk memperkuat pondasi,

- Penggunaan *sheet-pile* untuk *embankment* (timbunan),

Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi bangunan. Beban dinamik akibat gempa merupakan dasar untuk memahami tentang evaluasi potensial likuifaksi dari tanah berbutir kasar. Bagian dari beban dinamik adalah membahas tentang beban monotorik dan beban siklik, macam beban dinamik, beban yang digunakan untuk analisis potensial likuifaksi.

2.8 Struktur Bangunan Rumah Masyarakat

Kata "struktur (*structure*)" mempunyai banyak pengertian. Struktur dapat berarti susunan, kerangka, bangunan atau gedung. Dalam bidang rekayasa *engineering*, secara umum struktur dapat diartikan sebagai sesuatu yang direncanakan atau yang dibangun/didirikan. Struktur terdiri dari satu atau beberapa susunan elemen solid, sehingga keseluruhan struktur termasuk elemen-elemen struktur, sanggup memikul beratnya sendiri tanpa adanya perubahan geometrik yang cukup besar selama pembebanan berlangsung *loading* maupun pada saat tanpa adanya beban yang bekerja *unloading*.

Perencanaan struktur merupakan serangkaian kegiatan dalam pemilihan properti (material dan dimensi) elemen struktur sedemikian rupa, sehingga mampu menerima beban rencana yang diterapkan pada struktur. Dalam perencanaan struktur, banyak hal-hal yang harus dipertimbangkan/diperhatikan, diantaranya adalah empat hal hal utama berikut, yaitu :

- Struktur harus sesuai dengan kebutuhan (*utility*)
- Struktur harus sanggup memikul beban dengan aman (*safety*)
- Struktur sebaiknya harus ekonomis dalam penggunaan bahan/material, pelaksanaan konstruksi dan biaya total yang diperlukan (*economy*)
- Struktur sebaiknya harus mempunyai bentuk/penampilan yang menarik (*aesthetic*)

Sehingga, pekerjaan dalam bidang rekayasa struktur, terutama yang berhubungan dengan perencanaan struktur, sangat diperlukan keahlian, pengetahuan dan

pengalaman dalam mengambil keputusan-keputusan teknis mengenai sistem struktur tersebut, seperti :

- Pemilihan bentuk struktur yang efisien, ekonomis dan atraktif (menarik)
- Mengevaluasi keamanan struktur, yaitu kekuatan, kekakuan dan stabilitas struktur
- Perencanaan pelaksanaan konstruksi

Bagian yang terpenting dan tidak dapat dipisahkan dalam proses perencanaan struktur adalah analisis struktur. Tanpa adanya analisis struktur, perencanaan struktur tidak berarti apa-apa (tidak dapat dipertanggung jawabkan secara teknis). Analisis struktur merupakan serangkaian prosedur untuk mengetahui dan mendapatkan respons struktur akibat beban yang bekerja pada struktur dan/atau deformasi yang diberikan pada struktur. Ada dua situasi yang membutuhkan analisis struktur, yaitu :

- Pertama, analisis struktur untuk mengetahui kapasitas struktur yang telah ada. Seperti, analisis struktur jembatan yang mengalami beban di luar batas toleransi yang ada atau analisis struktur bangunan yang mengalami perubahan fungsi dari yang telah direncanakan semula, sehingga struktur juga mengalami perubahan beban yang bekerja.
- Kedua, yang umum dilaksanakan adalah analisis struktur sebagai bagian dari tahapan perencanaan struktur.

Analisis struktur dapat dilakukan baik secara eksperimen maupun secara analitis. Walau pada dasarnya analisis struktur dapat dilakukan secara eksperimental, akan tetapi pada studi kasus ini lebih difokuskan pada analisis struktur yang dilakukan secara analitis. Respons struktur akibat beban yang bekerja pada struktur adalah sebagai berikut :

➤ Gaya Luar (*External Force*)

Berupa reaksi-reaksi (reactions) yang bekerja pada tumpuan/perletakan akibat beban yang bekerja pada struktur, seperti reaksi vertikal, horizontal dan momen. Gaya luar ini digunakan untuk perencanaan pondasi.

➤ Gaya Dalam Struktur (*Internal Force*)

Berupa momen lentur (*bending moment*), gaya geser (*shear force*), gaya aksial (*axial force*) dan tegangan (*stress*) pada penampang. Gaya dalam ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan elemen struktur, sehingga elemen struktur mempunyai kekuatan yang cukup dalam memikul beban yang bekerja.

➤ Deformasi / Perubahan Bentuk Struktur (*Deformation*)

Berupa perpindahan struktur (*displacement*), yaitu translasi (*translation*) dan rotasi (*rotation*) dan regangan (*strain*). Deformasi yang terjadi pada struktur perlu dievaluasi untuk memastikan bahwa elemen struktur dapat berfungsi sebagaimana yang telah direncanakan.

Dalam tahapan perencanaan struktur, baik perencanaan struktur yang sederhana (struktur jembatan, gedung dan menara), maupun perencanaan struktur yang rumit (struktur bangunan tinggi, jembatan kabel, terowongan dan bangunan lepas pantai), tidak terlepas dari hubungan timbal balik antara tahap analisis struktur dan tahap perencanaan elemen struktur.

Setiap tahapan yang dilakukan akan memberikan informasi-informasi yang diperlukan untuk tahap selanjutnya. Tahapan ini akan berhenti jika tidak ada perubahan yang signifikan terhadap dimensi elemen struktur. Secara umum, tahapan dalam suatu perencanaan struktur adalah sebagai berikut :

1. Tahap Konsep Perencanaan (*Conceptual Design*)
2. Tahap Perencanaan Pendahuluan (*Preliminary Design*)
3. Tahap Analisis Struktur (*Structural Analysis*)
4. Tahap Evaluasi Perencanaan Pendahuluan (*Preliminary Design Evaluation*)
5. Tahap Perencanaan Ulang (*Structure Re-design*)
6. Tahap Perencanaan Akhir (*Final Design*)

2.9 Potensi Likuifaksi Pantai Padang

Guna menganalisis potensi likuifaksi pantai Padang, telah dilakukan pengeboran tanah di sekitar pantai Padang. Analisis potensi likuifaksi lapisan tanah di pantai Padang ini dilakukan dua cara. Cara pertama adalah dengan membandingkan gradasi butiran pada lapisan pada kedalaman tertentu dengan gradasi butiran tanah yang pernah terlikuifaksi akibat gempa Padang 2009. Cara kedua adalah dengan menghitung perbandingan tegangan lapisan tanah dantahanannya (Seed dan Idriss, 1982). Selanjutnya kedua cara tersebut dikompilasikan untuk melihat tingkat potensi likuifaksi dari lapisan tanah dengan kedalaman yang berbeda.

1. Investigasi tanah

Hasil pengujian ini ditampilkan dalam bentuk tabel jenis lapisan tanah (bor-log) dan nilai penetrasi standar (N_{spt}). Hasil pengeboran di lapangan menunjukkan bahwa terdapat lapisan tanah pasir pada kedalaman 4 m hingga 9 m dengan nilai pukulan standar yang bervariasi. Selanjutnya jenis tanah secara umum adalah pasir berlempung ataupun lempung berpasir dengan nilai pukulan standar sekitar 15. Pada kedalaman lebih dari 25 m, jenis lapisan tanah yang dominan adalah pasir berkerikil dengan nilai N_{spt} lebih dari 60.

2. Grafik gradasi butiran

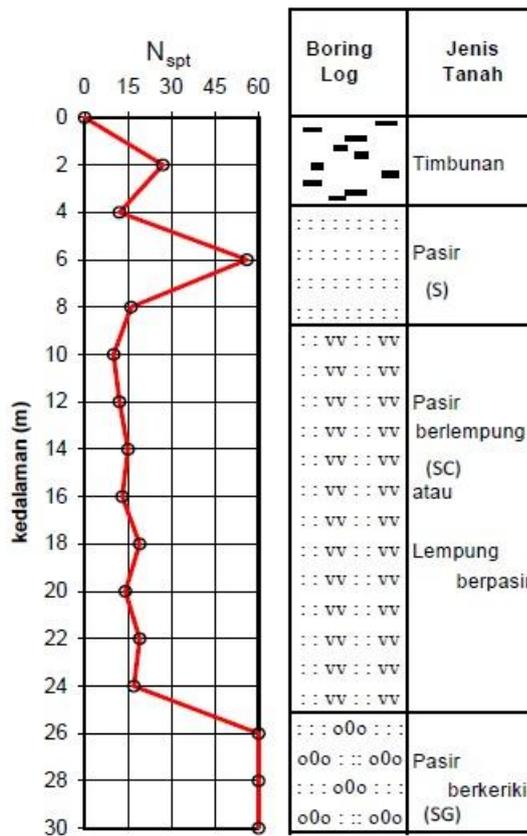
Dalam penelitian ini, dilakukan analisis saringan terhadap sampel tanah hasil pengeboran. Untuk menduga potensi likuifaksi terhadap deposit tanah dipantai Padang, selanjutnya hasil analisis saringan tersebut diplotkan ke dalam grafik batasan tanah terlikuifaksi. Berdasarkan sebaran ukuran butiran tanah, dapat dilihat bahwa grafik untuk lapisan tanah pada kedalaman 4 m, 6 m dan 8 m berada di dalam batasan kurva tanah terlikuifaksi. Sedangkan untuk kedalaman 10 m hampir setengah kurva berada di dalam batasan. Untuk itu dapat diambil kesimpulan sementara bahwa lapisan tanah pada kedalaman 4 m, 6 m dan 8m sangat berpotensi terlikuifaksi, untuk kedalaman 10 m mungkin dapat terlikuifaksi dan untuk kedalaman lainnya tidak berpotensi.

3. Rasio tegangan

Selanjutnya dilakukan juga perhitungan untuk memperkirakan potensi likuifaksi dengan berdasarkan pada uji penetrasi standar, N_{spt} (Seed & Idriss, 1982). Perhitungan ini, diambil gempa dengan magnitudo 7.6 dan percepatan maksimum permukaan tanah, $a_{max} = 0,3g$ (BMKG/USGS, 2009). Selanjutnya nilai-nilai tegangan yang terjadi dihitung untuk mendapatkan nilai rasio tegangan siklis (cyclic stress ratio, CSR). Nilai penetrasi standar (N) dikalikan nilai koreksi yang diambil berdasarkan tekanan efektif akibat berat sendiri tanah (CN), menjadi $N_1 = CN \cdot N$ (2) Hasil perhitungan tersebut selanjutnya diplotkan dalam kurva evaluasi potensi likuifaksi untuk pasir. Titik-titik merah dan kuning menunjukkan kedalaman lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi dan titik-titik biru untuk yang tidak. Angka-angka didalam grafik menunjukkan kedalaman dari lapisan tanah yang dihitung. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa lapisan tanah pada kedalaman 4 m, 8 m, 10 m dan 12 m mempunyai potensi untuk terlikuifaksi.

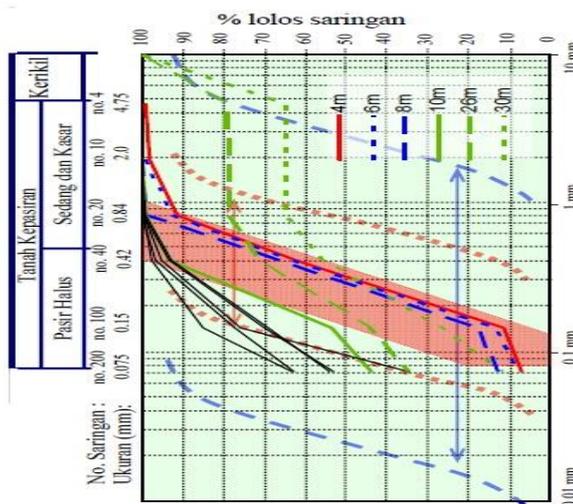
4. Potensi gabungan

Hasil pendugaan potensi likuifaksi berdasarkan gradasi butiran dan tahanan penetrasi tanah, selanjutnya digabungkan dalam satu gambar. Bentuk penggabungan dari kedua cara pendugaan. Tingkatan potensi likuifaksi berdasarkan gradasi butiran tanah ditentukan berdasarkan ketentuan berikut :



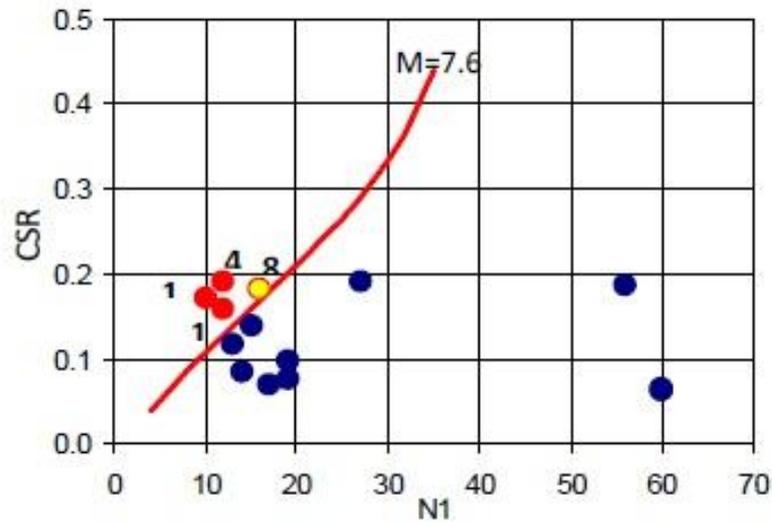
Gambar 2.17 Hasil uji penerasi standar dan bor log

(Sumber : Hakam dan Darjanto, 2013).



Gambar 2.18 Distribusi ukuran butiran tanah pada lokasi pengujian untuk kedalaman tertentu

(Sumber : Hakam dan Darjanto, 2013).



Gambar 2.19 Rasio tegangan - tahanan penetrasi

(Sumber : Hakam dan Darjanto, 2013).

Tabel 2.4 Rasio tegangan - tahanan penetrasi

Potensi	Kriteria
Tinggi	Kurva gradasi berada dalam garis merah (> 80 %)
Sedang	Kurva gradasi memotong garis batas merah dan masih berada dalam batas garis biru
Tidak (Rendah)	Kurva gradasi memotong garis batas biru

Dengan menggabungkan kedua cara tersebut maka dapat ditarik kesimpulan terhadap tingkat potensi likuifaksi dari lapisan tanah. Huruf-huruf pada gambar tersebut menunjukkan tingkatan potensi likuifaksi berdasarkan dua cara pendugaan, yaitu :

SP : sangat berpotensi

P : Berpotensi

K : Kurang berpotensi

T : Tidak berpotensi

Dari hasil gabungan analisis terhadap lokasi pantai Padang, maka dapat dilihat bahwa lapisan tanah pada kedalaman 4 m dan 8 m sangat potensi terlikuifaksi. Lapisan tanah pada kedalam 10 m berpotensi, sedangkan lapisan tanah 6 m dan 12 m kurang berpotensi.

Kedalaman	Tinggi	K [6]	SP [4, 8]
	Sedang	T	P [10]
	Tidak	T [lainnya]	K [12]
Potensi Likuifaksi		Tidak	Ya
Penetrasi			

Gambar 2.20 Potensi likuifaksi ganda

(Sumber : Hakam dan Darjanto, 2013).

Tabel 2.5 Tabel Potensi Likuifaksi di Kota Padang

No	Lokasi	Titik	Nilai I_L	Remarks
1	Asrama Unand	1	0.00	No Liquifaction
		2	0.00	No Liquifaction
		3	0.07	No Liquifaction
		4	0.00	No Liquifaction
		5	0.00	No Liquifaction
2	Padang Besi	1	4.38	Liquifaction not probable
		2	17.53	Liquifaction certain
3	Hotel Bunda (Pasar Raya)	1	17.53	Liquifaction certain
		2	22.06	Liquifaction certain
		3	0.23	Liquifaction not probable
4	Jati (Fak. Kedokteran)	1	17.53	Liquifaction certain
		2	22.06	Liquifaction certain
5	Ketaping (bypass)	1	0.35	Liquifaction not probable
		2	9.35	Liquifaction certain
6	Kuraog Pagang	1	20.84	Liquifaction certain
		2	25.90	Liquifaction certain
7	Lubuk Begalung	1	17.53	Liquifaction certain
		2	2.30	Liquifaction not probable
		3	17.53	Liquifaction certain
8	Padang Baru (Telkom)	1	15.78	Liquifaction certain
		2	11.62	Liquifaction certain
9	Gunung Pangilun	1	0.00	No Liquifaction
		2	0.00	No Liquifaction
10	Lapai	1	2.35	Liquifaction not probable
		2	1.76	Liquifaction not probable

No	Lokasi	Titik	Nilai I_L	Remarks
11	Tabing (Perupuk)	1	0.49	Liquifaction not probable
		2	0.66	Liquifaction not probable
		3	3.23	Liquifaction not probable
		4	10.41	Liquifaction certain
12	ByPass (PIP)	1	11.11	Liquifaction certain
		2	3.59	Liquifaction not probable
		3	8.90	Liquifaction certain
		4	14.35	Liquifaction certain
		5	2.97	Liquifaction not probable
		6	2.79	Liquifaction not probable
13	Pulau Karam (Pondok)	1	0.00	No Liquifaction
		2	0.00	No Liquifaction
		3	0.00	No Liquifaction
		4	0.00	No Liquifaction
		5	0.00	No Liquifaction
14	Jembatan Siteba	1	17.53	Liquifaction certain
		2	22.06	Liquifaction certain
15	Tarandam (SD Negeri)	1	0.00	No Liquifaction
		2	0.00	No Liquifaction
		3	0.00	No Liquifaction
		4	0.00	No Liquifaction
		5	0.00	No Liquifaction
16	Gor H. Agus Salim	1	12.01	Liquifaction certain
		2	14.39	Liquifaction certain

Tabel 2.6 Tabel Potensi Kedalaman Likuifaksi di Kota Padang

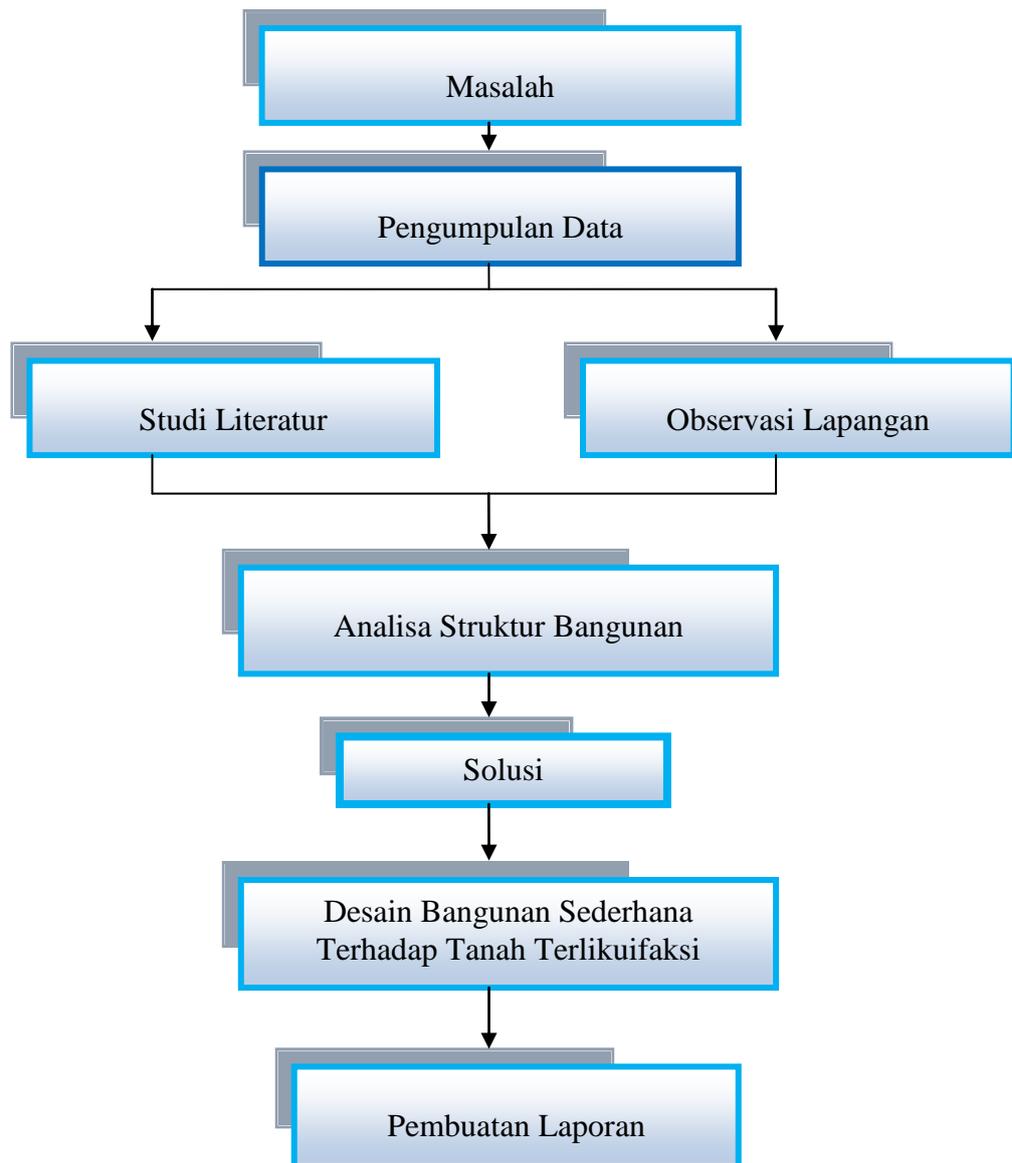
No	Lokasi	Titik	Kedalaman Potensi Likuifaksi (m)
1	Padang Besi	1	1,4 ; 1,6; 2,0; 2,2 ; 2,4; 2,6 ; 2,8 ; 3,2
		2	1,2 ; 1,4; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; s/d 8,0
2	Hotel Bunda (Psr Raya)	1	1,2; 1,4; 3,2; 3,4 s/d 9,0
		2	1,2; 1,4; 2,4; 2,6, 2,8 s/d 8,8
		3	1,2
3	Jati (Fak. Kedokteran Unand)	1	3,2; 3,4 s/d 9,0
		2	2,4; 2,6; s/d 8,8
4	Ketaping (by pass)	1	1,2; 1,4; 3,2 s/d 9,0
		2	1,4 dan 4,0
5	Kurao Pagang	1	2,8; 3,0 s/d 5,8
		2	2,8; 3,0 s/d 11,2
6	Lubuk Begalung	1	3,2; 3,4 s/d 9,0
		2	1,2; 1,4 dan 5,0
		3	1,2; 1,4; 3,2; 3,4 s/d 9,0
7	Padang Baru (Telkom)	1	2,0; 2,2 s/d 7,8
		2	2,0; 2,2 s/d 5,6

No	Lokasi	Titik	Kedalaman Potensi Likuifaksi (m)
8	Lapai	1	1,6; 2,0; 3,0; 3,6; 3,8; 4,4; 4,6; 7,0, 7,2
		2	1,6; 2,0; 3,2; 6,4; 6,6; 6,8 dan 7,0
9	Perupuk Tabing	1	2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,6; 4,0; dan 4,2
		2	1,2, 1,4 s/d 3,4; 4,0 s/d 4,6; 5,6; 5,8; 6,0; 6,6; 6,8; 7,0; 8,4; 8,6; 9,4 s/d 11,4; 12,6; 13,0
		3	1,8
		4	2,2; 2,4; 4,2 dan 5,4
10	By Pass (PIP)	1	1,2; 1,4 s/d 2,6; 3,4 s/d 4,6
		2	1,2; 5,0; 5,2; 5,6; 5,8 dan 6,0
		3	1,2; 1,8 s/d 2,6; 4,2 s/d 5,0
		4	1,2 s/d 3,2; 4,0; 4,8; 5,0; 5,4 s/d 6,4
		5	1,2; 1,8; 2,0; 2,2 dan 4,4
		6	1,8; 2,4 dan 5,4
11	Jembatan Siteba	1	1,2; 1,4 s/d 6,4; 6,8; 7,8; 8,2 dan 9,0
		2	1,2; 1,4; 2,4 s/d 8,8
12	Gor H. Agus Salim	1	1,8; 2,8 s/d 8,0
		2	1,8; 2,8; 3,0; 3,2; 3,6 s/d 8,0

BAB III METODOLOGI

3.1 Kerangka Kerja

Prosedur kegiatan penelitian dilakukan secara bertahap. Tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 : Bagan Alir Penelitian

3.2 Uraian Skema Kerangka Kerja

3.2.1 Masalah

Pada awal tahap yang harus diperhatikan terlebih dahulu adalah permasalahan yang terjadi. Dikaji tentang defenisi secara umum proses likuifaksi, penyebab likuifaksi, dampak bagi bangunan, model bangunan yang terlikuifaksi, faktor yang mempengaruhi, dan metode yang digunakan untuk mendapatkan bangunan yang aman terhadap tanah terlikuifaksi.

3.2.2 Pengumpulan data

Survey data sekunder dilakukan dengan mendatangi masing-masing lokasi atau pengelola dari kawasan/lokasi yang terpilih untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan. Data sekunder merupakan variabel bebas.

3.2.3 Studi Literatur

Pada tahap Studi Literatur ini dilakukan dengan studi terhadap likuifaksi, mulai dari pengertian likuifaksi itu sendiri, peraturan peraturan apa saja yang mengatur tentang tanah terlikuifaksi dan dampaknya bagi bangunan.

3.2.4 Observasi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan observasi langsung ke lapangan. Pelaksanaan observasi di lapangan merupakan pengumpulan data secara primer. Dalam penelitian ini data primernya adalah penurunan bangunan terhadap tanah terlikuifaksi.

3.2.5 Analisa Struktur Bangunan

Setelah melakukan observasi di lapangan di dapatkan data yang akurat mengenai permasalahan, dan dianalisa berdasarkan teori yang ada.

3.2.6 Solusi

Setelah semua data yang diperlukan diperoleh, maka pada tahap ini akan dibuat model bangunan yang sama dengan survey lapangan. Selanjutnya dianalisa menggunakan program mendukung.

3.2.6 Desain bangunan sederhana terhadap tanah terlikuifaksi

Setelah semua data yang diperlukan diperoleh, maka pada tahap ini akan di buat model desain bangunan yang aman terhadap ancaman likuifaksi.

3.2.7 Pembuatan laporan

Setelah semua tahap di atas selesai maka hasilnya akan di buat dalam bentuk sebuah laporan.

3.3 Jadwal Pelaksanaan

Rencana kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini tertuang dalam jadwal kegiatan penelitian yang diperkirakan membutuhkan waktu selama 10 minggu. Untuk lebih jelasnya, jadwal kegiatan peneliitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1.** di bawah.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian

Kegiatan	Bulan Ke 1		Bulan Ke 2				Bulan Ke 3			
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4
Masalah	■	■								
Pengumpulan Data		■	■	■						
Studi Literatur		■	■	■						
Observasi		■	■	■						
Analisa Struktur Bangunan				■	■	■				
Solusi				■	■	■				
Desain Bangunan						■	■	■	■	
Pembuatan Laporan						■	■	■	■	■

BAB IV

PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

4.1 Tinjauan Umum

Analisis struktur rumah sederhana ini dilakukan dengan menggunakan permodelan struktur 3D dengan menggunakan software SAP2000 Versi 11. Kolom-kolom, balok-balok dari struktur gedung dimodelkan sebagai elemen frame sedangkan tanah dan pondasi dimodelkan sebagai elemen *solid*. Pemodelan yang dilakukan adalah sesuai dengan kondisi eksisting rumah sederhana saat ini.

Analisis beban gempa menggunakan analisis dinamis (respon spektrum) gempa untuk Kota Padang berdasarkan Spektra Gempa SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 dengan bantuan program aplikasi online “Desain Spektra Indonesia” yang dikeluarkan Puskim PU tahun 2011, dimana untuk mendapatkan respon spektrum gempa berdasarkan koordinat global lokasi gedung tersebut.

Dari hasil analisis struktur akan diperoleh besarnya gaya dalam dan perpindahan struktur bangunan (*displacement*).

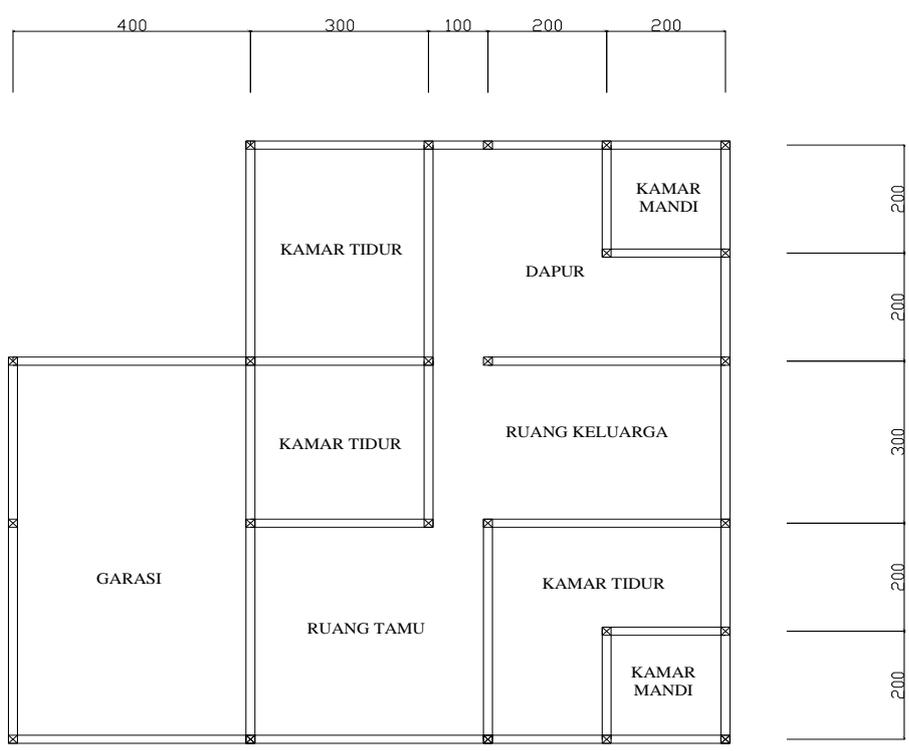
4.2 Kondisi Eksisting Bangunan

Bangunan yang akan dianalisa adalah salah satu rumah masyarakat yang berada di daerah sekitar Air Tawar. Analisa di daerah sini tidak lepas dari gempa yang sering mengguncang kota Padang. Sehingga tanah di sekitar sini rentan terhadap bahaya likuifaksi. Dimana pada rumah yang akan di analisa ini memiliki data umum bangunan sebagai berikut :

- Lokasi : Air Tawar kota Padang
- Fungsi : Rumah tinggal
- Zone Gempa : 5
- Panjang Bangunan : 12 meter
- Lebar Bangunan : 11 meter
- Jumlah Lantai : 1 lantai
- Tinggi Bangunan : 3,5 meter
- Pondasi : Batu Kali



Gambar 4.1 Tampak depan rumah masyarakat yang akan di analisa



Gambar 4.2 Denah rumah masyarakat yang akan di analisa

Luas bangunan ini sendiri kurang lebih 200 m². Bangunan rumah permanen ini akan dilakukan tindakan penelitian untuk mengetahui berapa penurunan yang terjadi akibat dari bahaya likuifaksi. Tujuan dari analisa ini sendiri bertujuan memberikan rekomendasi yang efektif terhadap bahaya likuifaksi. Seperti yang kita ketahui likuifaksi itu sendiri bersifat merusak terutama terhadap bagian struktur bangunan.

4.3 Permodelan Struktur

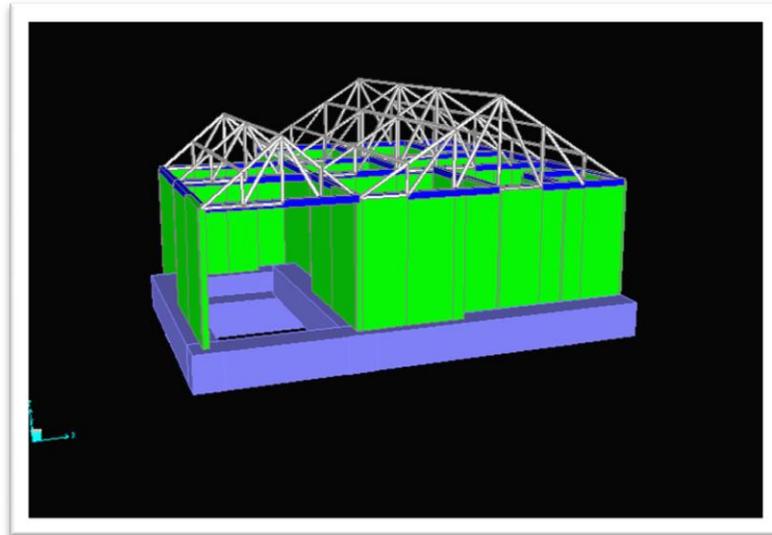
Pada tugas akhir ini, dilakukan analisis terhadap 5 model bangunan, yaitu :

- Model Eksisting yaitu Permodelan struktur atas dan bawah bangunan
- Model 1, bangunan menggunakan plat 10 cm
- Model 2 , bangunan menggunakan plat 12 cm
- Model 3 , bangunan menggunakan plat 15 cm
- Model 4 , bangunan menggunakan plat 20 cm

Lokasi titik tinjau untuk menganalisis gaya dalam dan perpindahan struktur yang digunakan adalah pada kolom yang memiliki gaya dalam dan perpindahan terbesar.

4.3.1 Permodelan Struktur Atas

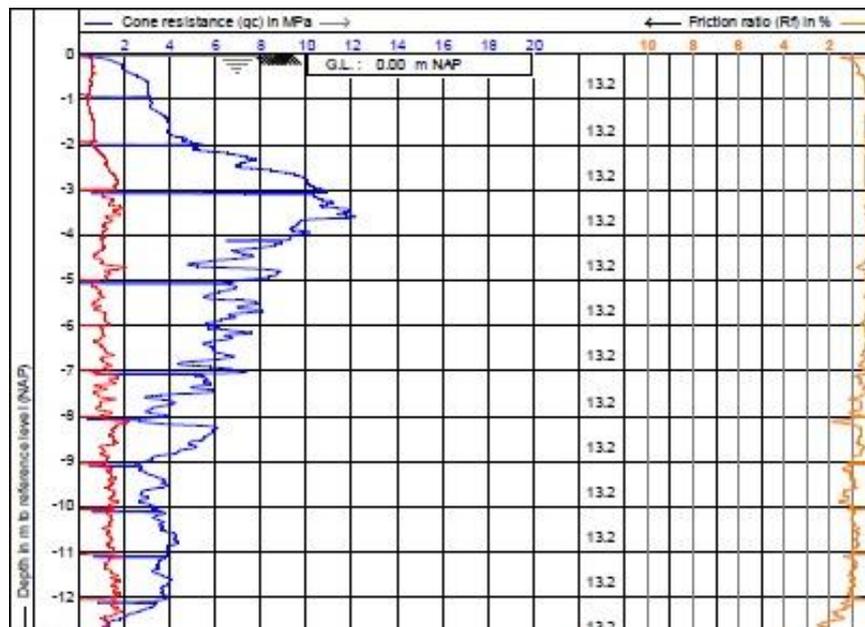
Kasus yang akan diangkat pada tugas akhir ini adalah mengenai analisa rumas sederhana terhadap tanah terlikuifaksi yang di lakukan pada rumah masyarakat di daerah air tawar padang. Permodelan struktur dan tanah sendiri menggunakan program SAP2000 versi 11.



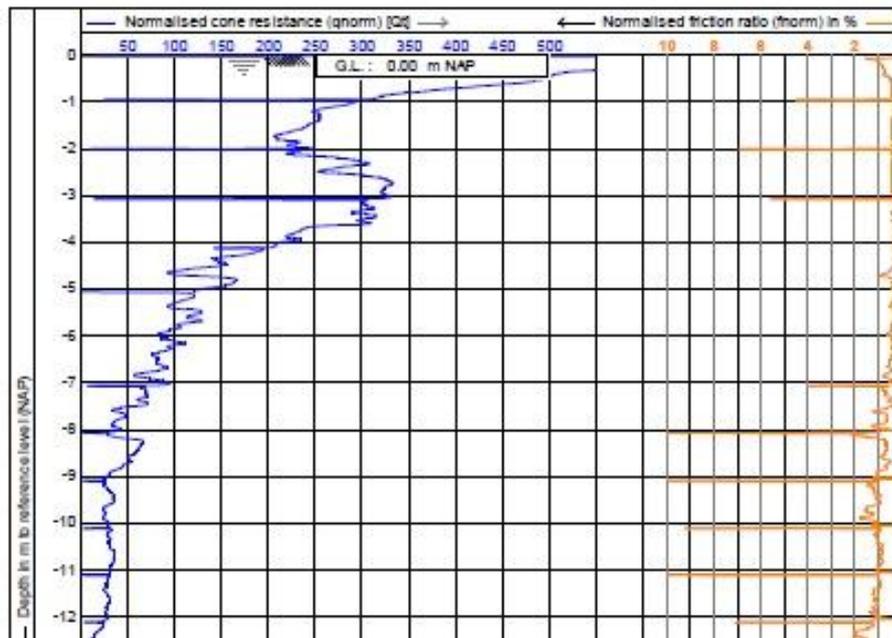
Gambar 4.3 Model Bangunan Struktur Atas

4.3.2 Permodelan Struktur Bawah

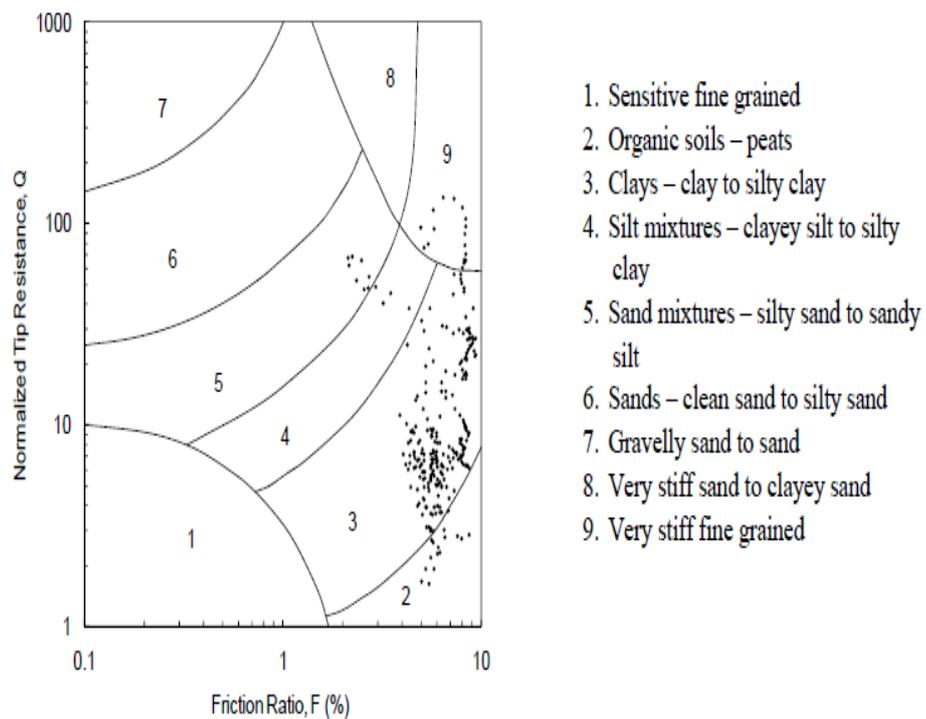
Bangunan tak lepas dari peranan dari struktur bawah / tanah. Apabila struktur bawah tidak mampu untuk menompang beban yang diberikan dari struktur atas maka bangunan tersebut akan hancur. Pada kasus ini struktur bawah diambil dari data tanah di sekitar Air Tawar kota Padang. Dimana data tanah yang digunakan adalah uji CPT (*Cone Penetration Test*).



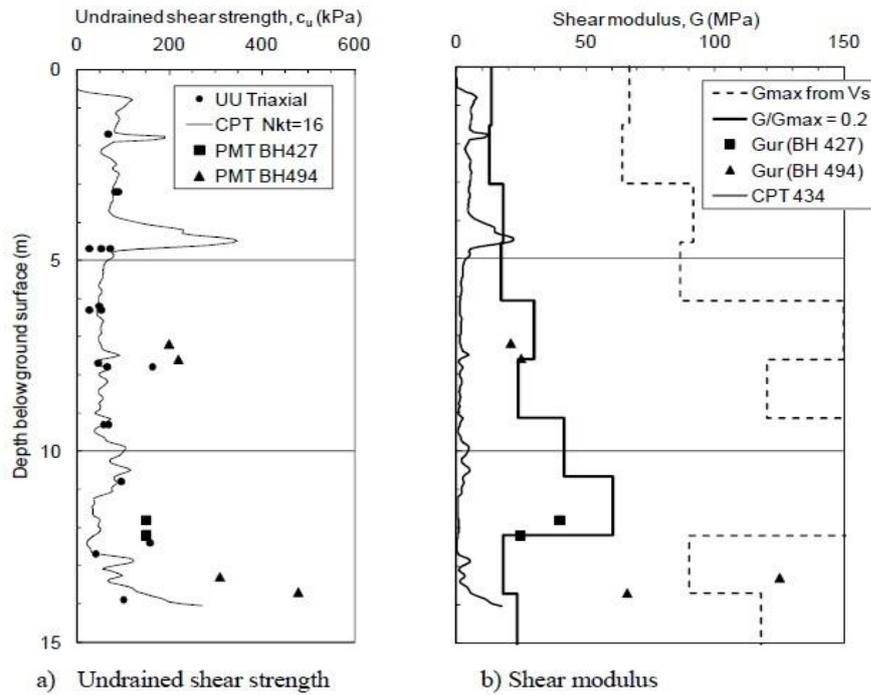
Gambar 4.4 Cone resistance (qc) in Mpa and Friction ratio (Rf) in % (0 - 12 m)



Gambar 4.5 Normalised cone resistance (q_{norm}) and Friction ratio (R_f) in %



Gambar 4.6 Plot showing where data falls on the Robertson (1990) classification of soil behavior types.



Gambar 4.7 Data klasifikasi tanah dari interpretasi

Plot data tersebut ke excel untuk mendapatkan nilai berdasarkan kedalaman tanah. Setelah itu didapatkan klasifikasi tanah.

Tabel 4.1 Parameter tanah berdasarkan grafik

Kedalaman (M)	Normalized Tip Resistance (Q)	Friction Ratio (%)	Klasifikasi tanah
0	500	0.5	7
1	300	0.5	7
2	230	0.5	7
3	330	0.5	7
4	220	0.5	7
5	150	0.5	6
6	90	0.5	6
7	90	0.5	6
8	40	1	5
9	40	1	5
10	30	1	5
11	30	1	5
12	30	1	5

Data tersebut berupa grafik kontur tanah dengan nilai dan kedalaman.

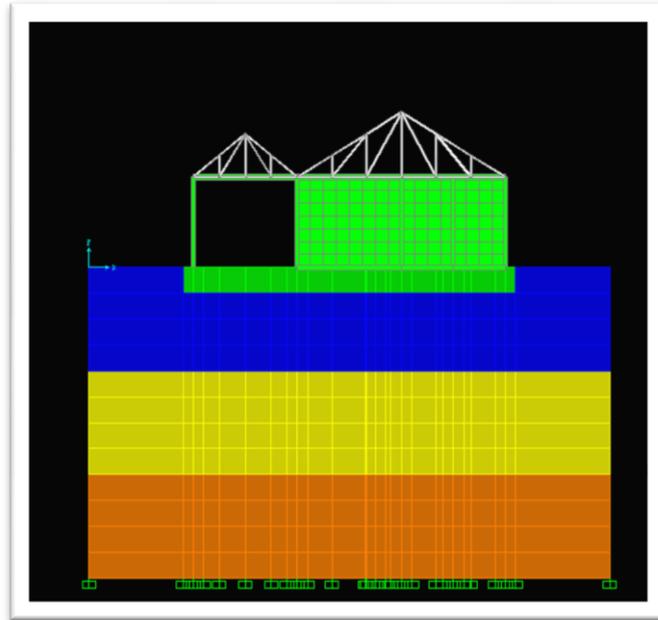
Tanah yang di peroleh dari korelasi tersebut sebagai berikut :

Kedalaman	Klasifikasi Tanah
0 – 4 meter	<i>Gravelly sand to sand</i>
4 - 8 meter	<i>Sands – clean sand to silty sand</i>
8 – 12 meter	<i>Sand mixtures – silty sand to sandy</i>

Dimana klasifikasi tanah di dapatkan dari perbandingan antara *friction ratio* (%) dan *normalized tip resistance*. Setelah diketahui klasifikasi tiap lapisan kedalaman maka tahap selanjutnya mencari berapa nilai dari : $\gamma_d, \gamma_{sat}, \nu$, dan E. Dari Tabel 2.2 Buku Rekayasa Pondasi Abdul Hakam Ph.d di dapatkan berat volume kering untuk beberapa tipe yang masih dalam keadaan asli dan dari Tabel 3.4 Buku Braja M Das di dapat nilai E dan *Poisson Ratio*. Nilai yang di peroleh sebagai berikut :

	0 – 4 m	4 – 8 m	8 – 12 m
γ_d	14,5	16	19
γ_{sat}	19,167	20	22
E	690 – 1725 kg / cm ²	130 – 172 kg / cm ²	103 – 172 kg / cm ²
ν	0,15 – 0,35	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4

Setelah memperoleh nilai yang di perlukan untuk data pada SAP2000 versi 11, baru lah inputkan data tersebut kedalam SAP2000. Seperti data yang kita dapatkan tanah memiliki 3 lapisan. Pada permodelan tanah tersebut di buat 3 lapisan seperti berikut :



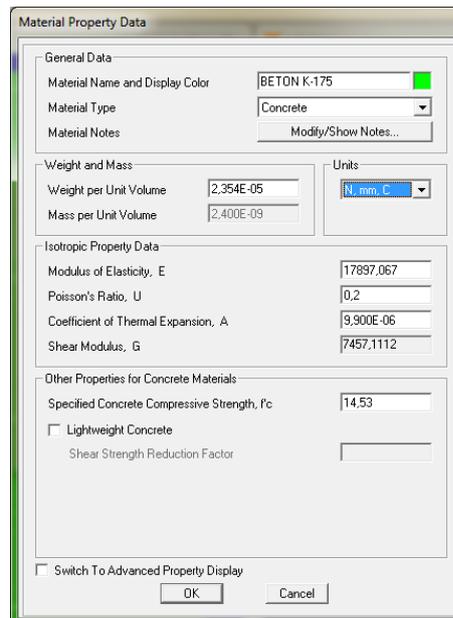
Gambar 4.8 Permodelan lapisan tanah yang di diinputkan ke SAP2000

Tahap pemodelan struktur bangunan adalah sebagai berikut:

- a) Pendefinisian material kondisi eksisting

Material yang digunakan pada pemodelan ini adalah sebagai berikut:

1. Beton kolom dan balok (K-175 / $f_c' = 14,53$; $\gamma_{\text{beton}} = 2400 \text{ kg/m}^3$)
dengan $E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 17897,067 \text{ MPa}$



Gambar 4.9 Kotak Dialog Material Propertis

2. Tanah lapisan 1 ($\gamma_d = 1450 \text{ kg/m}^3$, *Poisson Ratio* = 0,3 , Modulus Elastisitas = 1725 kg/cm^2)

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for 'TANAH 1'. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (TANAH 1), 'Material Type' (Other), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (1450) and 'Mass per Unit Volume' (147,8588). The 'Units' section is set to 'Kgf. m. C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (17250000), 'Poisson's Ratio, U' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1,170E-05), and 'Shear Modulus, G' (6634615). There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

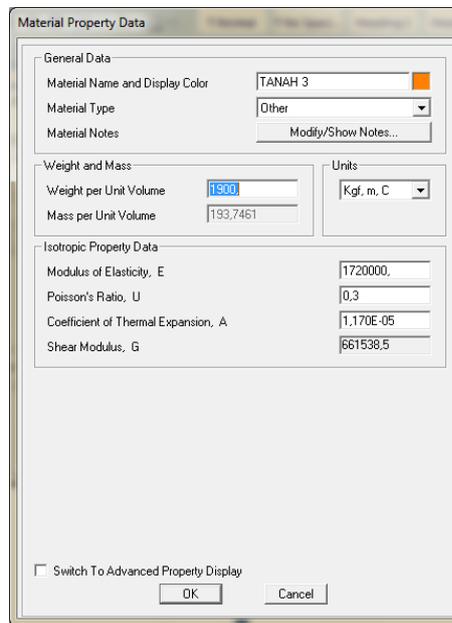
Gambar 4.10 Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 1

3. Tanah lapisan 2 ($\gamma_d = 1600 \text{ kg/m}^3$, *Poisson Ratio* = 0,3 , Modulus Elastisitas = 172 kg/cm^2)

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for 'TANAH 2'. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (TANAH 2), 'Material Type' (Other), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (1600) and 'Mass per Unit Volume' (163,1546). The 'Units' section is set to 'Kgf. m. C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (1720000), 'Poisson's Ratio, U' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1,170E-05), and 'Shear Modulus, G' (661538,5). There is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

Gambar 4.11 Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 2

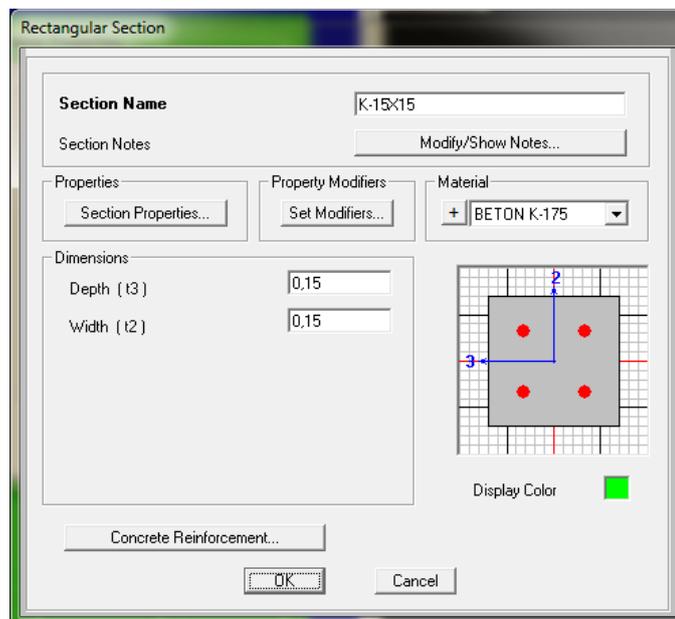
4. Tanah lapisan 3 ($\gamma_d = 1900 \text{ kg/m}^3$, *Poisson Ratio* = 0,3 , Modulus Elastisitas = 172 kg/cm^2)



Gambar 4.12 Kotak Dialog Material Propertis Tanah Lapisan 3

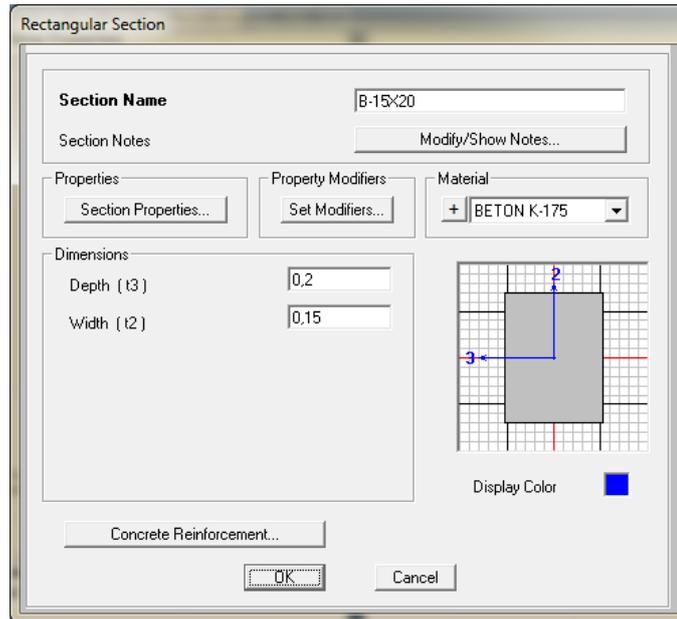
- b) Pendefinisian dimensi komponen struktur eksisting yang akan dimodelkan dalam SAP2000 adalah sebagai berikut:

1. Kolom (15 x 15) cm



Gambar 4.13 Kotak Dialog Kolom

2. Balok (15 x 20) cm



Gambar 4.14 Kotak Dialog Balok

3. Perletakan

Perletakan yang digunakan pada permodelan ini terletak di bagian paling bawah dari tanah. Dimana perletakan yang digunakan yaitu perletakan jepit.



Gambar 4.15 Kotak Dialog Balok

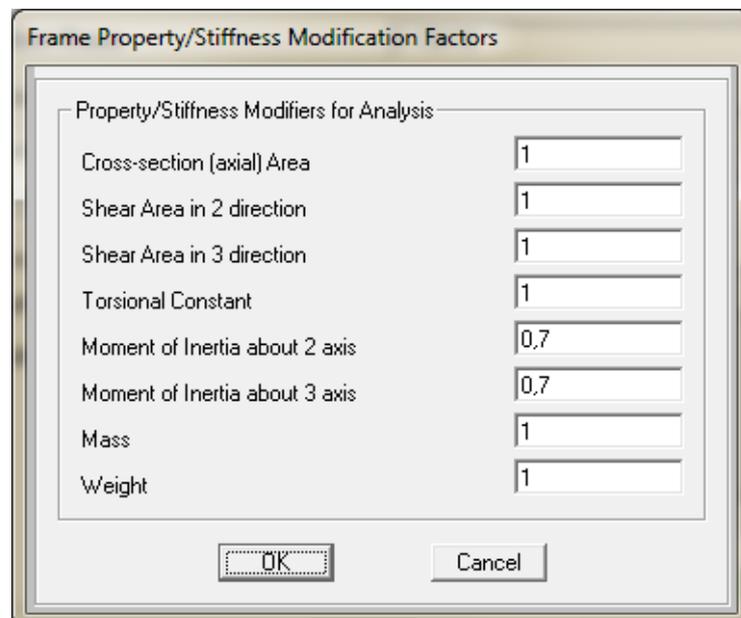
c) Set Modifier Elemen Balok, Kolom dan Pelat Lantai

Berdasarkan pasal 12.11 SNI 03-2847 2002, nilai modulus elastisitas dari masing-masing elemen balok, kolom, pelat, dan dinding ditentukan sebagai berikut:

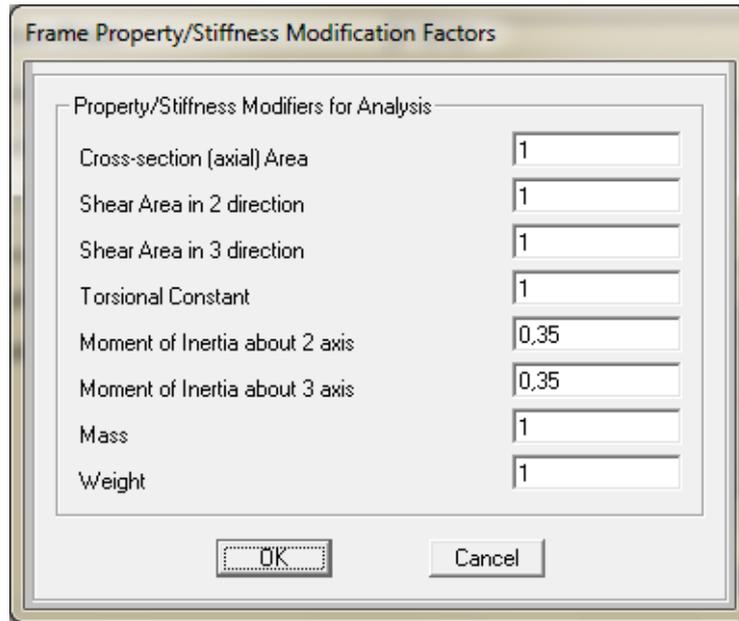
Tabel 4.2 Modulus Elastisitas Elemen Struktur

Modulus Elastisitas	E_c
Momen Inersia:	
- Balok	$0,35 I_g$
- Kolom	$0,70 I_g$
- Dinding: Tidak Retak	$0,70 I_g$
Retak	$0,35 I_g$
- Pelat datar dan lantai datar	$0,25 I_g$
- Luas	$1,00 I_g$

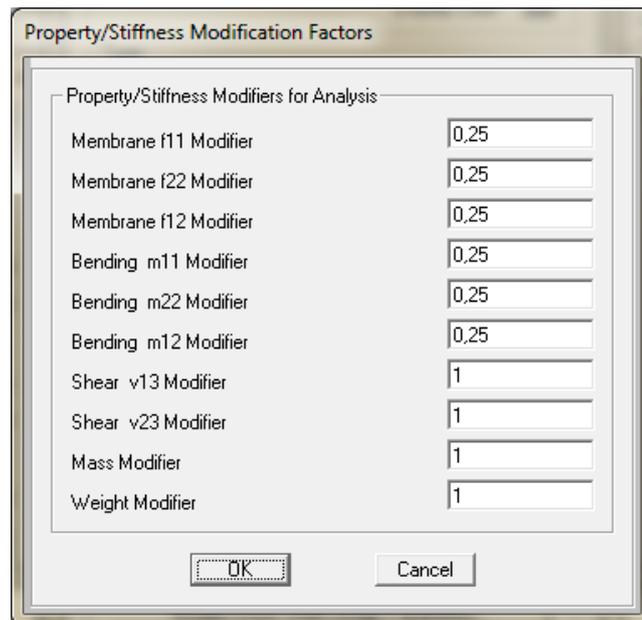
Maka masing-masing elemen balok, kolom, pelat, didefinisikan berdasarkan ketentuan di atas.



Gambar 4.16 Kotak Dialog *Set Modifier* Kolom



Gambar 4.17 Kotak Dialog *Set Modifier* Balok



Gambar 4.18 Kotak Dialog *Set Modifier* Plat Lantai

4.4 Analisa Struktur

4.4.1 Analisa Pembebanan

4.4.1.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati meliputi semua komponen struktur bangunan, yaitu balok, kolom, pelat,dinding serta beban mati tambahan yang bekerja pada pelat lantai

ataupun kuda- kuda. Untuk perhitungan beban mati diambil berdasarkan berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung seperti terdapat pada Tabel 4.1 Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung tahun. Pembebanan akibat beban mati ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Pembebanan akibat beban mati

Bahan/ Komponen Bangunan	Berat
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Dinding dari pasangan bata (1/2 bata)	250 kg/m ²
Plafond (termasuk rangka dan penggantung)	18 kg/m ²
Adukan semen (spesi) per 1 cm tebal	21 kg/m ²
Penutup lantai (keramik tile) per 1 cm tebal	24 g/m ²

4.4.1.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup yang ada pada analisa ini yaitu beban orang sebesar 100 kg / m² untuk beban pada kuda-kuda sesuai dengan ketentuan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

4.4.1.3 Beban Gempa (*Earthquake Load*)

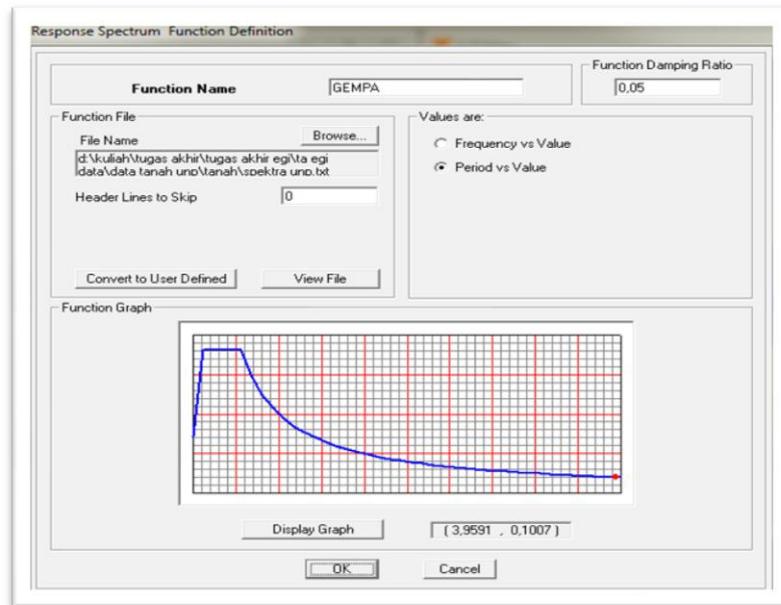
Analisis struktur terhadap beban gempa mengacu pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012) dan SNI 03-1726-2002 tentang Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung. Analisis struktur terhadap beban gempa pada gedung dilakukan dengan Metode Analisis Dinamik Respon Spektrum. Berikut perbedaan parameter respon spectrum gempa SNI 2012 dengan SNI 2002:

Tabel 4.4 Perbedaan Parameter Respon Spektra Gempa

SPEKTRUM SNI GEMPA 2002	SPEKTRUM SNI GEMPA 2012
<ol style="list-style-type: none"> 1. Faktor Jenis Tanah 2. Wilayah Gempa masing-masing daerah 3. Kombinasi pembebanan gempa arah x dan y (EX dan EY) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parameter percepatan batuan dasar pada periode 0,2 (S_S) detik dan 1 detik (S_1). 2. Parameter kelas situs (SA, SB, SC, SD, SE, dan SF) 3. Koefisien-koefisien dan parameter-parameter respons spektra percepatan maksimum yang terpetakan (S_{MS}, S_{MI}) 4. Parameter percepatan spektra desain (S_{DS}, S_{D1}) 5. Kombinasi pembebanan gempa arah horizontal dan vertikal (EH dan EV).

Tabel 4.5 Penentuan Parameter Respon Spektra Gempa 2012

SPEKTRUM SNI GEMPA 2012	NILAI
1. Menentukan percepatan batuan dasar berdasarkan Peta S_S dan S_1	$S_S = 1,355g$ $S_1 = 0,599g$
2. Menentukan Kelas Situs	SD (Tanah Sedang)
3. Menentukan faktor amplifikasi getaran periode pendek (F_a) dan periode 1 detik (F_v).	$F_a = 1,0$; $F_v = 1,0$
4. Menentukan parameter spektrum respons percepatan S_{MS} dan S_{MI}	$S_{MS} = 1$; $S_{MI} = 0,599$
5. Menentukan percepatan spektra desain S_{D1} dan S_{DS}	($S_{D1} = 0,309$; $S_{DS} = 0,903$)



Gambar 4.19 Hasil respon spektrum gempa yang di diinputkan ke SAP2000

4.4.1.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan Pasal 5.8.2 SNI Gempa 2002, untuk mensimulasikan arah pengaruh Gempa Rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan menurut Pasal 5.8.1 harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas hanya 30%. Hal ini juga berlaku untuk kombinasi beban yang menggunakan SNI 2012. Perbedaan kombinasi beban adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Perbedaan Kombinasi Pembebanan SNI 03-1726-2002 dan 2012

SNI 2002	SNI 2012
1. 1,4 DL	1. 1,4 DL
2. 1,4 DL+1,6 LL+0,5 R	2. 1,2 DL + 1,6 LL+ 0,5 R
3. 1,2 DL+1,0 LL+1,0 E1+0,3 E2	3. 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 E1 + 0,3 E2
4. 1,2 DL+1,0 LL+1,0 E1-0,3 E2	4. 1,2 DL + 1,0 LL + 0,3 E1 + 1,0 E2
5. 1,2 DL+1,0 LL-1,0 E1+0,3 E2	5. 0,9 DL + 1,0 E1 + 0,3 E2
6. 1,2 DL+1,0 LL-1,0 E1-0,3 E2	6. 0,9 DL + 0,3 E1 + 1,0 E2

<p>7. 1,2 DL+1,0 LL+0,3 E1+1,0 E2</p> <p>8. 1,2 DL+1,0 LL+0,3 E1-1,0 E2</p> <p>9. 1,2 DL+1,0 LL-0,3 E1-1,0 E2</p> <p>10. 1,2 DL+1,0 LL-0,3 E1+1,0 E2</p> <p>11. 0,9 DL+0,3 E1+1,0 E2</p> <p>12. 0,9 DL-0,3 E1+1,0 E2</p> <p>13. 0,9 DL+0,3 E1-1,0 E2</p> <p>14. 0,9 DL-0,3 E1-1,0 E2</p> <p>15. 0,9 DL+1,0 E1+0,3 E2</p> <p>16. 0,9 DL-1,0 E1+0,3 E2</p> <p>17. 0,9 DL+1,0 E1-0,3 E2</p> <p>18. 0,9 DL-1,0 E1-0,3 E2</p>	<p>Dimana:</p> <p>$E = E_v + E_h$ (Combo 3 dan 4)</p> <p>$E = E_v - E_h$ (Combo 4 dan 5)</p> <p>$E_v = 0,20 S_{DS} D$</p> <p>$E_h = \rho Q_E$</p> <p>Keterangan:</p> <p>E_h : pengaruh gempa horizontal</p> <p>E_v: pengaruh gempa vertikal</p> <p>ρ : faktor redundansi yang disesuaikan dengan kategori desain seismik</p> <p>Q_E: pengaruh gempa spectra</p>
--	--

BAB V

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi terhadap bangunan pada tanah terlikuifaksi dianggap menjadi sebuah mekanisme baru bagi permasalahan bangunan baik struktur maupun tanahnya dan dapat dijadikan acuan pada masa yang akan datang. Pada dasarnya penurunan bangunan terhadap tanah terlikuifaksi prosesnya hampir sama dengan penurunan konsolidasi. Konsolidasi dapat didefinisikan sebagai keluarnya air pori tanah diikuti dengan berkurangnya volume tanah. Bila orientasi berkurangnya volume tanah adalah arah vertikal, maka yang terjadi adalah penurunan.

5.1 Analisa Hasil Uji *Cone Penetration Test* (CPT)

Parameter tanah berdasarkan grafik pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengolahan data klasifikasi tanah dari interpretasi

Kedalaman	Klasifikasi Tanah	Warna
0-4m	Gravelly sand to sand	Merah
5-7m	Sands – clean sand to silty sand	Kuning
8-12m	Sand mixtures – silty sand to sandy	Putih



Gambar 5.1 Hasil pengolahan data klasifikasi tanah dari interpretasi berdasarkan warna pada SAP 2000.

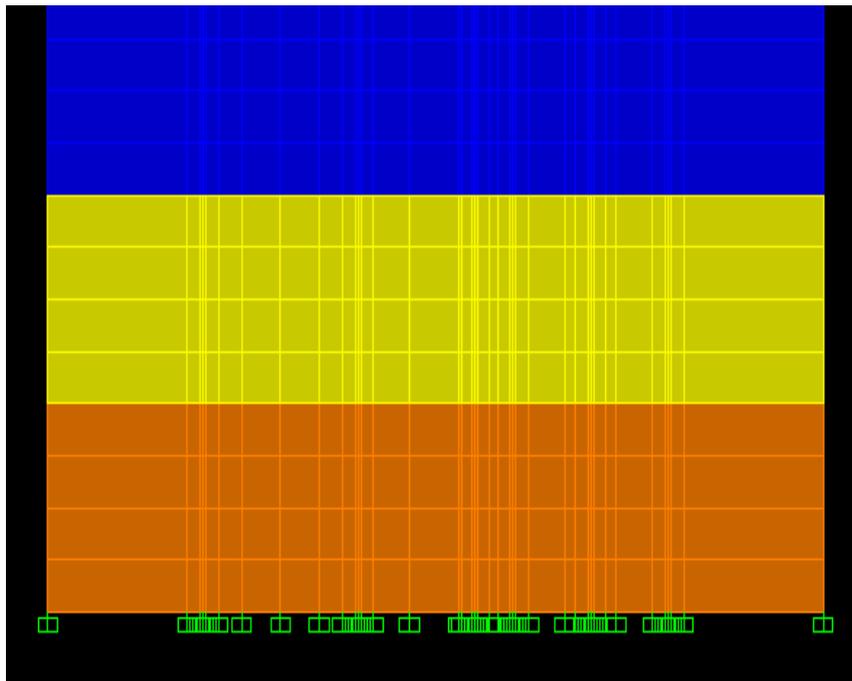
Klasifikasi tanah didapatkan dari perbandingan antara *friction ratio* (%) dan *normalized tip resistance*. Setelah diketahui klasifikasi tiap lapisan kedalaman maka tahap selanjutnya mencari berapa nilai dari : γ_d , γ_{sat} , v , dan E . dari tabel 2.2 buku Rekayasa Pondasi Abdul Hakam Ph.d. sehingga didapatkan berat volume kering untuk beberapa tipe yang masih dalam keadaan asli dan dari tabel 3.4 buku

Braja M Das di dapat nilai E dan Poisson Ratio. Nilai yang diperoleh sebagai berikut :

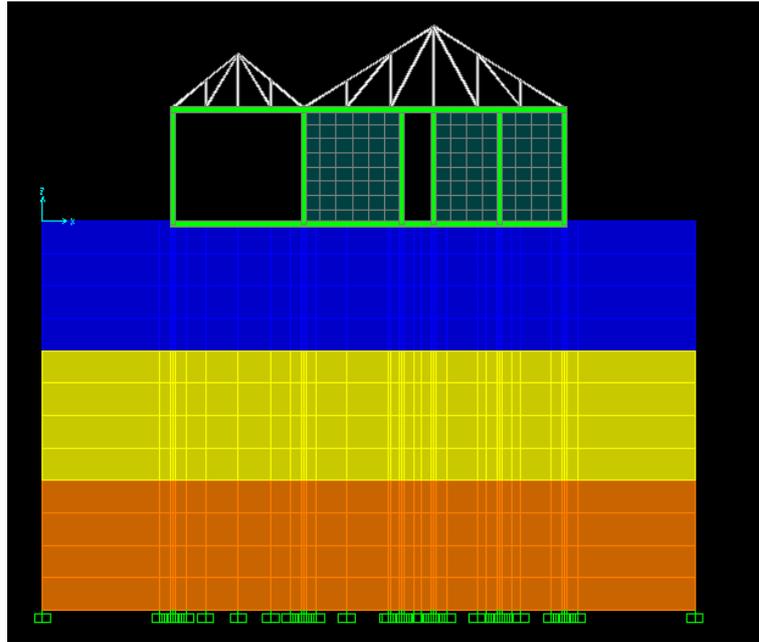
Tabel 5.2 Propertis fisik tanah disekitar air tawar

	0 – 4 m	4 – 8 m	8 – 12 m
γ_d	14,5	16	19
γ_{sat}	19,167	20	22
E	690 – 1725 kg / cm ²	130 – 172 kg / cm ²	103 – 172 kg / cm ²
ν	0,3 – 0,4	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4

Setelah memperoleh nilai yang diperlukan untuk data pada SAP2000 versi 11, data tersebut diinputkan kedalam SAP2000 v11. Seperti data yang didapatkan dimana tanah memiliki 3 lapisan, seperti terlihat pada gambar 5.2.



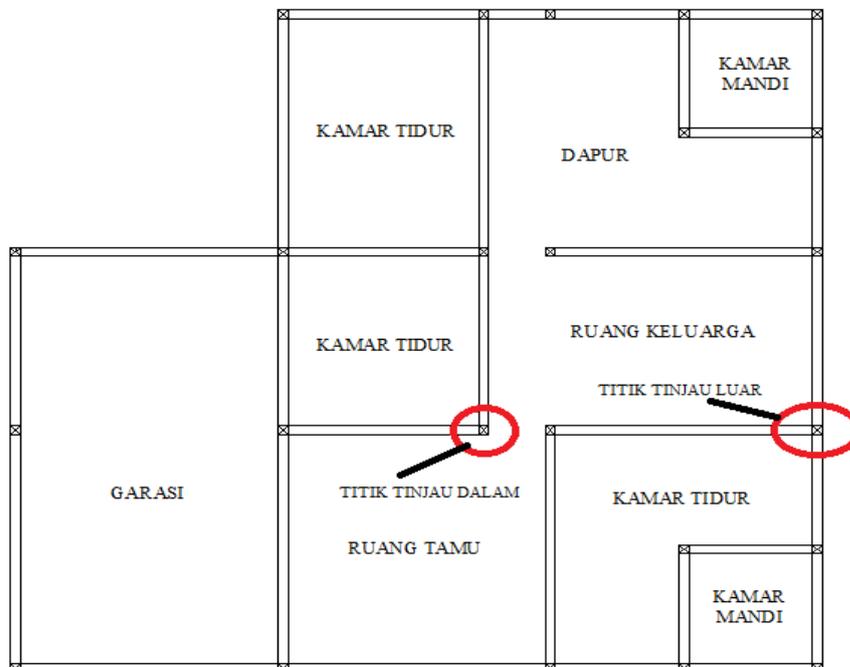
Gambar 5.2 Tanah solid pada SAP 2000



Gambar 5.3 Permodelan struktur atas dan bawah pada SAP 2000.

5.2 Analisa Struktur Kondisi Eksisting

Dalam melakukan analisis pada kondisi eksisting ditinjau berdasarkan denah lokasi peninjauan berikut:



Gambar 5.4 Lokasi Titik Tinjau Kolom

5.2.1 Gaya Dalam Kondisi Eksisting

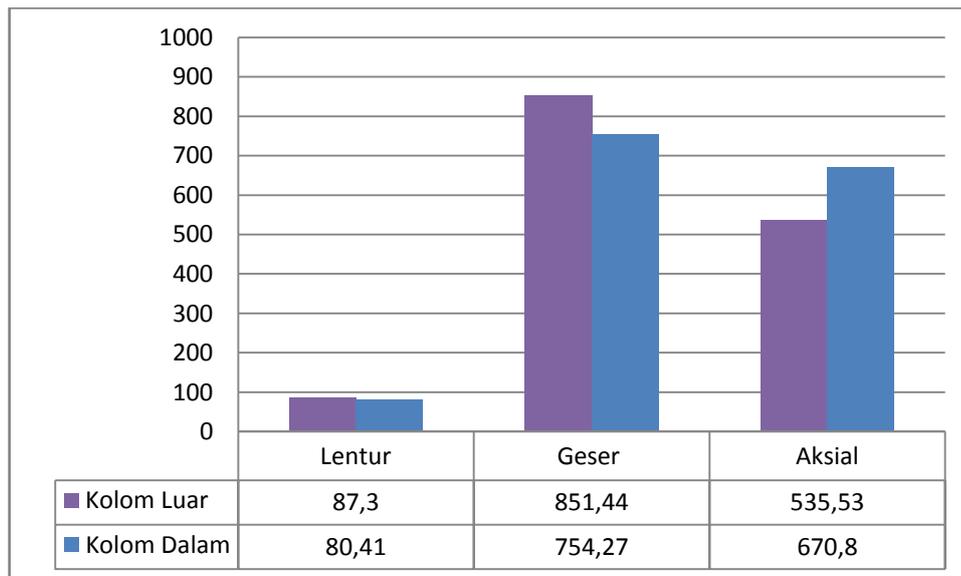
1. Kolom Bagian Luar dan Dalam

Tabel 5.3 Gaya Dalam Kolom Bagian Luar dan Dalam

Tinggi (meter)	Gaya		
	Lentur	Geser	Aksial
	(kg)	(kg)	(kg)
3,5	87,3	851,44	535,53
3,5	80,41	754,27	670,8

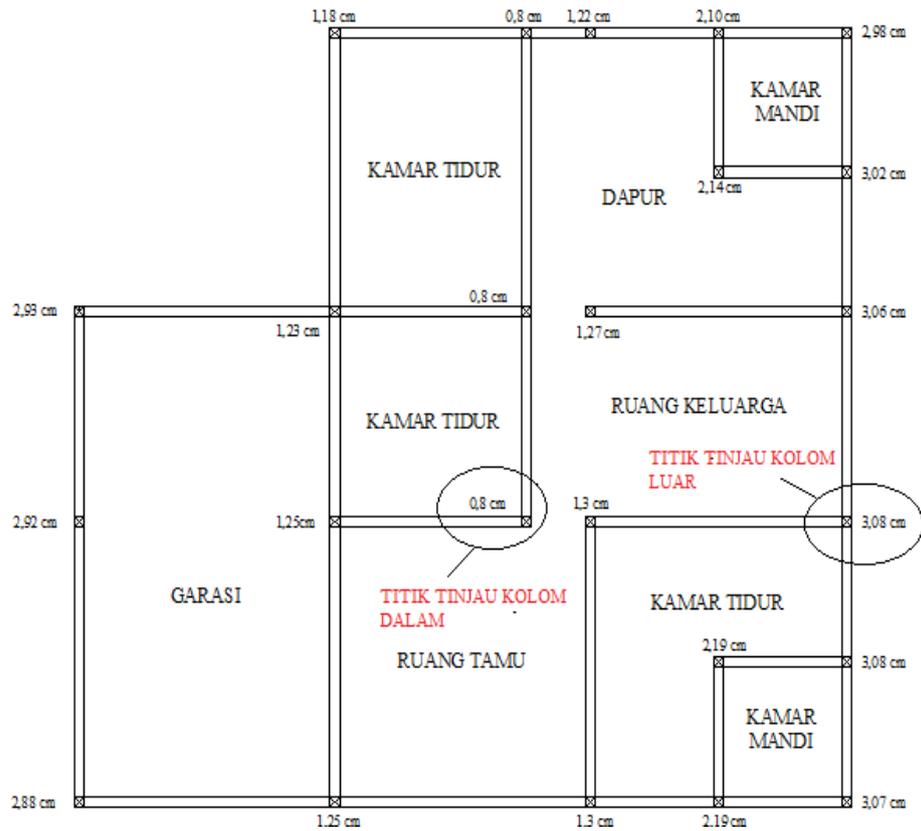
Perbandingan nilai gaya dalam yang didapat dari kolom bagian luar dan kolom bagian dalam dengan bentang 3,5 meter terjadi perbedaan pada gaya lentur, geser, dan aksial. Dimana pada kolom bagian luar memiliki nilai gaya lentur dan aksial yang lebih kecil dibandingkan dengan kolom bagian dalam. Sedangkan untuk gaya geser kolom bagian dalam nilainya lebih kecil dibandingkan dengan kolom bagian luar. Selisih terbesar antara kolom luar dan kolom dalam terdapat pada gaya aksial yaitu sekitar 135,27 kg.

Diagramnya dapat di lihat sebagai berikut :



Gambar 5.5 Perbandingan Gaya Dalam Kolom Luar dan Dalam

5.2.2 Point Displacement Kondisi Eksisting

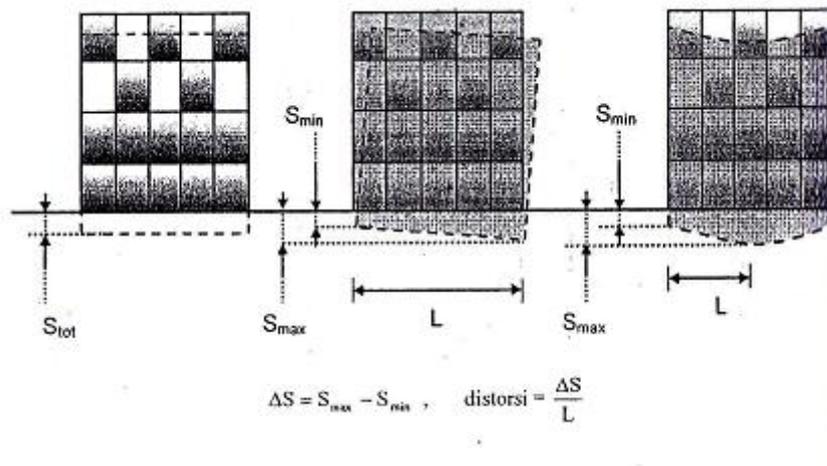


Gambar 5.6 Penurunan Pada Kondisi Eksisting



Gambar 5.7 Penurunan Pada Kondisi Eksisting

Dari hasil penurunan yang di dapat dari SAP2000 menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi antara tiap titik tidaklah sama. Dimana pada kasus ini titik yang di tinjau adalah bagian luar dan dalam bangunan. Pada kolom bagian luar bangunan terjadi penurunan terbesar yaitu sekitar 3,08 cm sedangkan kolom bagian dalam bangunan terjadi penurunan terkecil sekitar 0,8 cm. Selanjutnya penurunan ini akan di tinjau berdasarkan perkiraan penurunan distorsi sebagai berikut :



Gambar 5.8 Perkiraan Penurunan Distorsi Pada Kondasi Eksisting

Dimana nilai distorsi akibat penurunan yang tak seragam ini dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Distorsi = $\Delta S / L$

$\Delta S = S_{max} - S_{min}$

Keterangan :

$S_{max} = 3,08 \text{ cm} = 30,8 \text{ mm}$

$S_{min} = 0,8 \text{ cm} = 8 \text{ mm}$

$L = 12 \text{ m} = 12000 \text{ mm}$

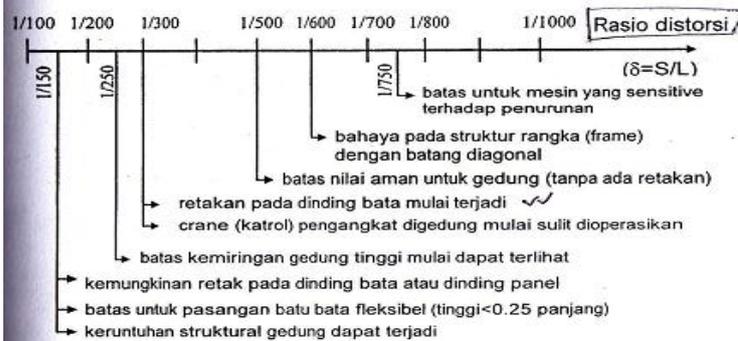
$\Delta S = S_{max} - S_{min} = 30,8 \text{ mm} - 8 \text{ mm} = 22,8 \text{ mm}$

$Distorsi = \Delta S / L = 22,8 \text{ mm} / 12000 \text{ mm}$

Tabel 5.4 Batas Izin Penurunan

Tabel 3.1. Batas penurunan ijin

Tipe penurunan	Faktor pembatas	Nilai batas
Penurunan total	Draenase	150 - 300 mm
	Akses	300 - 600 mm
	Perkiraan terjadi penurunan distorsi	
	Tembok pasangan batu	25 - 50 mm
	Struktur rangka	50 - 100 mm
Kemiringan	Silo, pondasi rakit, cerobong asap	75 - 300 mm
	Stabilitas terhadap guling	tergantung tinggi dan lebar
	Kemiringan tower, cerobong asap	0.004 L
	Berjalannya kendaraan (truk)	0.01 L
	Bergerakannya barang-barang	0.01 L
	Bekerjanya mesin pemintal kapas	0.003 L
	Pengoperasian turbin, generator	0.0002 L
	Rail Crane (mesin pengangkat)	0.003 L
	Draenase pada muka lantai	0.01 - 0.02 L
	Penurunan distorsi	Tingginya pasangan batu-bata
Retakan pada dinding batu-bata		0.001 L
Retakan pada plesteran dinding		0.001 L
Bangunan rangka beton bertulang		0.0025 - 0.004 L
Dinding beton bertulang		0.003 L
Bangunan rangka baja menerus		0.002 L
Struktur rangka baja sederhana		0.005 L



Gambar 3.4. Nilai batas rasio distorsi

Dimana nilai yang di dapat masih masuk kedalam nilai batas izin perkiraan terjadinya penurunan distrosi yaitu 30,8 mm yang berada dalam batasan antara 25 – 50 mm. Sedangkan pada nilai batas rasio distrosi, bangunan tersebut menyatakan bahwa nilai dari 22,8 mm / 12000 mm tersebut masih termasuk kedalam batas nilai aman untuk gedung / bangunan rumah sederhana tanpa adanya retakan yang berarti. Akan tetapi penurunan yang berbeda ini pastinya akan berpengaruh terhadap kekuatan struktur. Untuk itu di perlukan sebuah perkuatan struktur yang mana diharapkan penurunan di tiap titik sama.

5.3 Perkuatan Struktur

Hasil evaluasi yang di dapat pada kondisi eksisting menunjukkan bahwa terjadi penurunan bangunan rumah sederhana yang tidak seragam. Bisa dikatakan antara bagian dalam dengan bagian luar terdapat perbedaan ketinggian penurunan.

Dengan demikian maka akan dilakukannya analisa dengan memberikan perkuatan pada bagian lantai.

5.3.1 Perkuatan dengan memberikan Plat pada bagian lantai.

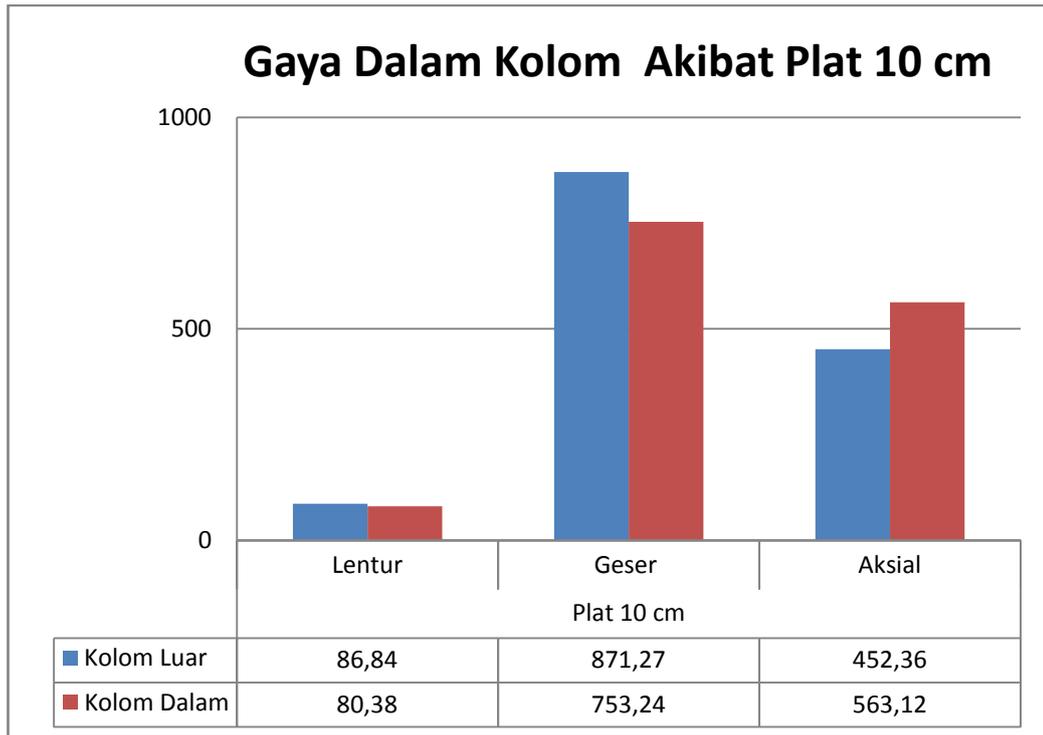
Perkuatan dengan menambahkan struktur plat lantai dilakukan dengan 4 model sebagai berikut:

- Model 1, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 10 cm
- Model 2, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 12 cm
- Model 3, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 15 cm
- Model 4, bangunan menggunakan plat dengan ketebalan 20 cm

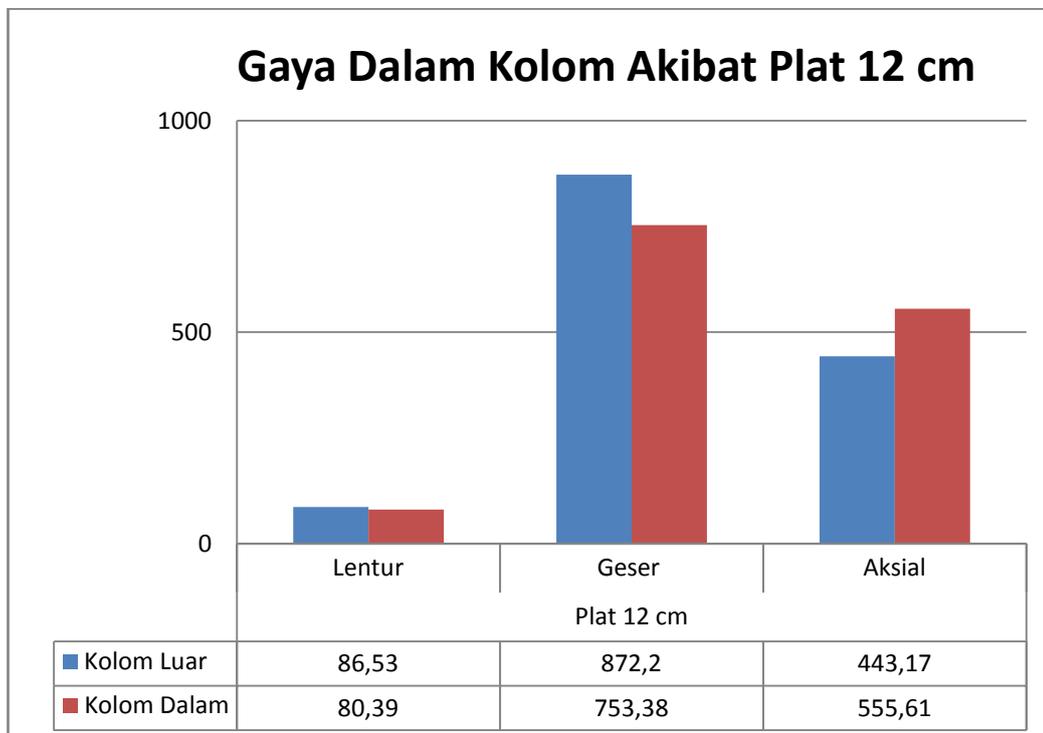
5.3.2 Perbandingan Kondisi Variasi Plat dan Penurunan

5.3.2.1 Gaya Dalam Kolom

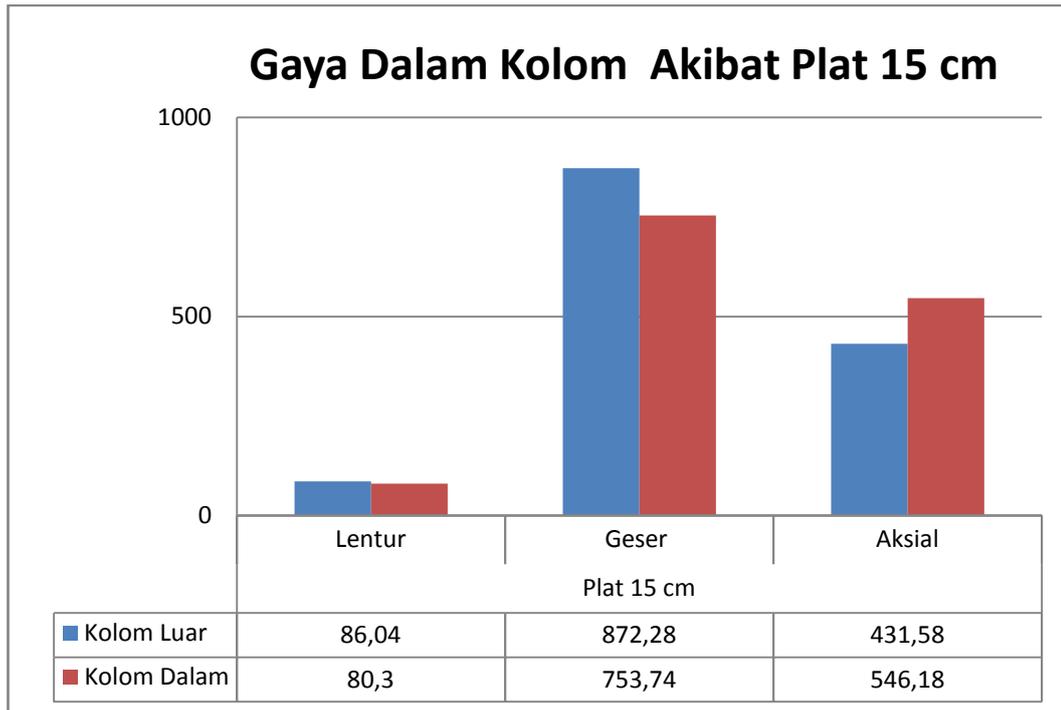
Gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur bangunan rumah sederhana ditunjukkan oleh **Gambar 5.9 s/d Gambar 5.14**. Pada grafik terlihat perbedaan yang terjadi pada struktur bangunan berdasarkan variasi ketebalan plat yang diberikan dan juga terlihat perbedaan gaya dalam antara kolom pada bagian luar bangunan dengan dalam bangunan. Dimana gaya lentur dan geser pada sisi luar bangunan lebih besar dibandingkan dengan sisi dalam bangunan. Sedangkan nilai gaya aksial dalam bangunan lebih besar dibandingkan dengan luar bangunan.



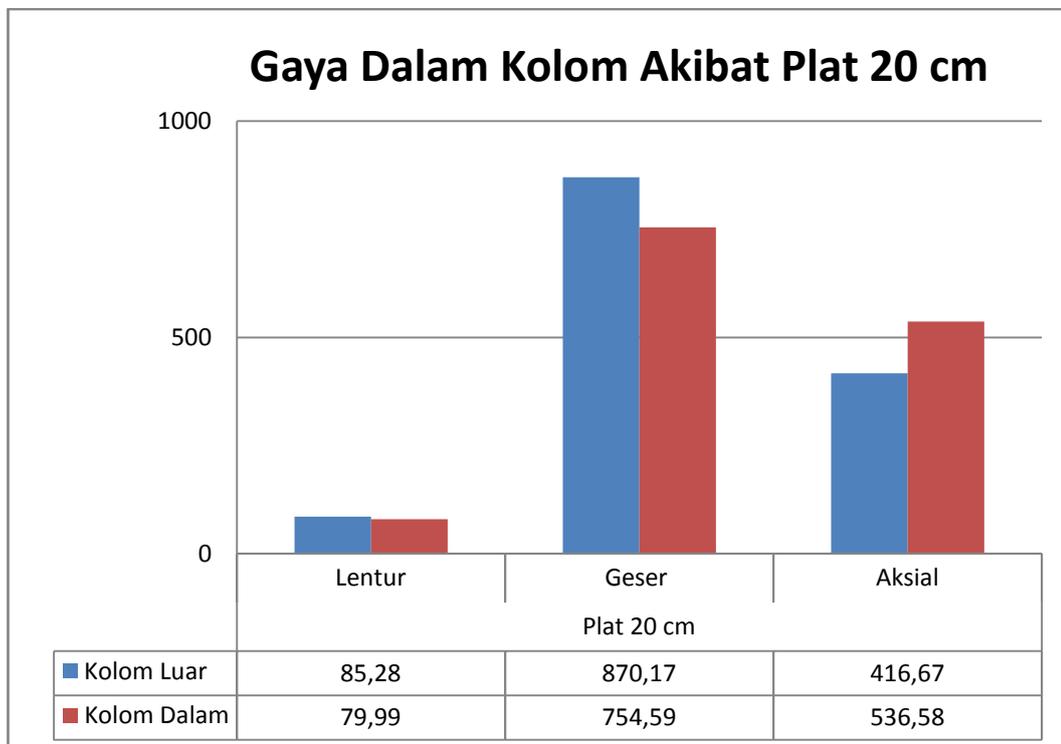
Gambar 5.9 Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 10 cm



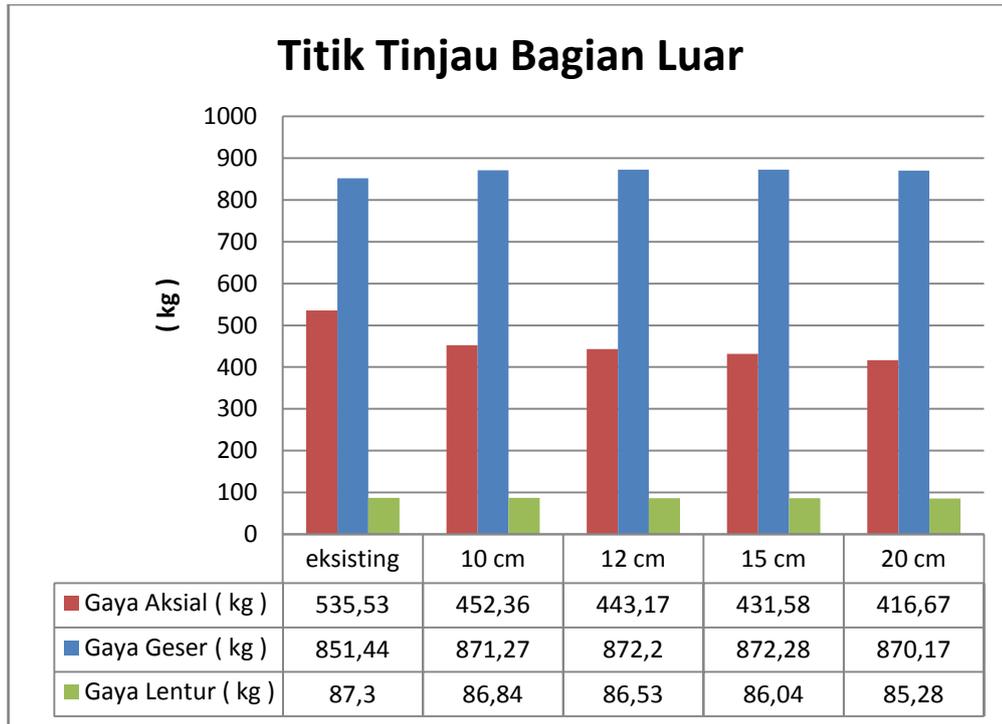
Gambar 5.10 Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 12 cm



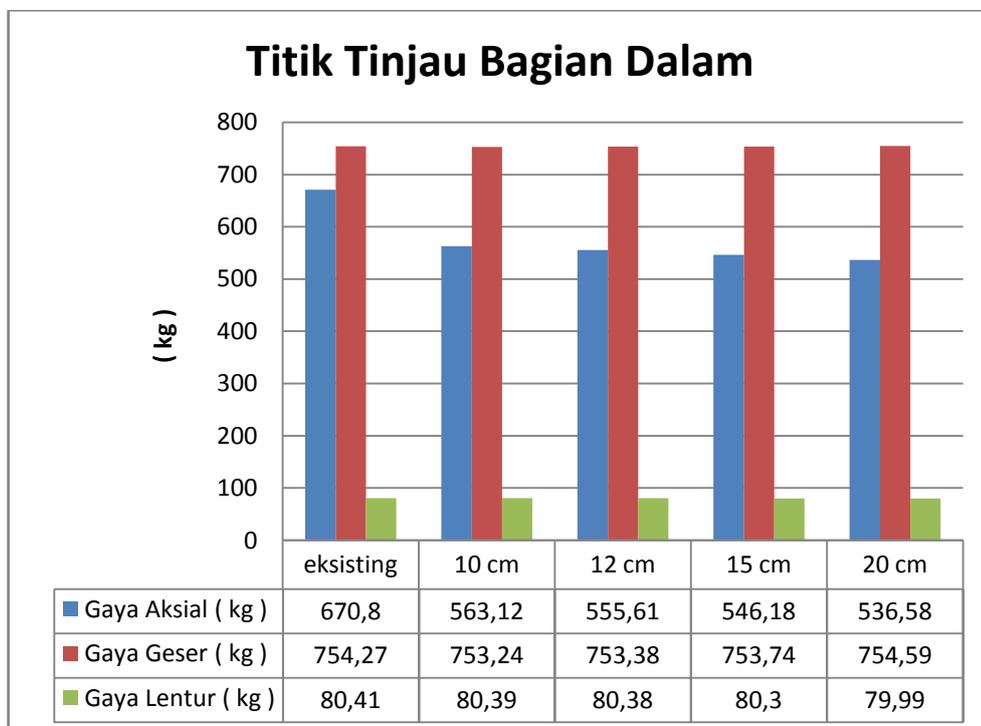
Gambar 5.11 Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 15 cm



Gambar 5.12 Gaya Dalam Kolom Akibat Plat 20 cm



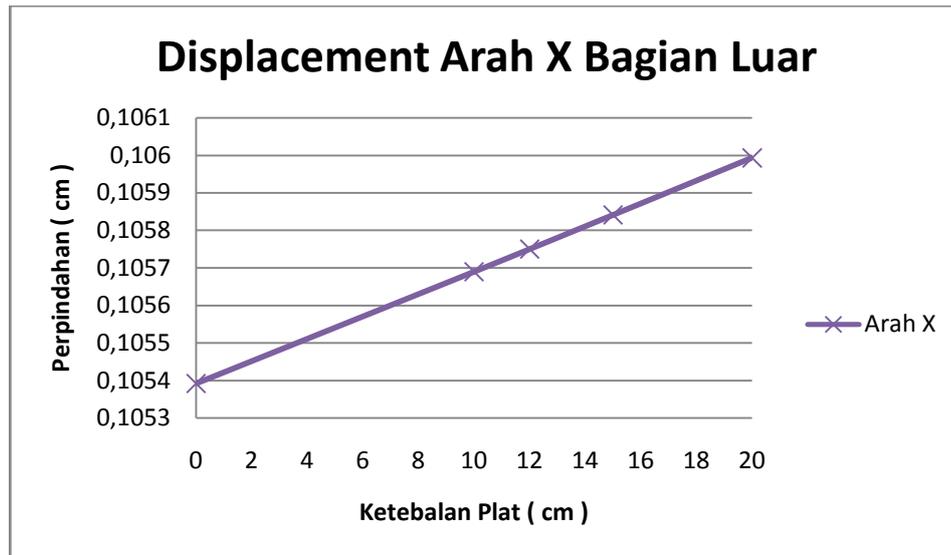
Gambar 5.13 Perbandingan Gaya Dalam Kolom Bagian Luar



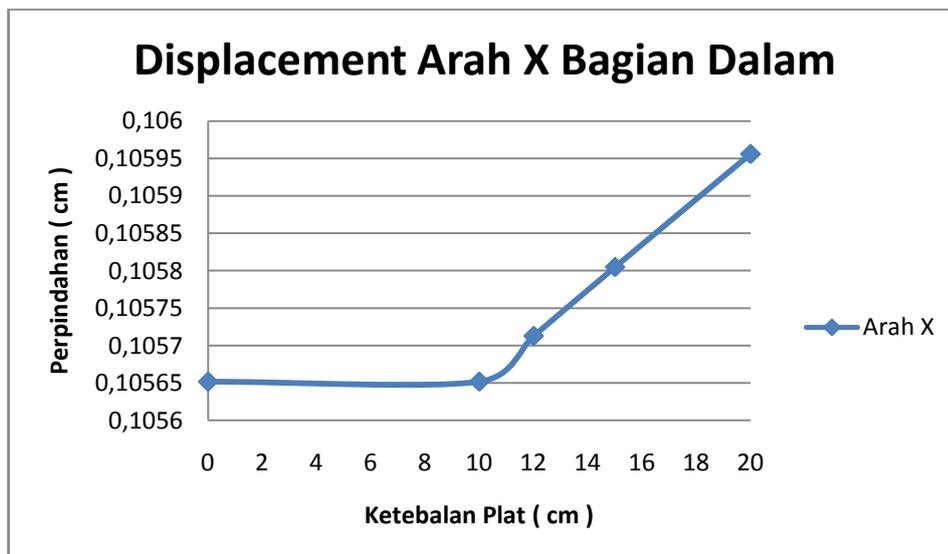
Gambar 5.14 Perbandingan Gaya Dalam Kolom Bagian Dalam

5.3.2.2 Displacement Akibat Variasi Plat Lantai

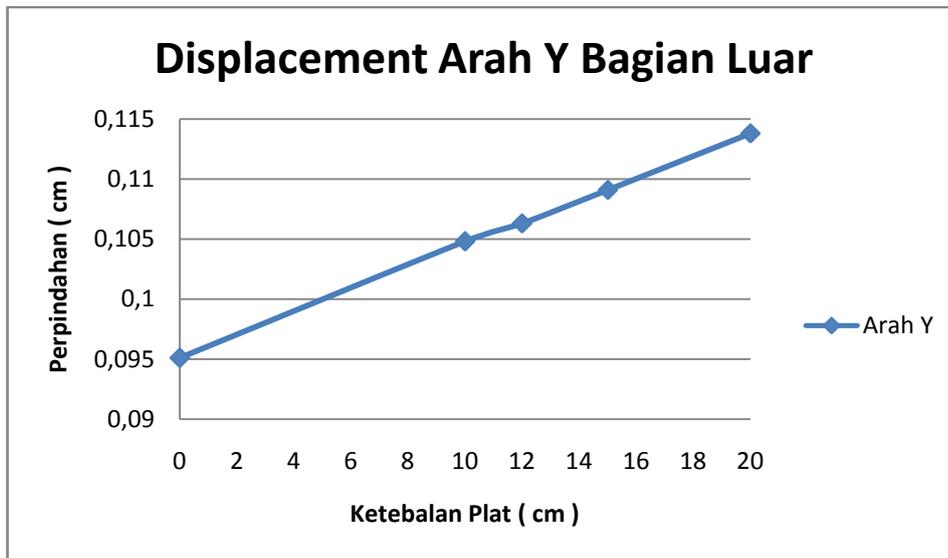
Dari hasil uji variasi plat lantai yang di gunakan pada analisa berikut ini menunjukkan bahwa perpindahan yang di dapat hanya sedikit dari pengaruh plat lantai yang diberikan. Dapat dilihat perpindahan dari arah X dan Y berkisar antara 0,00023 cm hingga 0,0089 cm. Grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



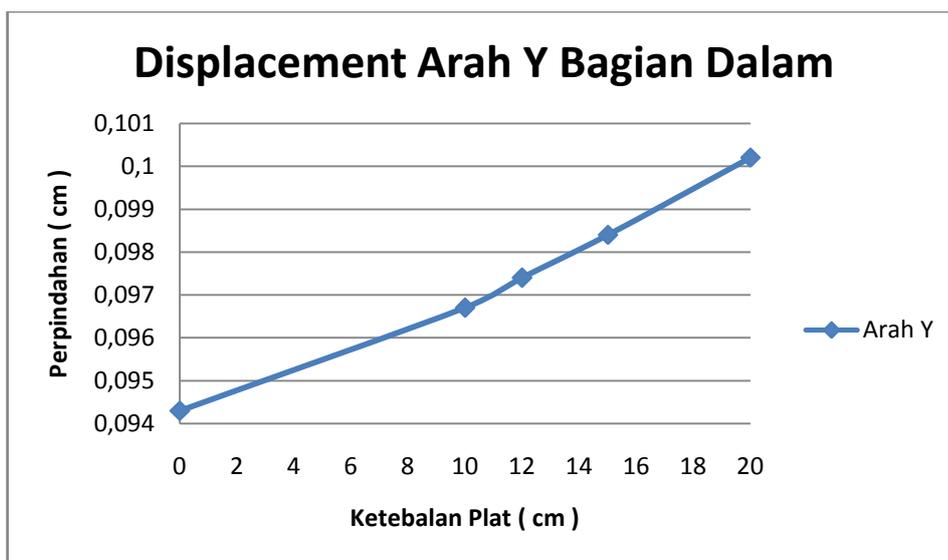
Gambar 5.15 Displacement Arah X Bagian Luar Akibat Variasi Plat Lantai



Gambar 5.16 Displacement Arah X Bagian Dalam Akibat Variasi Plat Lantai



Gambar 5.17 Displacement Arah Y Bagian Luar Akibat Variasi Plat Lantai

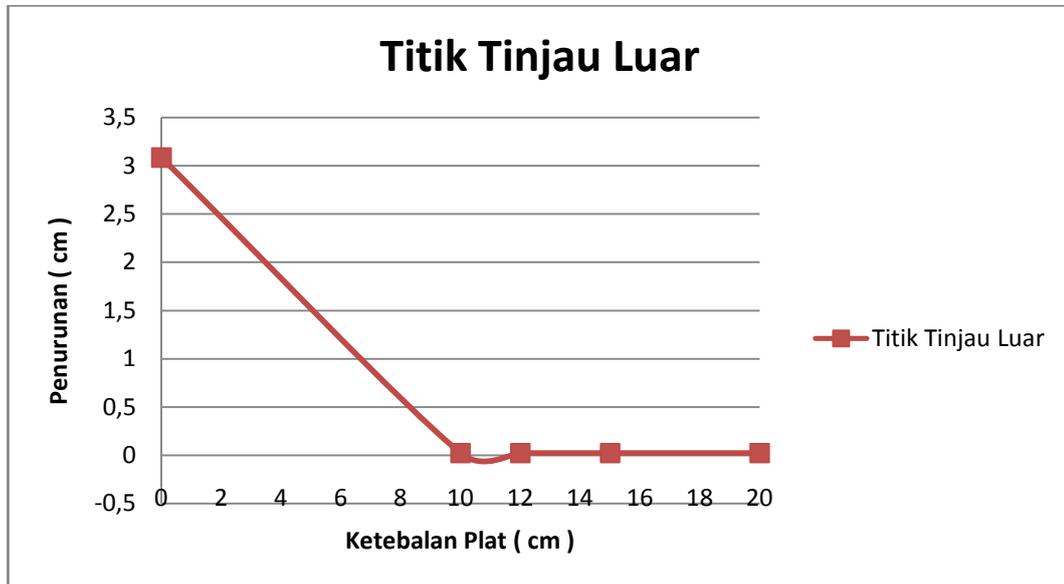


Gambar 5.18 Displacement Arah Y Bagian Dalam Akibat Variasi Plat Lantai

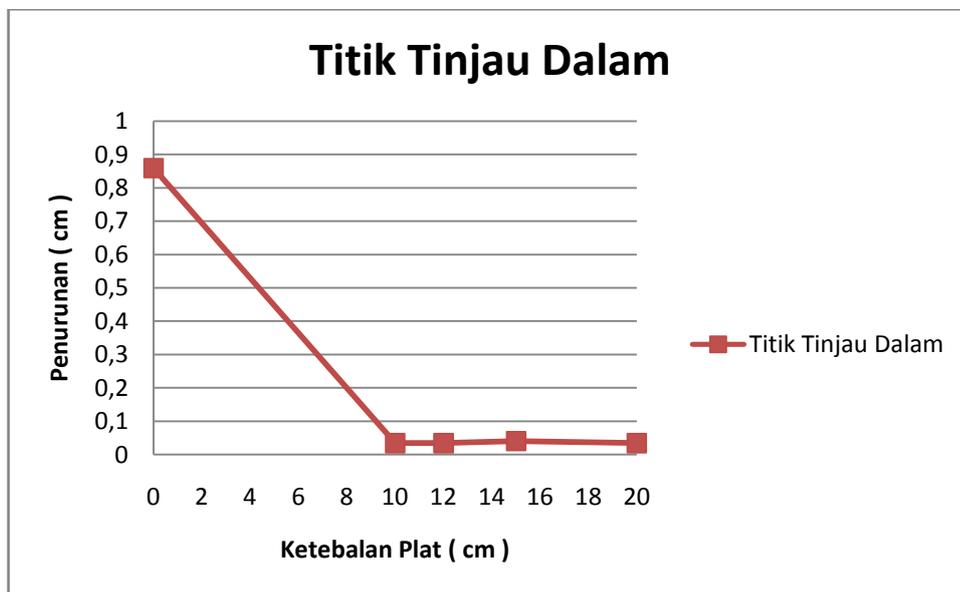
5.3.2.3 Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai

Dari hasil uji variasi plat lantai yang di gunakan pada analisa berikut ini menunjukkan bahwa penurunan yang di dapat sangat berpengaruh pada plat lantai yang diberikan. Dapat dilihat antara bangunan yang tidak menggunakan plat lantai dengan bangunan yang menggunakan plat lantai perbedaannya sangat besar. Dimana pada kondisi eksisting kolom bagian luar turun sekitar 3,08 cm setelah di

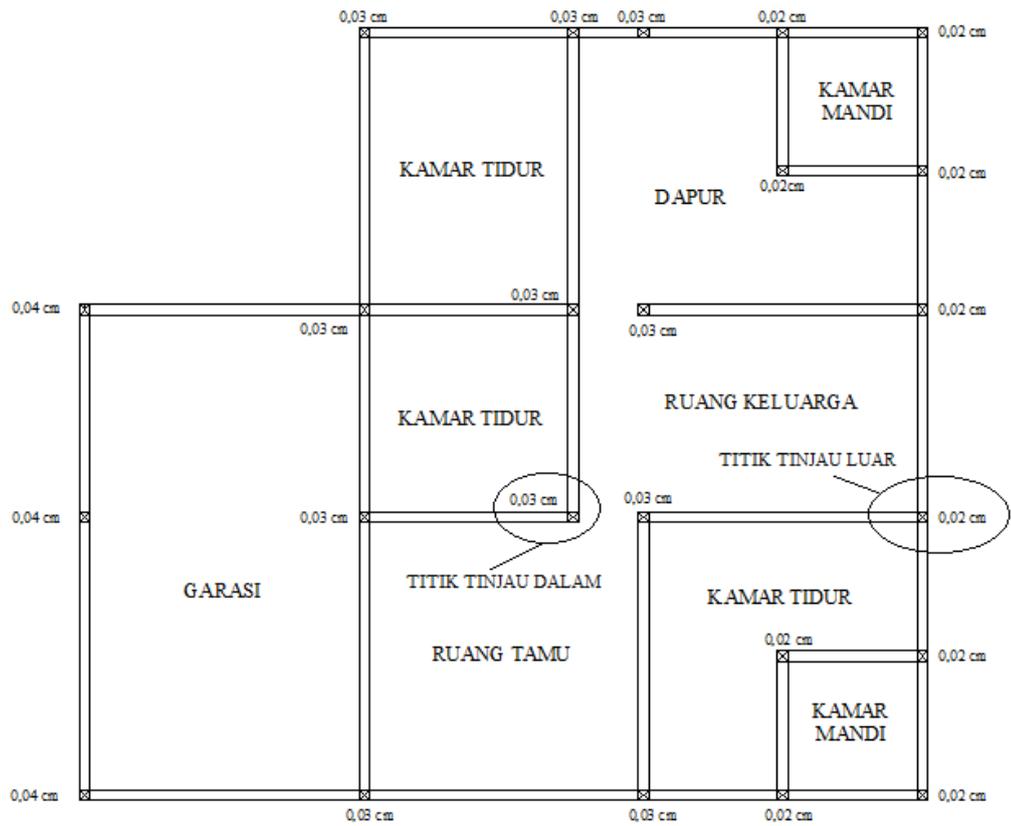
berikan plat lantai dengan ketebalan 10 cm penurunan yang terjadi berkurang menjadi 0,0238 cm. Grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5.19 Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai Pada Titik Tinjau Luar



Gambar 5.20 Penurunan Akibat Variasi Plat Lantai Pada Titik Tinjau Dalam



Gambar 5.21 Penurunan Pada Penambahan Plat 10 cm



Gambar 5.22 Penurunan Setelah Diberikannya Plat 10 cm

Dari hasil perbandingan gaya dalam dan penurunan kondisi eksisting dengan 4 model konfigurasi perkuatan yang direncanakan, maka dipilihlah model konfigurasi permodelan yang pertama. Hal ini disebabkan karena dengan diberikannya pengakuan pada lantai dengan ketebalan plat 10 cm memberi efek yang nyata terhadap penurunan dari bangunan tersebut. Penurunan yang pada awalnya 3,08 cm pada kondisi eksisting dapat berkurang menjadi 0,0238 cm setelah di berikan plat lantai dengan ketebalan 10 cm. Dengan penambahan plat tersebut bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi dapat terhindar dari bahaya gulingnya bangunan.

BAB VI

KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi analitik evaluasi kinerja struktur serta metoda perkuatan dengan menambahkan plat pada lantai dengan 4 permodelan perkuatan pada bangunan rumah sederhana yang berlokasi di sekitar Air Tawar Padang, dapat dirangkum sebagai berikut :

1. Likuifaksi pada daerah di Air Tawar kota Padang menyebabkan penurunan yang tidak seragam.
2. Penurunan yang terjadi akibat likuifaksi pada kondisi eksisting terjadi antara 0,8 cm sampai 3,08 cm. Dimana Penurunan yang paling besar terjadi pada bagian luar bangunan sedangkan penurunan terkecil terjadi di dalam bangunan.
3. Penurunan bangunan sangat berpengaruh pada besarnya beban bangunan, baik itu beban mati maupun beban hidup.
4. Perkuatan struktur yang di pilih pada kasus ini adalah dengan menggunakan plat lantai pada lantai dasar.
5. Gaya dalam pada struktur yang menggunakan plat lantai tambahan diperoleh nilai yang lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan plat lantai.
6. Dari 4 permodelan variasi plat lantai yang di coba, Variasi plat lantai ketebalan 10 cm yang di pilih. Hal ini di karenakan dengan penggunaan plat lantai tersebut dapat mengurangi penurunan yang terjadi dimana penurunan menjadi sekitar 0,02 – 0,04 cm dan juga dapat mencegah bangunan tersebut guling.

6.2 Saran

1. Dikarenakan penelitian ini belum dilakukan secara menyeluruh, diharapkan adanya penelitian tentang bangunan yang berada pada tanah terlikuifaksi.
2. Bagi rekan-rekan yang ingin melanjutkan penelitian penulis, dapat menggunakan tugas akhir ini sebagai salah satu pedoman pelaksanaan analisa struktur lanjutan.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Halim Hasmar, 2013, *Dinamika Tanah & Rekayasa Kegempaan*, Uii Press, Yogyakarta
2. Hendri Gusti Putra ,dkk, 2009, *Jurnal Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian Sondir* (Studi Kasus Gor Haji Agus Salim dan Lapai Kota Padang), Padang
3. Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*, Jakarta
4. Kementerian Pekerjaan Umum, 2010, *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa*, Jakarta
5. Fauzan ,dkk, 2010, *Jurnal Analisa Kerusakan Struktur Bangunan Gedung "A" SMAN 10 Padang Akibat Gempa 30 September 2009*, Padang
6. Encu Sutarman, 2009, *Analisa Struktur*, Andi, Yogyakarta
7. Yoshimi Y., Tokimatsu K., 1977, Settlement of buildings on saturated sand during earthquakes. *Soils and Foundations*. JSSMFE, Vol. 17 (1), pp. 23-38. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah
8. Abdul Hakam, Helmy Darjanto, 2013, *Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar*, Institut Teknologi Bandung.
9. Hayati H., Andruss R D., 2008. *Liquefaction Potential Map of Charleston, South Carolina Based on the 1886 Earthquake*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 134, No. 6,815–828. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.
10. Ishihara K., Koga Y., 1981, Case studies of liquefaction in the 1964 Niigata earthquakes. *Soils and Foundations*. JSSMFE, Vol. 21 (3), pp. 35-52. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.
11. Koseki J., Yoshimine M., Hara T., Kiyota T., Wicaksono R.I., Goto S., Agustian Y., 2007, Damage survey report on May 27, 2006 Mid Java earthquake, Indonesia. *Soil and Foundations*, Vo. 47 (5), pp. 973-989. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.

12. Muntohar A.S., 2010, Liquefaction Potential due to Earthquakes in Yogyakarta. Proceeding 17th South East Asian Geotechnical Conference, May 10 – 13, 2010, Taipei, Taiwan. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likui-faksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.
13. Muntohar A.S., 2010b, Estimating ground settlement post-liquefaction using CPT. Proceeding 1st International Conference on Sustainable Built Environment, May 27 – 28, 2010, Yogyakarta, Indonesia. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likui-faksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.
14. Seed, H. B. and Idriss, I. M. (1971). “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential.” *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE*, 97(9), 1249–1273. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likui-faksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.
15. Shibata T., Terapaksa W., 1988, Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests. *Soils and Foundations. JSSMFE*, Vol. 28 (2), pp. 46-60. Dalam Agus Setyo Muntohar (ED). *Mikro-Zonasi Potensi Likui-faksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah.