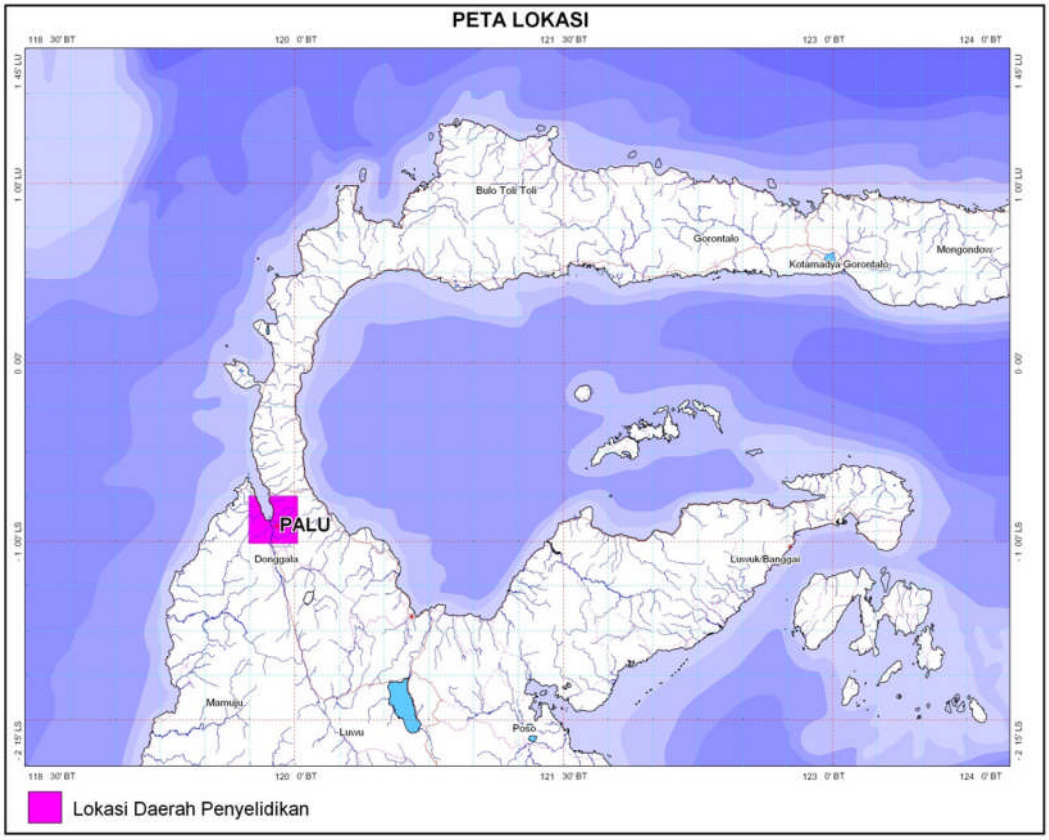
PENYELIDIKAN GEOLOGI TEKNIK POTENSI LIQUIFAKSI DAERAH PALU, PROVINSI SULAWESI TENGAH

Oleh:
Risna Widyaningrum

No : 297 / LAP-BGE.P2K / 2012

Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi

Kode Program	**:**	**05.04.03**
Tahun Anggaran	**:**	**2012**
Kuasa Pengguna Anggaran	**:**	**R. Sukhyar**
Penanggung Jawab Kinerja	**:**	**Dodid Murdohardono**
Pejabat Pembuat Komitmen	**:**	**Edi Murtianto**



K E M E N T E R I A N E N E R G I D A N S U M B E R D A Y A M I N E R A L
B A D A N G E O L O G I
PUSAT SUMBER DAYA AIR TANAH DAN GEOLOGI LINGKUNGAN
JALAN DIPONEGORO NO. 57, BANDUNG 40122
TELEPON : 022-7274676, 7274677, 7274670, FAKSIMILE :022- 7206167
Home Page : http://www.dgtl.dpe.go.id atau www. plg.esdm.go.id E-mail : pag@bgl.esdm.go.id

KATA PENGANTAR

Laporan Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Liquifaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah ini merupakan realisasi salah satu program kegiatan yang dilaksanakan Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Kegiatan Program Penelitian, Mitigasi dan Pelayanan Geologi Tahun Anggaran 2012.

Kegiatan penyelidikan geologi teknik potensi liquifaksi ini bertujuan untuk menyajikan informasi geologi teknik serta membuat zona potensi liquifaksi dan memperkirakan akibat liquifaksi terhadap infrastruktur. Data dan informasi geologi teknik yang termuat dalam laporan penyelidikan ini diharapkan dapat memberikan masukan dalam perencanaan, pengembangan, dan pelaksanaan pembangunan infrastruktur di daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah banyak membantu, baik dalam tahap penyelidikan di lapangan maupun dalam penyusunan laporan ini.

Bandung, Desember 2012
Pejabat Pembuat Komitmen
Pusat Sumber Daya Air Tanah
dan Geologi Lingkungan

Ir. Edi Murtianto, M.T.
NIP 19541002 199003 1 001

DAFTAR ISI

	Halaman
Lembar Pengesahan	i
Personalia Tim	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Lampiran	vii
BAB 1. PENDAHULUAN	**1 – 1**
1.1. Latar Belakang	1 – 1
1.2. Maksud dan Tujuan Penyelidikan	1 – 1
1.3. Lokasi Penyelidikan	1 – 2
1.4. Lingkup Penyelidikan	1 – 2
1.5. Peralatan Survei	1 – 5
BAB 2. KONDISI UMUM	**2 – 1**
2.1. Morfologi	2 – 1
2.2. Geologi	2 – 3
2.3. Stratigrafi	2 – 5
2.4. Struktur Geologi	2 – 6
2.5. Kegempaan	2 – 7
BAB 3. GEOLOGI TEKNIK	**3 – 1**
3.1 Satuan Aluvium dan endapan pantai (Qap	3 – 1
3.2 Satuan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms)	3 – 2
BAB 4. POTENSI LIQUIFAKSI	**4 – 1**
4.1. Metode Kualitatif	4 – 1
4.2. Metode Kuantitatif	4 – 4
4.3. Potensi Liquifaksi terhadap tata guna lahan	4 – 13
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	**5 – 1**
5.1. Kesimpulan	5 – 1
5.2. Saran	5 – 2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1-1. Lokasi Penyelidikan GT Potensi Liquifaksi ..... 1 – 2
Gambar 2-1. Peta Morfologi ..... 2 – 2
Gambar 2-2. Peta Geologi ..... 2 – 4
Gambar 2-3. Tatanan Stratigrafi Sulawesi ..... 2 – 6
Gambar 2-4. Struktur geologi Palu ..... 2 – 7
Gambar 2-5. Peta Seismisitas Indonesia 1990 - 2006 ..... 2 – 8
Gambar 2-6. Peta Zonasi Gempa Indonesia ..... 2 – 9
Gambar 3-1. Peta Geologi Teknik..... 3 – 3
Gambar 4-1. Bagan alir evaluasi potensi liquifaksi ..... 4 – 2
Gambar 4-2. Peta Muka Air Tanah ..... 4 – 3
Gambar 4-3. Faktor reduksi stress..... 4 – 5
Gambar 4-4. Tipe penurunan akibat liquifaksi (Zhang drr 1998) ..... 4 – 9
Gambar 4-5. Tipe perpindahan lateral akibat liquifaksi (Seed, 2001) .... 4 – 10
Gambar 4-6. Hubungan regangan volumetrik ..... 4 – 11
Gambar 4-7. Hubungan cyclic shear strain terhadap faktor keamanan . 4 – 12
Gambar 4-8. Peta zona bahaya liquifaksi..... 4 – 15

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1-1. Jadwal Pelaksanaan Kegiatan Penyelidikan ..... 1 – 5
Tabel 2-1. Klasifikasi Zona Gempa Indonesia ..... 2 – 10
Tabel 4-1. Potensi liquifaksi daerah penyelidikan ..... 4 – 1
Tabel 4-2. Nilai LPI daerah penyelidikan (klasifikasi Iwasaki, 1986)..... 4 – 7
Tabel 4-3. Nilai LPI dan Probabilitas 50 tahun ..... 4 – 8
Tabel 4-4. Nilai penurunan dan perpindahan lateral..... 4 – 13

DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Analisis Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan
2. Penampang Bor Tangan
3. Perhitungan Daya Dukung Tanah
4. Grafik Sondir
5. Analisis Liquifaksi Percepatan Gempa 1 g
6. Analisis Liquifaksi Percepatan Gempa 1,2 g
7. Foto Kegiatan
8. Peta Potensi Liquifaksi Daerah Palu dan Sekitarnya, Provinsi Sulawesi Tengah

LAMPIRAN DALAM KANTONG

Peta Potensi Liquifaksi Daerah Palu dan Sekitarnya, Provinsi Sulawesi Tengah

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Palu merupakan salah satu daerah yang sering terjadi Gempa dan mempunyai seismisitas tinggi. Geologi regional daerah Palu dan sekitarnya didominasi oleh endapan kuarter yang terdiri atas endapan fluviatil dan alluvium. Kondisi alam tersebut memiliki beberapa potensi yang merugikan di antaranya adalah potensi liquifaksi.

Liquifaksi merupakan gejala peluluhan pasir lepas yang bercampur dengan air akibat goncangan gempa dimana gaya pemicu melebihi gaya yang dimiliki litologi setempat dalam menahan guncangan. Hal ini bisa menyebabkan beberapa kejadian seperti penurunan cepat (*quick settlement*), pondasi bangunan menjadi miring (*tilting*) atau penurunan sebagian (*differential settlement*), dan mengeringnya air sumur yang tergantikan oleh material non kohesif.

Liquifaksi merupakan bencana yang bisa merusak kondisi infrastruktur sehingga pengetahuan terhadap potensi dan kerawanan liquifaksi sangat penting terutama dalam merencanakan tata ruang khususnya di daerah Palu dan sekitarnya.

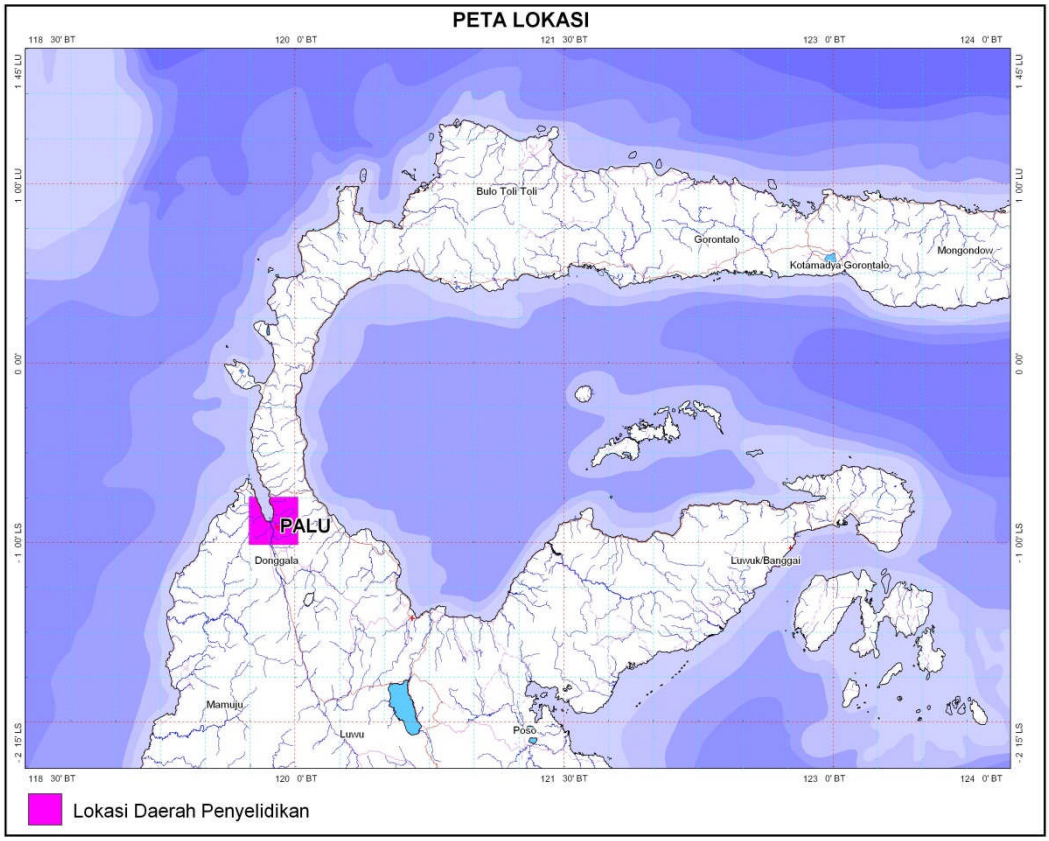
Dalam upaya mengumpulkan data geologi teknik tersebut, Tahun Anggaran 2012 Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah melaksanakan Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Liquifaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah.

1.2. Maksud dan Tujuan Penyelidikan

Penyelidikan ini bermaksud untuk mengetahui potensi liquifaksi di daerah Palu dan sekitarnya. Adapun tujuan dari penyelidikan antara lain adalah untuk membuat mikrozonasi potensi liquifaksi dan memperkirakan akibat liquifaksi terhadap infrastruktur.

1.3. Lokasi Penyelidikan

Wilayah penyelidikan secara administrasi berada di Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah dan secara geografis terletak pada koordinat 119º 51’ 00” - 119º 56’ 00” BT dan 00º 52’ 00” - 00º 59’ 00” LU (Gambar 1-1).



Gambar 1-1. Lokasi Penyelidikan GT Potensi Liquifaksi Daerah Palu

1.4. Lingkup Penyelidikan

Adapun lingkup pekerjaan penyelidikan yang dilaksanakan meliputi sejumlah tahapan pekerjaan, sebagai berikut :

1.4.1. Tahap Persiapan

- Menyiapkan administrasi, personalia tim, transportasi dan mobilisasi peralatan lapangan.
- Mengumpulkan data antara lain: peta topografi, peta hidrogeologi, peta geologi.
- Melakukan studi literatur dari laporan-laporan terdahulu.

1.4.2. Pekerjaan Lapangan

Pekerjaan lapangan meliputi :

a) Penyelidikan sebaran tanah / batuan serta pengamatan sifat fisik nya.
b) Pengamatan gemorfologi untuk mengetahui karakteristik bentang alamnya, tata guna lahan, pola aliran, serta kemiringan lereng.
c) Pekerjaan sondir

   Pekerjaan sondir menggunakan dengan alat sondir berkapasitas maksimum 2,5 ton dengan tipe konus menggunakan tipe bikonus.
d) Pemboran tangan

   Pemboran tangan dilakukan dengan mempergunakan jenis bor tangan tipe iwan dan spiral, untuk mengetahui jenis lapisan tanah dan ketebalannya.
e) Pengambilan contoh tanah dan batuan

   Pengambilan contoh tanah/batuan yang dilakukan ada dua macam yaitu:
   - Contoh tanah tidak terganggu (*undistrub sample*), dimaksudkan untuk mendapatkan contoh tanah yang dapat mewakili kondisi asli. Pengambilan contoh tanah ini dengan mempergunakan tabung contoh dari baja (*thin wall tube*), yang dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan penyondiran.
   - Contoh tanah terganggu (*disturb sample*), dilakukan dengan menggunakan plastik, sesuai dengan keperluan penyelidikan.
f) Pengamatan kondisi air tanah

   Pengamatan kondisi airtanah di daerah penyelidikan meliputi pengamatan terhadap airtanah bebas dan terutama ditujukan untuk mengetahui kedalaman muka air tanah yang merupakan satu aspek yang berpengaruh terhadap potensi terjadinya liquifaksi.

1.4.3. Pekerjaan Laboratorium

Pekerjaan laboratorium meliputi pengujian terhadap sifat fisik (*physical properties)*, sifat indeks (*index properties*) dan sifat keteknikan (*technical/mechanical properties).*

- **Pengujian *basic properties* terdiri dari :**

  a. Kadar air (Wn) (ASTM.D. 2217-71)

  b. Berat jenis (Gs) (ASTM.D.854-72)

c. Berat isi/density (γ) (ASTM.D.4718)

d. Densitas relative (ASTM.D. 7370-09)

- **Pengujian *index properties* terdiri :**

a. Atterberg limit (LL,PL,PI) (ASTM.D.4318)

b. Analisa butir (ASTM.D.422-72)

- **Pengujian *engineering properties* terdiri dari:**

a. Triaxial (ASTM.D.2850)

1.4.4. Pekerjaan Kantor

Analisis data dimaksudkan untuk mempelajari dan mencari hubungan serta pengaruh dari faktor-faktor morfologi, litologi, struktur geologi, tata guna lahan dan aktifitas manusia terkait dengan permasalahan liquifaksi dan kegempaan.

Hasil analisis ini akan didiskusikan untuk mendapatkan masukan dari para ahli dan akhirnya akan disajikan dalam bentuk laporan akhir yang disertai dengan simpulan dan saran hasil penyelidikan yang dilengkapi denganPeta Potensi Liquifaksi Daerah Palu dan Sekitarnya, Provinsi Sulawesi Tengah

1.4.5. Jadwal Penyelidikan

Pekerjaan Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Liquifaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah dimulai pada pertengahan bulan September 2012, dengan tahapan waktu sebagai berikut: tahap persiapan dibutuhkan 5 hari kerja, tahap pekerjaan lapangan 25 hari kerja, tahap pekerjaan laboratorium 30 hari, tahap analisa data primer dan sekunder 30 hari kerja dan tahap penyusunan laporan/peta 30 hari kerja. Sehingga total waktu yang harus dipenuhi dalam penyelesaian seluruh pekerjaan Penyelidikan geologi teknik ini adalah 4 (empat) bulan kalender (Tabel 1).

Tabel. 1 : Jadwal Pelaksanaan Kegiatan Penyelidikan.

No.	Tahapan Kegiatan	Bulan / Tahun 2012															
		September				Oktober				November				Desember			
1.	Persiapan																
2.	Pekerjaan Lapangan																
3.	Pekerjaan Laboratorium																
4.	Analisa data primer dan sekunder																
4.	Penyusunan Laporan																

1.5. Peralatan Survei

Peralatan survey yang digunakan dalam penyelidikan geologi teknik ini antara lain :

- 1 (satu) buah kompas dan palu geologi
- 1 (satu) unit alat sondir dengan kapasitas 300 kg.
- 1 (satu) unit bor tangan
- 1 (satu) buah kamera
- 1 (satu) unit GPS
- alat-alat tulis dan perlengkapan lainnya.

BAB 2
KONDISI UMUM

Kota palu secara geografis berada di sepanjang pantai Teluk Palu. Secara administratif wilayah Kota Palu dikelilingi oleh wilayah Kabupaten Donggala dan Teluk Palu, yang terlihat dari batas-batas wilayah sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Teluk Palu dan Kabupaten Donggala
- Sebelah Timur : Teluk Palu
- Sebeleh Selatan : kabupaten Donggala
- Sebelah Barat : Kabupaten Donggala

2.1. Morfologi

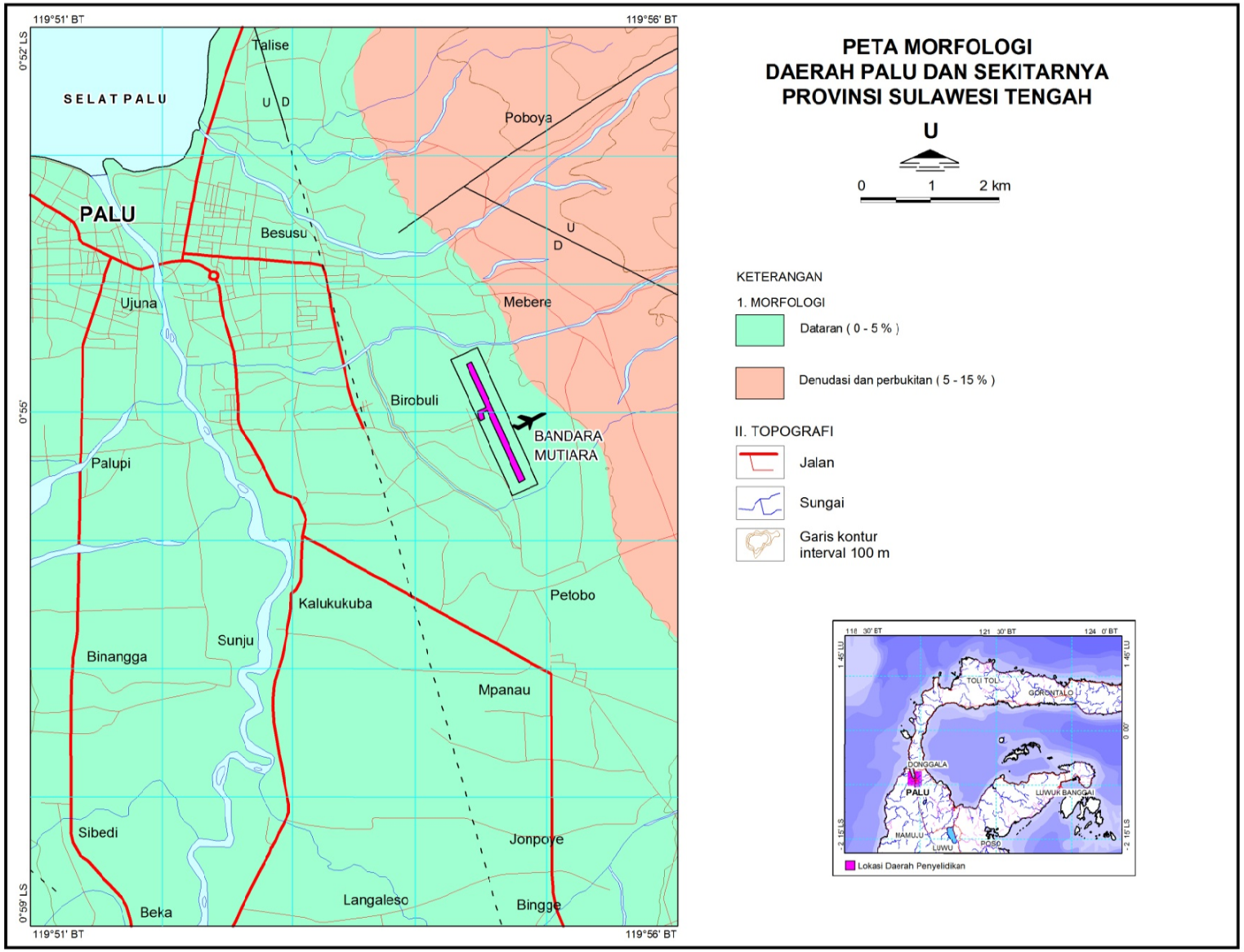
Morfologi Kota Palu dapat dibagi menjadi 2 (dua) satuan, seperti terlihat pada gambar 2-1, yaitu :

a) Morfologi Dataran

Kenampakan morfologi berupa topografi tidak teratur, lemah, merupakan wilayah dengan banjir musiman, dasar sungai umumnya meninggi akibat sedimentasi fluvial. Morfologi ini disusun oleh material utama berupa aluvial sungai dan pantai dengan bentukan morfologi berupa dataran dan kemiringan lereng 0-5 %. Wilayah tengah Kota Palu didominasi oleh satuan geomorfologi ini.

b) Morfologi Denudasi dan Perbukitan

Kenampakan berupa morfologi bergelombang lemah sampai bergelombang kuat. Wilayah kipas aluvial (*aluvial fan*) termasuk dalam satuan morfologi ini. Bantuk morfologinya berupa perbukitan berelief halus dengan kemiringan lereng 5-15 %. Di wilayah Palu morfologi ini meluas di wilayah Palu Timur, Palu Utara, membatasi antara wilayah morfologi dataran dengan morfologi pegunungan.



Gambar 2-1. Peta Morfologi

2.2. Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi Skala 1:250.000 (Rab Sukamto, dkk, 1973) daerah penyelidikan terdiri dari 2 (dua) Formasi batuan, yaitu Aluvium dan endapan pantai (Qap) dan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms) seperti terlihat pada gambar 2-2.

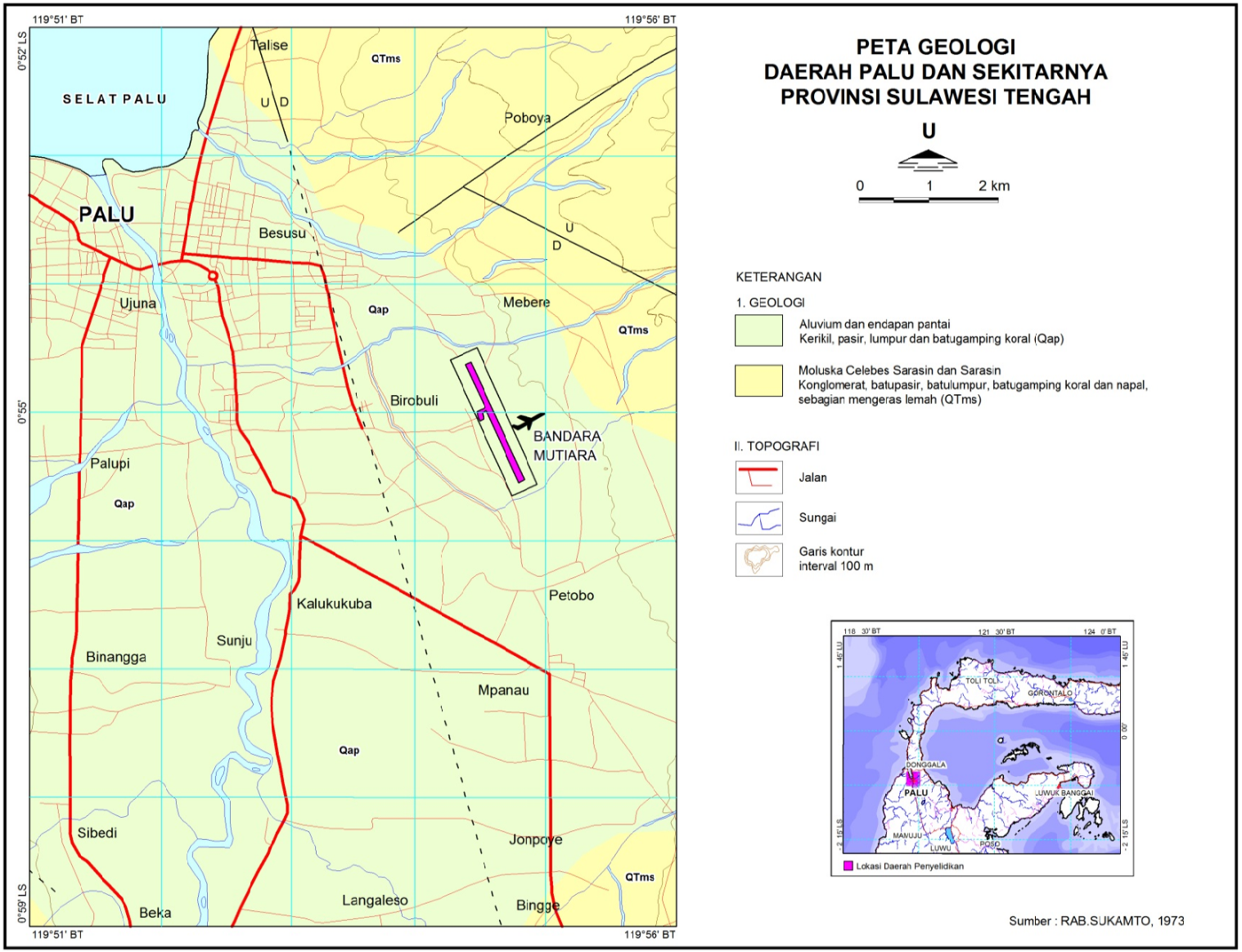
a. Aluvium dan endapan pantai (Qap)

Terdiri dari kerikil, pasir, lumpur, dan batugamping koral. Terbentuk dalam lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal merupakan sedimen termuda di daerah ini. Endapan itu boleh jadi seluruhnya berumur Holosen. Di daerah dekat Labea dan Tombo terumbu koral membentuk bukit-bukit rendah.

Kondisi batuan pada Formasi ini umumnya berupa material yang belum mengalami kompaksi

b. Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms)

Batuan ini terdapat pada ketinggian lebih rendah pada sisi-sisi kedua pematang, menindidh secara tidak selaras Formasi Tinombo dan Kompleks batuan metamorf, mengandung rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua dan terdiri dari konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping koral, dan napal yang semuanya hanya mengeras lemah. Di dekat Kompleks batuan metamorf pada bagian barat pematang timur endapan itu terutama terdiri dari bongkah-bongkah kasar dan agaknya diendapkan di dekat sesar. Batuan-batuan itu ke arah laut beralih-alih jadi Sebatuan klastika berbutir lebih halus. Di dekat Donggala sebelah utara Enu dan sebelah barat Labea batuannya terutama terdiri dari batugamping dan napal mengandung *Operculina sp, Cycloclypeus sp, Rotalia sp, Orbulina universa, Amphistegina sp, Miliolidae, Globigerina,* Foraminifera pasiran, ganggang gampingan, *pelesipoda,* dan *gastropoda*. Sebuah contoh yang diambil dari tenggara Laebago selain fosil-fosil tersebut mengandung *Miogypsina sp* dan *Lepidocyclina sp* yang menunjukkan umur Pliosen – Plistosen (Rab Sukamto dkk, 1973)

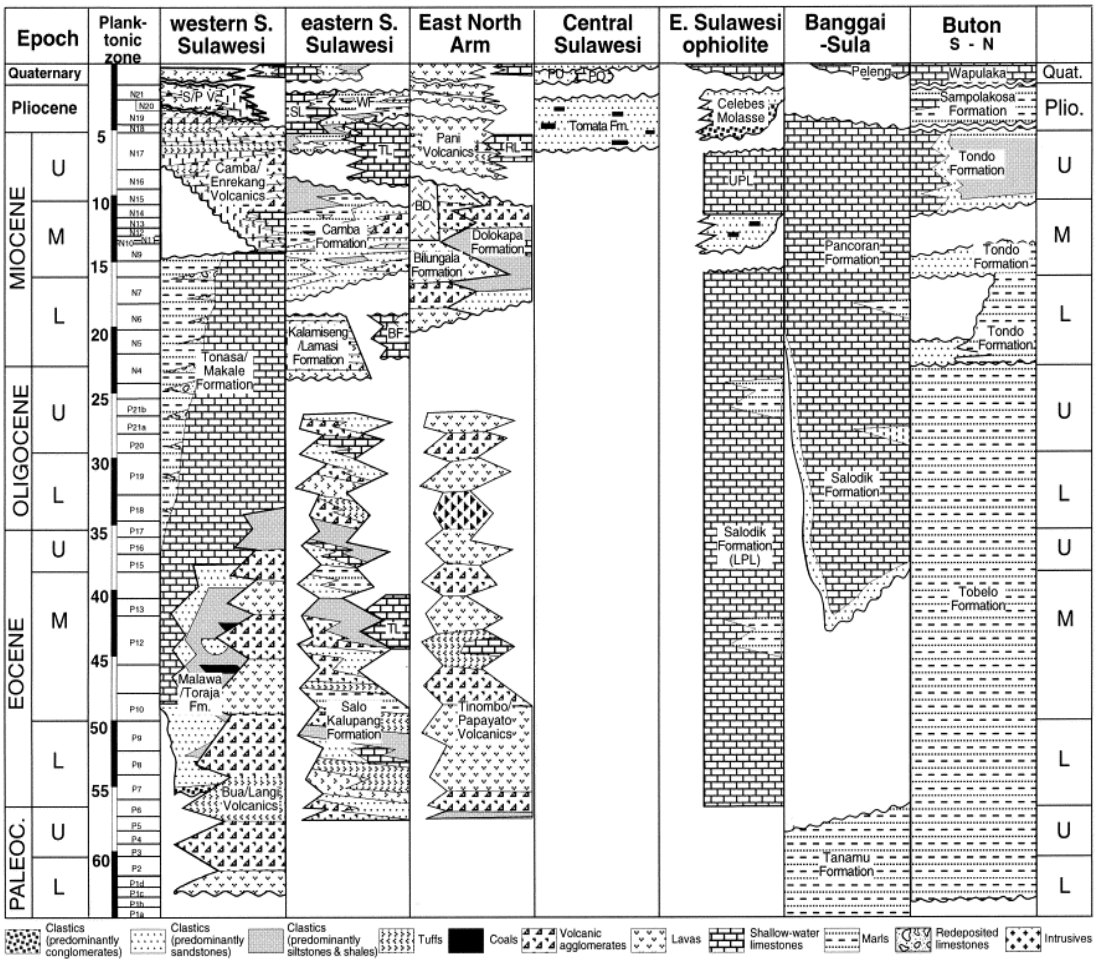


Gambar 2-2. Peta Geologi

2.3. Stratigrafi

Secara keseluruhan tatanan stratigrafi kota Palu disusun oleh tiga kelompok batuan yaitu : kelompok batuan Pra-Tersier, kelompok batuan Tersier dan Kelompok Batuan Kuarter (Hall, 2010), Kelompok batuan Pra-Tersier dapat dijumpai berupa batuan sedimen laut dan berupa batuan metamorfik yang keduanya diterobos oleh batuan granit dan granodiorit yang berumur Tersier, serta tertindih tidak selaras oleh Kelompok batuan Kuarter yaitu yang terdiri dari beberapa endapan, yaitu : endapan rombakan, endapan sungai, endapan limpah banjir endapan alur sungai purba serta endapan kipas aluvium. Endapan pantai yang dapat berupa pasir pantai dan fragmen batuan banyak dijumpai di sekeliling teluk Palu (gambar 2-3).

Secara geografis dataran Kota Palu terbentuk karena adanya proses pengangkatan (*graben*). Proses graben yang membuat beberapa permukaan tanah terangkat cukup tinggi (membentuk bukit sampai pegunungan) seperti yang terlihat di sepanjang pantai Teluk Palu bagian barat. Wilayah Kota Palu dicirikan oleh bentuk utama berupa lembah (*graben*) dimana pusat Kota terletak di bagian tengah dari lembah tersebut. Orientasi lembah ini mengikuti arah utama jalur pegunungan di kedua sisinya, yaitu berarah relatif utara-selatan (dalam Laporan Bappenas, 2010).



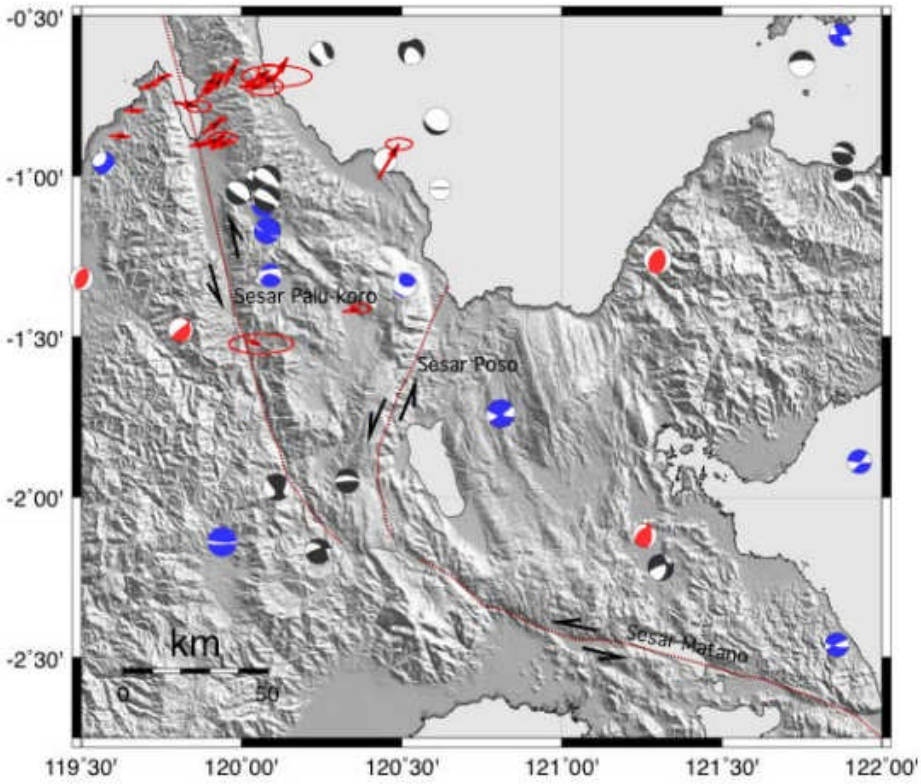
Gambar 2-3. Tatanan Stratigrafi Sulawesi (dimodifikasi oleh Hall, 2000)

2.4. Struktur Geologi

Berdasarkan hasil studi dari tim revisi peta gempa Indonesia (dalam Irsyam, M, dkk, 2010) struktur geologi aktif yang melewati Kota Palu adalah berupa PKF (Palu Koro Fault) dan MF (Matano Fault) keduanya merupakan sesar aktif yang banyak dijumpai disekitar lembah Palu. Sesar Palu-Koro (PKF) berarah Utara – Selatan sedang beberapa diantaranya ada yang berarah Baratdaya – Timurlaut. Sesar – sesar aktif tersebut yang berarah Utara – Selatan adalah merupakan sesar-sesar aktif akibat peremajaan dari struktur tua yang dapat teraktifkan kembali, sedangkan sesar-sesar yang berarah Baratdaya – Timurlaut adalah merupakan struktur yang sangat aktif pada masa kini. (Gambar 2-4).

Secara geologi, fisiografi Kota Palu berhubungan dengan proses struktur yang terjadi serta jenis batuan yang menyusun Kota Palu, dimana sisi kiri dan

kanan Kota Palu merupakan jalur patahan utama, yaitu patahan Palu-Koro serta wilayahnya disusun oleh batuan yang lebih keras dibanding material penyusun bagian lembah.



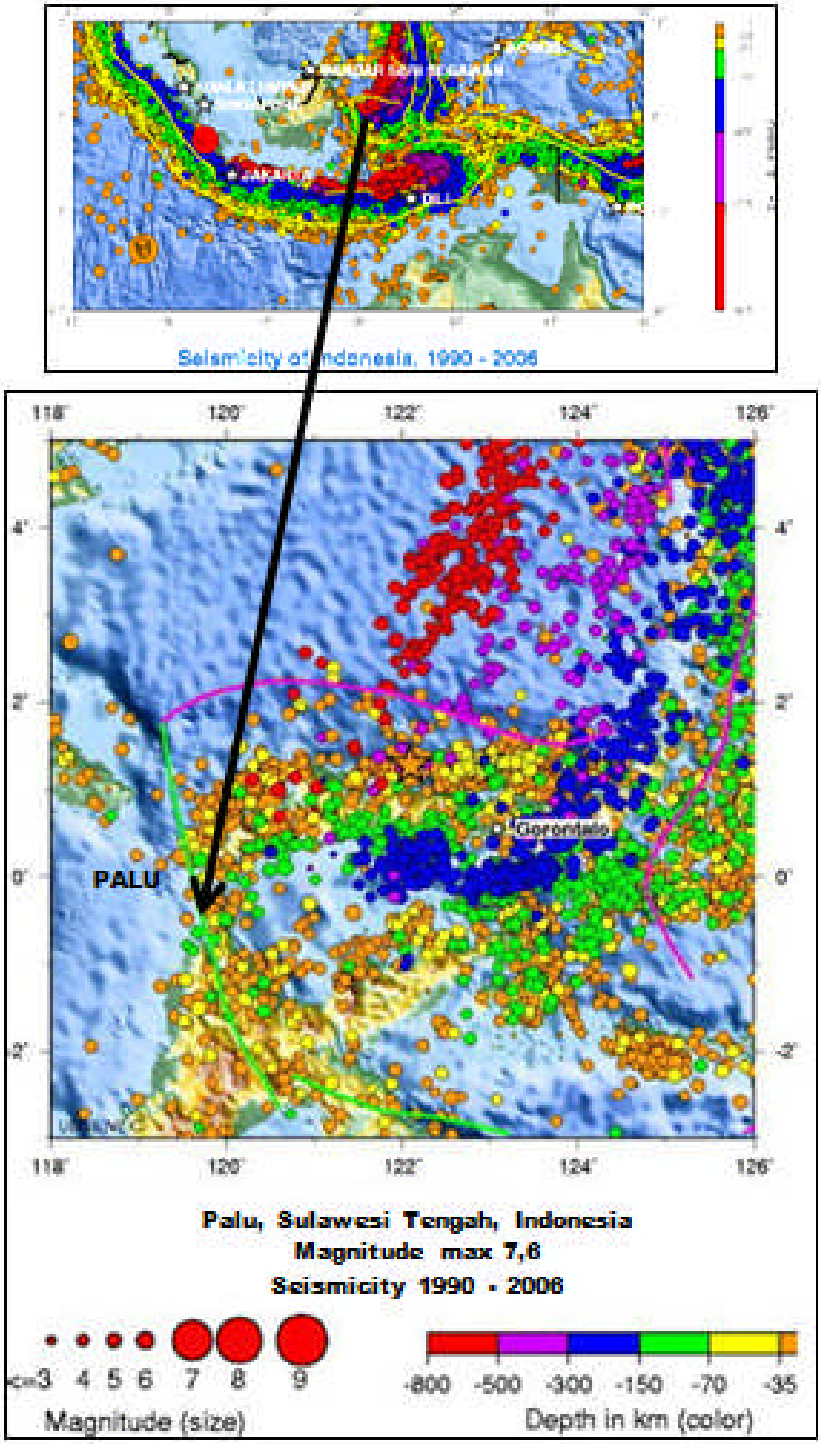
Gambar 2-4. Struktur geologi Palu (Irsyam M, dkk, 2010)

2.5. Kegempaan

Dari aspek kegempaan, sistem patahan di bagian tengah Sulawesi dimana Kota Palu terdapat terdiri dari kompleks zona patahan yang berletak dalam pertemuan lempeng Pasifik, Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Dari perhitungan terhadap pergerakan patahan Palu-Koro ini diperoleh data kisaran pergerakan lempeng, yaitu 35 ± 8 mm per tahun.

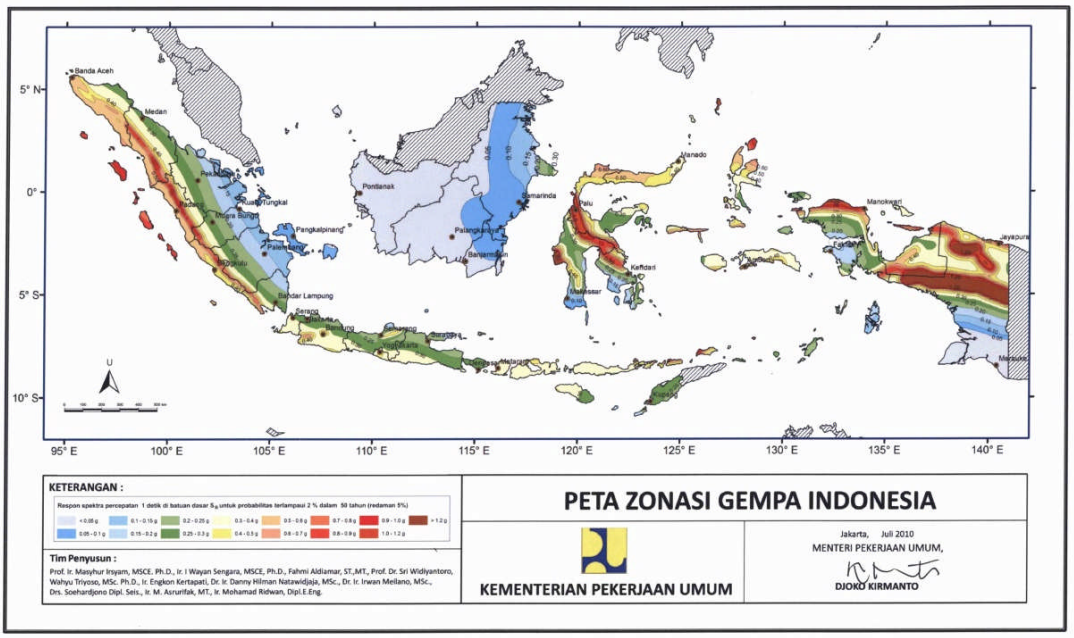
Sejarah gempa bumi di bagian tengah Sulawesi telah tercatat sejak abad ke-19, dimana beberapa diantaranya mempunyai magnitude yang besar, diantaranya tahun 1968 (6,7 SR), 1993 (5,8 SR) dan 2005 (6,2 SR). Kegempaan di Sulawesi ini juga ditandai dengan frekuensi tsunami yang tinggi di bagian Selat Makassar, sebagaimana yang terjadi pada tahun 1927 di Teluk Palu dengan ketinggian gelombang mencapai 15 m, tahun 1968 di Mapaga (10 m) dan tahun 1996 di Simuntu - Pangalaseang (1 - 3,4 m).

Secara regional, Palu merupakan daerah gempa aktif dimana menurut Peta Seismisitas USGS (Gambar 2-5) memiliki kedalamaan episentrum kurang dari 150 km.



Gambar 2-5. Peta Seismisitas Indonesia 1990 – 2006 (Sumber : USGS)

Berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum (2010), Kota Palu memiliki percepatan gempa permukaan sebesar 1 - 1,2 g di sepanjang dataran Teluk Palu (Gambar 2-6).



Gambar 2-6. Peta Zonasi Gempa Indonesia

Menurut klasifikasi zona gempa Indonesia (Firmansyah, J & Irsyam, M, 1999) gempa yang terjadi di wilayah Palu termasuk dalam tipe zona perubahan (*transform zone*) yaitu gempa yang diakibatkan karena dua lempeng tektonik bergerak saling menggelangsar (*slide each other*), sejajar namun berlawanan arah. Keduanya tidak saling memberai maupun saling menumpu. Gempa yang terjadi pada zona ini umumnya merupakan gempa pada kerak dangkal *(shallow crustal earthquakes)* yang diakibatkan oleh Sesar Palu-Koro dan Sesar Matano. Pada tabel 2-1. Dapat kita lihat klasifikasi zona gempa Indonesia berdasarkan sumber gempa dan magnitude maksimalnya (Firmansyah, J., Irsyam, M, 1999) dalam Sriyati (2010).

Berdasarkan kajian tersebut tingkat resiko gempa bumi yang tinggi di kota Palu ini selain karena berdekatan dengan sesar aktif Palu-Koro, juga karena sebagian kotanya terletak di atas sesar Palu-Koro. Diperkirakan intensitas gempa bumi yang merusak adalah dengan magnitude lebih besar dari 6,0 SR.

Tabel 2-1. Klasifikasi zona gempa di Indonesia
(Firmansyah, J., Irsyam, M, 1999) dalam Sriyati (2010)

Klasifikasi zona	Sumber gempa	Magnitude Maks
Zona Subduksi	Sumatera	8,5
	Jawa	8,2
	Banda	8,5
	Seram	8,4
	Irian Jaya Utara	8,4
	Halmahera	8,5
	Sangir Talaud	8,5
	Sulawesi Utara	8,0
	Molluca Passage	8,5
Zona Transform	Sesar Sumatera	7,6
	Sukabumi	7,6
	Baribis	6,0
	Lasem	6,0
	Majene-Bulukumba	6,5
	Palu-Koro	7,6
	Matano	7,6
	Sorong	7,6
	Ransiki Lengguru	6,5
	Yapen-Mambaremo	7,6
	Tarera-Aeduna	6,5

Sejarah mencatat telah beberapa kalo terjadi gempa yang dirasakan di Kota Palu yang cukup merusak, bahkan ada beberapa diantaranya yang menimbulkan tsunami. Beberapa kejadian gempa tersebut diantaranya adalah (Bappenas, 2012) :

- Gempa Lemo 30 Juli 1907
- Gempa Watusampu 1 Desember 1927 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 15 m, menghantam wilayah pantai bagian selatan dan Timur Teluk Palu
- Gempa Donggala 20 Mei 1938 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang sekitar 4 m, menghantam wilayah pantai di sekeliling Teluk Palu
- Gempa Tambu 15 Agustus 1968 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 10 m, menghantam wilayah pantai di sekeliling teluk Tambu
- Gempa Sausu 1994 dan gempa kantewu 1994

- Gempa Tonggolobibi 1 Januari 1996 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 4 m, menghantam wilayah pantai Desa Tonggolobibi
- Gempa Banggai 2000 menimbulkan tsunami di wilayah balantak, P. Peleng dan P Banggai.
- Gempa Tojo 12 Agustus 2002
- Gempa Gawalise, gempa Rano, Gempa Bora dll tahun 2005
- Gempa Buol 2008 merusak lebih dari 1000 rumah
- Gempa Janedo awal april 2009 (kurang dari 48 jam terjadi 3 kali gemoa antara Palu-Parigi)
- Gempa Palu 18 Agustus 2012 dan Gempa Sigi 4 September 2012

BAB 3
GEOLOGI TEKNIK

Berdasarkan hasil analisis geologi teknik, maka daerah penyelidikan dibagi menjadi 2 satuan geologi teknik, yaitu satuan Aluvium dan endapan pantai (Qap) dan Satuan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms)

3.1. Satuan Aluvium dan endapan pantai (Qap)

Pada daerah yang dibentuk oleh endapan aluvium, lapisan tanah umumnya terdiri dari pasir di bagian atas, lanau di bagian tengah dan lempung di bagain bawah. Pasir berwarna abu-abu, lepas, pemilahan jelek, porositas baik, permeabilitas baik dengan ketebalan 1 – 7,2 m, lanau dijumpai di bawah pasir berwarna coklat – abu-abu, lunak – teguh, plastisitas sedang, dengan ketebalan 0,2 – 0,7 m, sedangkan lempung berwarna coklat – coklat tua, lunak – teguh, plastisitas tinggi dengan tebal bervariasi antara 0,1 – 2,7 m. Kedalaman muka air tanah berkisar antara 0,5 – 16 m di bawah muka tanah.

Tekanan konus pada lapisan pasir berkisar antara 9,73 – 133 kg/cm^2, tebal 0,1 – 7,2 m, lanau memiliki nilai tekanan konus 17 – 22 kg/cm^2, dan lempung nilai tekanan konusnya 5 – 12 kg/cm^2.

Hasil analisa laboratorium mekanika tanah dari contoh pasir memiliki berat jenis G_s= 2,682 – 2,770 , berat isi γ_t= 1,494 - 1,868 g/cm^3, kadar air natural w_n= 4,78 – 18,99 %, grup simbol SW, SM, SC, SP, kohesi c= 0,000 – 0,100 kg/cm^2, sudut geser dalam ϕ= 22,90 – 39,38^o. Nilai daya dukung yang diijinkan pada Formasi ini berkisar antara 10,958 – 60,767 ton/m^2.

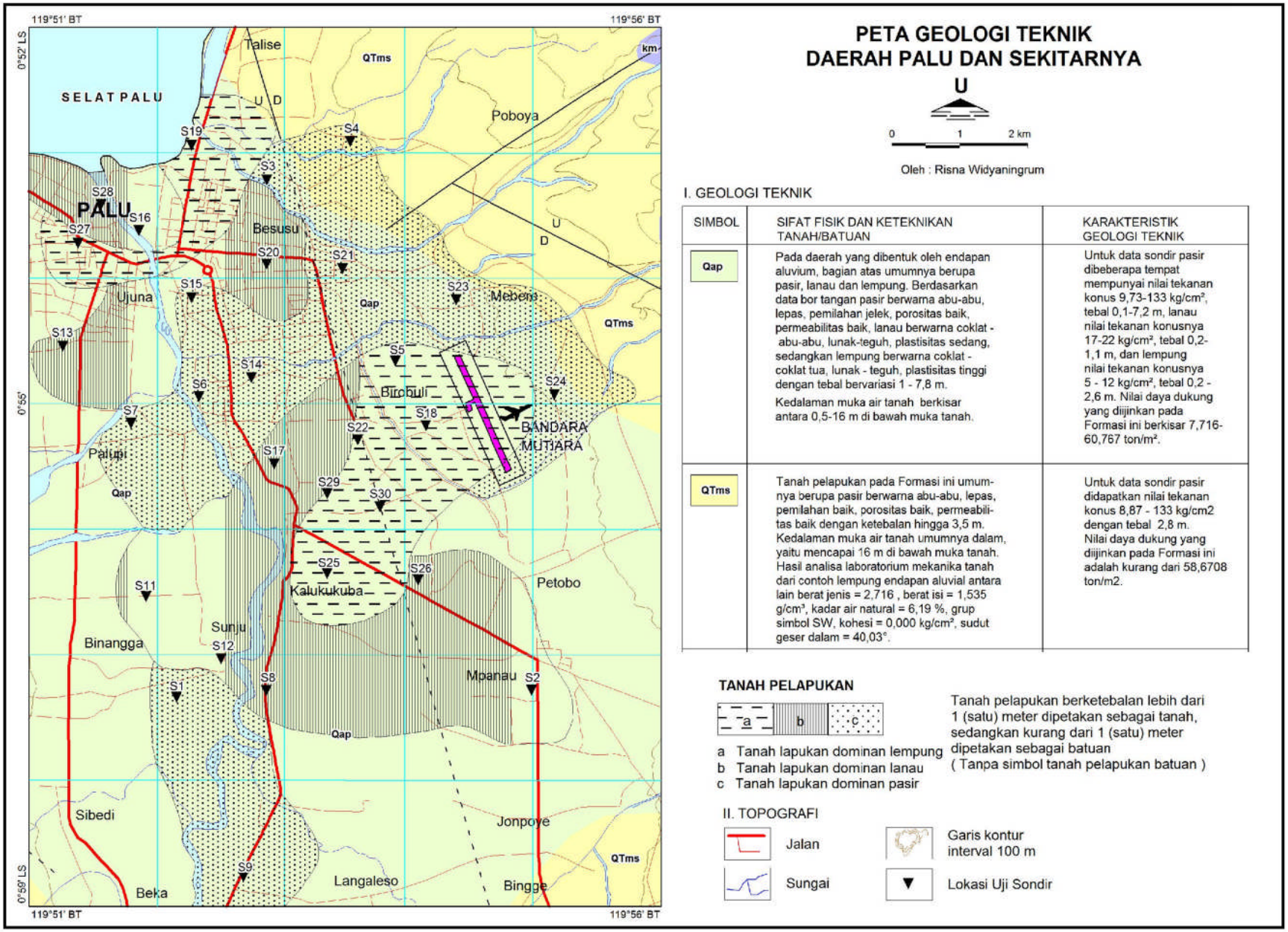
Hasil analisa laboratorium mekanika tanah dari contoh lanau memiliki berat jenis G_s= 2,697 – 2,773 , berat isi γ_t= 1,578 - 1,902 g/cm^3, kadar air natural w_n= 4,34 – 36,71 %, grup simbol ML, MH, kohesi c= 0,000 – 0,152 kg/cm^2, sudut geser dalam ϕ= 21,94 – 40,03^o. Nilai daya dukung yang diijinkan pada Formasi ini berkisar antara 7,717 – 18,493 ton/m^2.

Hasil analisa laboratorium mekanika tanah dari contoh lempung memiliki berat jenis G_s= 2,687 – 2,777 , berat isi γ_t= 1,500 - 1,950 g/cm^3, kadar air natural w_n= 9,98 – 27,79 %, grup simbol CL, kohesi c= 0,044 – 0,173 kg/cm^2, sudut geser dalam ϕ= 21,94 – 28,47^o. Nilai daya dukung yang diijinkan pada Formasi ini berkisar antara 9,944 – 18,744 ton/m^2.

3.2. Satuan Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms)

Tanah pelapukan pada Formasi ini umumnya berupa pasir berwarna abu-abu, lepas, pemilahan baik, porositas baik, permeabilitas baik dengan ketebalan 3,5 m. Kedalaman muka air tanah umumnya dalam, yaitu 16 m di bawah muka tanah. Berdasarkan uji sondir nilai tekanan konus 8,87 – 133 kg/cm^2.

Hasil analisa laboratorium mekanika tanah dari contoh lempung endapan aluvial antara lain berat jenis G_s= 2,716 , berat isi γ_t= 1,535 g/cm^3, kadar air natural w_n= 6,19 %, grup simbol SW, kohesi c= 0,000 kg/cm^2, sudut geser dalam ϕ= 40,03^o. Nilai daya dukung yang diijinkan pada Formasi ini adalah kurang dari 58,6708 ton/m^2.



Gambar 3-1. Peta Geologi Teknik

BAB 4
POTENSI LIQUIFAKSI

4.1. Metode Kualitatif

Pendekatan kualitatif terhadap potensi liquifaksi berlaku untuk skala kecil atau Formasi batuan. Hasil dari metode kualitatif berupa gambaran umum tentang kecenderungan potensi liquifaksi. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan investigasi selanjutnya secara kuantitatif yang lebih rinci.

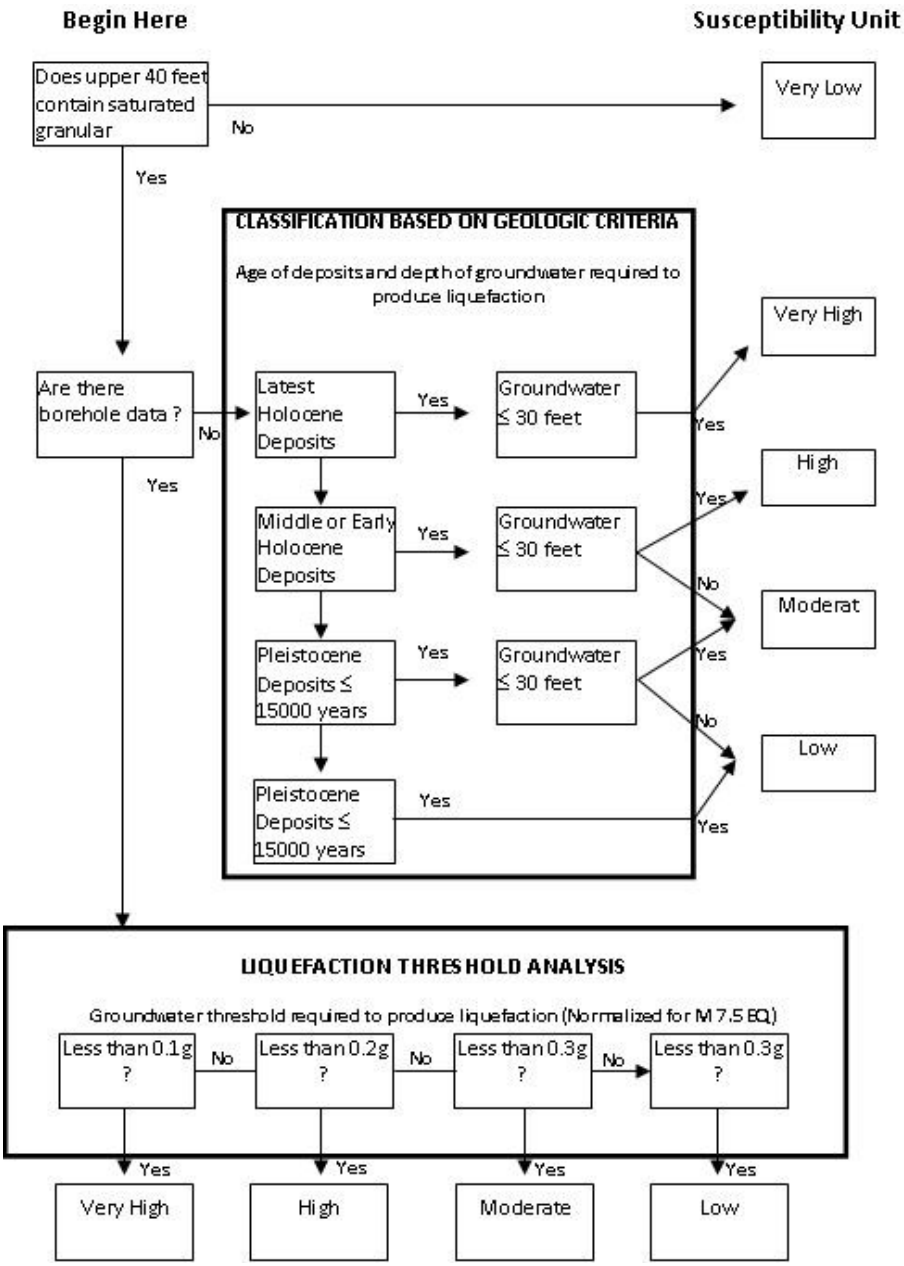
Beberapa metode mikrozonasi potensi liquifaksi antara lain metode Iwasaki; Youd & perkins; Keith drr; UNDP,dsb. Data yang tersedia untuk daerah penyelidikan adalah data geologi dan kedudukan muka air tanah sehingga pemilihan metode dalam kasus ini menggunakan sumber dari Keith, drr., 1999 dalam Piya, B.K, 2004. Menurut Keith, potensi liquifaksi secara kualitatif dipengaruhi oleh tiga faktor antara lain :

1. Ketebalan tanah pasiran kurang dari 12 m di bawah permukaan tanah.
2. Kedalaman muka air tanah < 10 m
3. Estimasi batas kritis percepatan gempa permukaan yang memicu liquifaksi jika terdapat data bor dengan estimasi metode seed dan idriss, 1971.

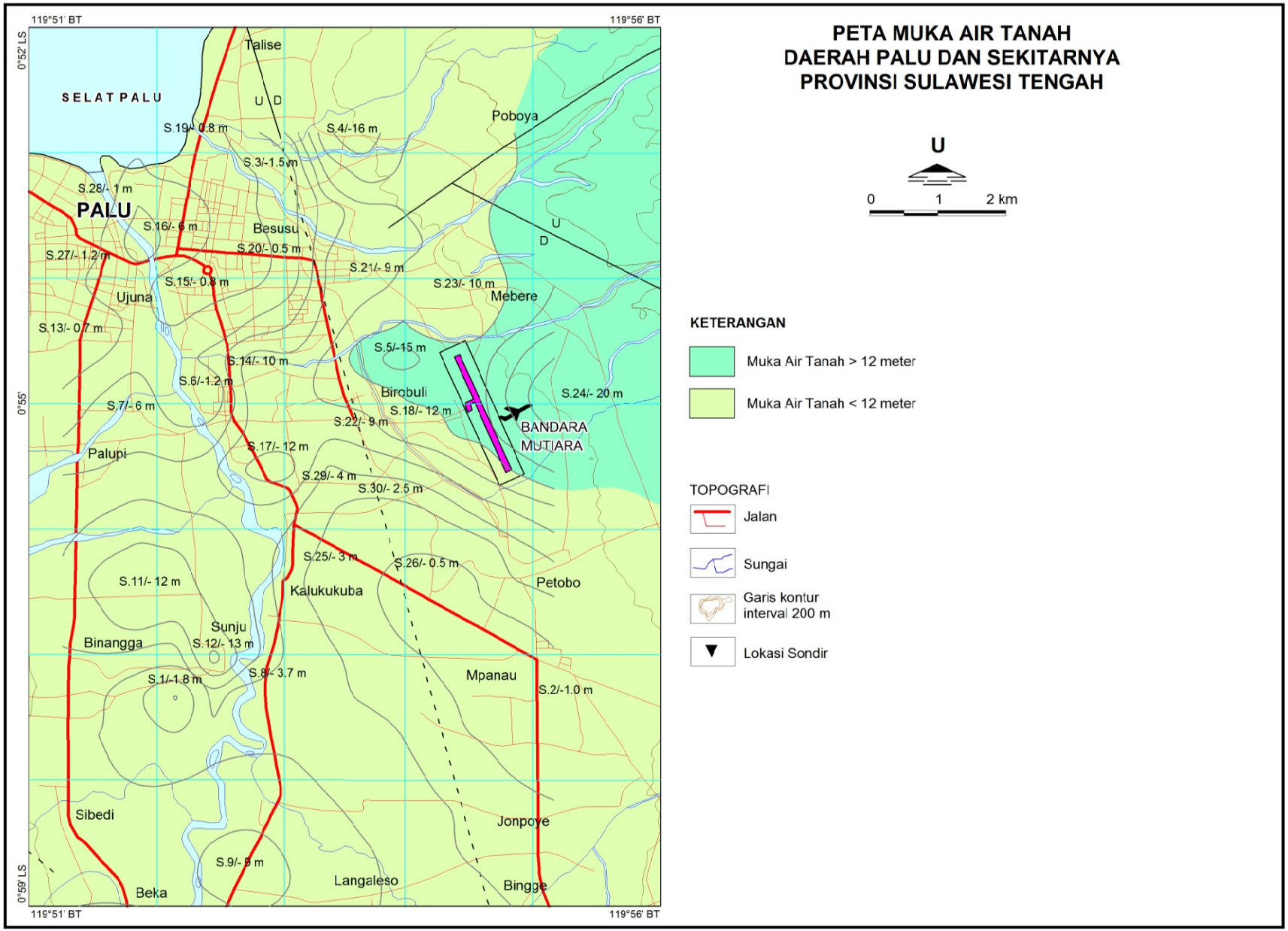
Bagan alir proses identifikasi potensi liquifaksi menurut Keith, 1999 seperti disajikan pada Gambar 4-1. Berdasarkan Peta Geologi Teknik (Gambar 3-1) dan Peta Muka Air Tanah (Gambar 4-2), karakteristik potensi liquifaksi tiap Formasi disajikan pada tabel 4-1.

Tabel 4-1 Potensi liquifaksi daerah penyelidikan secara kualitatif

Formasi Batuan	Litologi non kohesif dan urai < 12 m	Umur Formasi	Kedalaman mat < 10 m	Potensi Liquifaksi
Aluvium dan Endapan Pantai (Qap)	Ya	Holosen awal - akhir	Ya	Tinggi – Sangat tinggi
Molasa Celebes Serasin dan Serasin (QTms)	Ya	Pliosen - Pleistosen	Tidak	rendah



Gambar 4-1. Bagan alir evaluasi potensi liquifaksi secara kualitatif (Keith, drr., 1999)



Gambar 4-2. Peta Muka Air Tanah

4.2. Metode Kuantitatif

Konsep yang digunakan adalah dengan pendekatan *Cyclic Stress* menurut Seed dan Idriss, 1971 dalam Seed, drr, 2001. *Cyclic Stress* pada umumnya digunakan untuk estimasi ketahanan liquifaksi pada tanah pasiran (Schneider & Mayne, 1999). Tahapan dalam analisis antara lain :

a) Identifikasi parameter pemicu liquifaksi

Identifikasi parameter yang diperlukan untuk mengetahui pemicu liquifaksi terdapat dua faktor yaitu :

1. Percepatan gempa dasar permukaan (PGA)

Perhitungan PGA menggunakan data dari Peta Zona Gempa Indonesia (Gambar 2-3) atau bisa juga dengan menggunakan rumus :

$$ad = Z \; x \; ac \; x \; v$$

Dengan :

- Koefisien zona gempa (z)
- Percepatan gempa dasar dengan menggunakan periode ulang 50 tahun (ac)
- Faktor koreksi jenis tanah (v)

Nilai Koefisien gempa (k) sebanding dengan nilai percepatan tanah terkoreksi (ad) dan berbanding terbalik dengan percepatan gravitasi (g) sehingga rumusan nya adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{ad}{g}$$

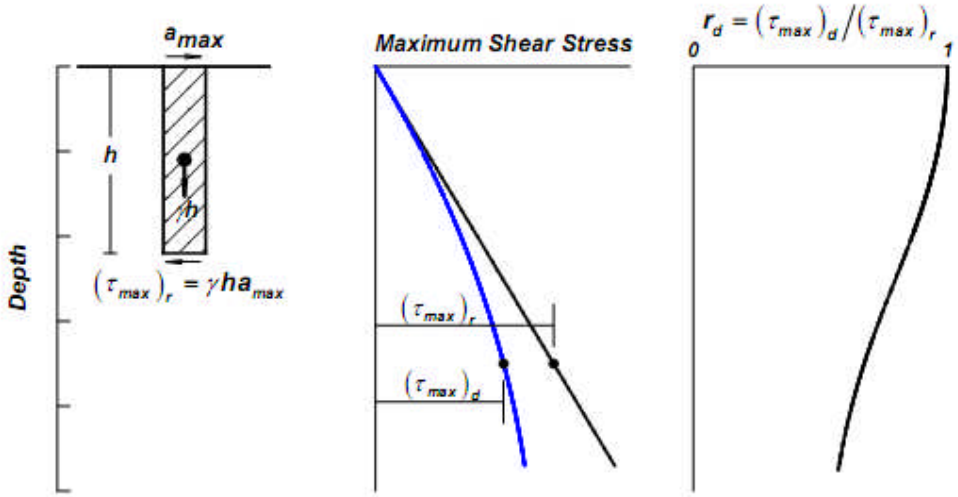
2. *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Menurut Seed & Idriss, 1971 dalam Seed, drr, 2001, menyebutkan bahwa CSR merupakan fungsi *cyclic shear stress* rata – rata (τ_{avg}) terhadap overburden stress (σ_{vo}')

$$CSR = \frac{\tau_{avg}}{\sigma_{vo}'} = 0.65\left(\frac{a_{\max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}'}\right)rd$$

CSR juga merupakan fungsi percepatan gempa dasar permukaan (a max) , total *vertical stress* (σ_{vo}) & *vertical stress effective* (σ_{vo}') terhadap

kedalaman dan factor reduksi stress (r_d). Total vertical stress (σ_{vo}) & *vertical stress effective* (σ_{vo}') adalah fungsi dari berat isi tanah dengan kedalaman. Faktor reduksi stress (rd) merupakan gambaran perbandingan antara *cyclic stress* pada tanah yang fleksibel dengan tanah yang rigid (Idriss & Boulanger, 2004) dalam Taufiq (2011).



Gambar 4-3 Faktor reduksi stress

rd memiliki hubungan dengan factor kedalaman dengan perkiraan rentang nilai menurut Robertson & Wride, 1997 adalah sebagai berikut :

- rd = 1.0 – 0.00765z (Jika z < 9.15 m)
- rd = 1.174 – 0.0267z (Jika 9.15 m ≤ z < 23 m)
- rd = 0.744 – 0.008z (Jika 23 m ≤ z < 30 m)
- rd = 0.5 (Jika z > 30 m)

Perhitungan nilai CSR di daerah penyelidikan disajikan dalam lampiran 3

b) Identifikasi parameter kemampuan litologi terhadap liquifaksi.

Kemampuan litologi terhadap liquifaksi disebut sebagai nilai *Cyclic Retention Ratio (CRR)*. Robertson & Wride (1998) merumuskan CRR berdasarkan uji Cone Penetration Test (CPT) adalah sebagai berikut :

$$CRR_{7.5} = 93\left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right)^3 + 0.08$$ Jika 50 ≤ $(q_{c1N})_{cs}$ < 160

$$CRR_{7.5} = 0.83\left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right)^3 + 0.05$$ Jika $(q_{c1N})_{cs} \leq 50$

$(q_{c1N})_{cs}$ adalah Tekanan konus terkoreksi pada kondisi fraksi halus (*Clean sand*). Formula $(q_{c1N})_{cs}$:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \times q_{c1N}$$

q_{c1N} adalah Tekanan konus terkoreksi sedangkan Kc adalah faktor koreksi overburden untuk CSR yang dirumuskan :

$$q_{c1N} = C_N x q_c = \left(\frac{P_a}{\sigma_{vo}'}\right)^{0.5} x q_c$$

Pa adalah tekanan pada 1 atm atau 101,3 KPa sedangkan C_N adalah faktor koreksi overburden untuk tahanan penetrasi formula Liao & Whitman, 1986 dalam Idriss & Boulanger, 2004. Kc adalah faktor koreksi pada tanah berbutir yang memiliki persyaratan sebagai berikut :

a. Jika Ic (Indeks Sifat tanah) ≤ 1.64 maka Kc = 1.0.

b. Jika Ic > 1.64, maka $K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88$

Ic (indeks tanah) dapat diperoleh dengan rumusan sebagai berikut :

$$I_c = [(3.47 - logQ)^2 + (logF + 1.22)^2]^{0.5}$$

$$Q = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{\sigma_{vo}'}$$

$$F = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{vo})} \; x \; 100\%$$

c) Indeks potensi Liquifaksi.

Berdasarkan Youd & Noble, 1997 dalam Schneider & Wayne, 1999, faktor keamanan terhadap liquifaksi dirumuskan sebagai berikut :

$$FS = \left(\frac{CRR_{7.5}}{CSR} \right) MSF$$

MSF adalah faktor skala magnitude gempa yang akan bernilai sama dengan 1 pada magnitude 7,5 skala Richter. MSF diperlukan karena adanya pengaruh dari magnitude yang menyebabkan goncangan dimana bisa menyebabkan rendahnya ketahanan tanah terhadap liquifaksi akibat penambahan stress cycle. (Schneider & Wayne, 1999).

Nilai MSF pada umumnya berbanding terbalik dengan nilai rd (Idriss & Boulanger, 2004). Hubungan MSF dengan Magnitude gempa menurut Idriss, 1999 :

$$MSF = 31.9(M_w)^{-1.72}$$

Kondisi batas yang berlaku di daerah penyelidikan menerapkan nilai MSF = 1 dengan asumsi bahwa nilai FS merupakan hasil murni dari perbandingan antara CRR terhadap CSR dimana acuan PGA berasal Peta Zona Gempa Indonesia secara regional.

Indeks potensi liquifaksi (LPI) mengacu pada formula Iwasaki, 1986 yang menyebutkan liquifaksi akan terjadi hingga kedalaman 20 meter di bawah permukaan tanah. Indeks potensi liquifaksi merupakan integrasi dari fungsi faktor keamanan dan kedalaman litologi yang terliquifaksi.

$$LPI = \int_0^{20} FW(z)dz$$

Jika faktor keamanan (F_L) < 1 maka F = 1 – F_L dan jika F_L> 1 maka F = 0. Menurut Iwasaki (1986) dalam Taufiq (2011), klasifikasi LPI terhadap resiko potensi liquifaksi adalah sebagai berikut :

Tabel 4-2 Nilai LPI daerah penyelidikan berdasarkan klasifikasi Iwasaki (1986)

LPI	Potensi Liquifaksi
LPI = 0	Sangat Rendah
LPI < 5	Rendah
5 < LPI < 15	Tinggi
LPI > 15	Sangat Tinggi

Potensi tersebut apabila dihitung probabilitasnya maka dapat diketahui dengan menggunakan formula George, 2008 sebagai berikut :

$$Prob(Liquefaction) = \left(\frac{1}{1 + e^{-(-3.092+0.218xLPI)}}\right)$$

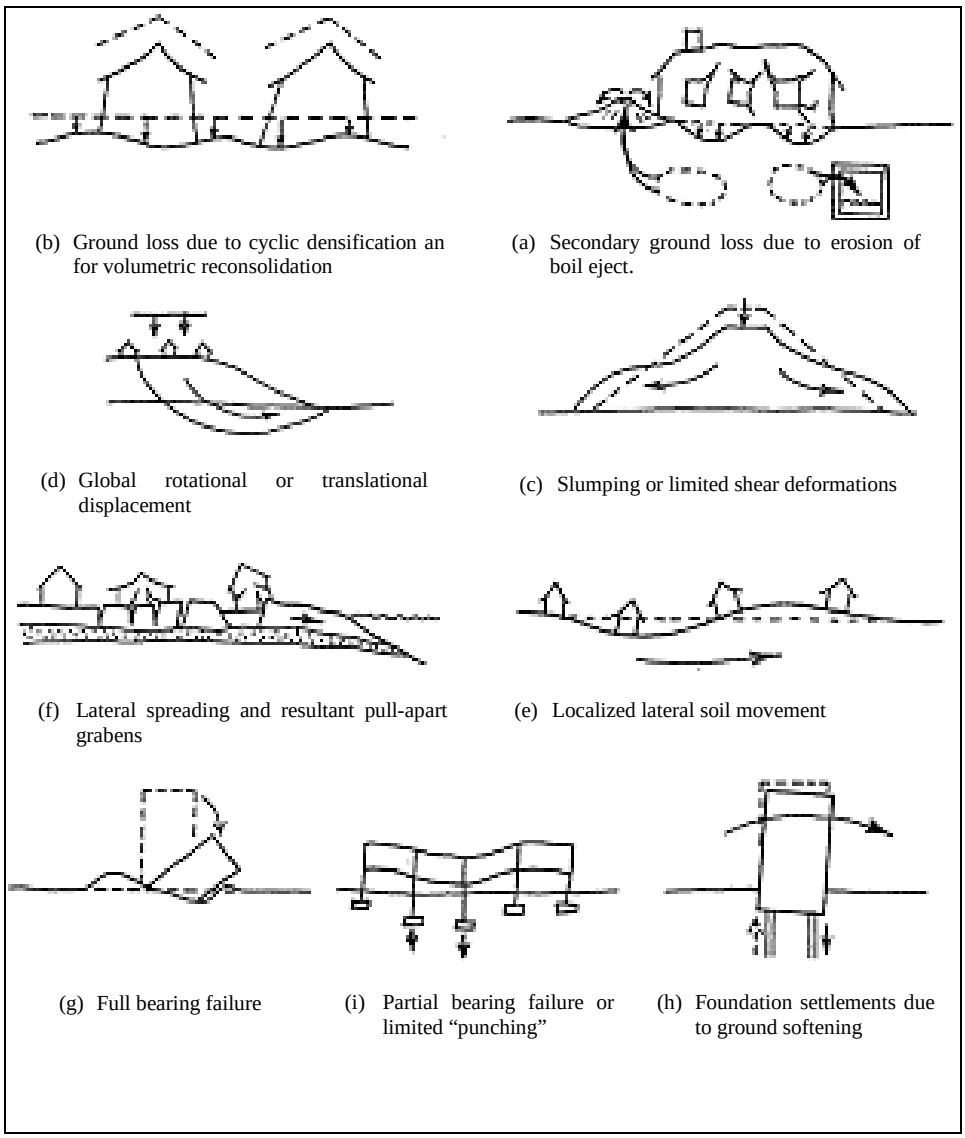
Perhitungan probabilitas di daerah penyelidikan merupakan hasil dari PGA maksimum dengan periode ulang 50 tahun. Proses perhitungan dapat dilihat pada lampiran 3 sedangkan rangkuman hasil perhitungan nilai LPI dan probabilitas 50 tahun seperti disajikan pada tabel 4-3. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa potensi liquifaksi rendah cenderung terletak di bagian barat laut dan selatan daerah penyelidikan, potensi tinggi cenderung melingkupi sebagian besar daerah penyelidikan sedangkan potensi sangat tinggi terletak di bagian utara dan tengah daerah penyelidikan. Peta potensi liquifaksi pada saat nilai PGA 1 g dan 1,2 g dapat dilihat pada lampiran 8

Tabel 4-3 Nilai LPI dan probabilitas 50 tahun tiap lokasi pengujian sondir

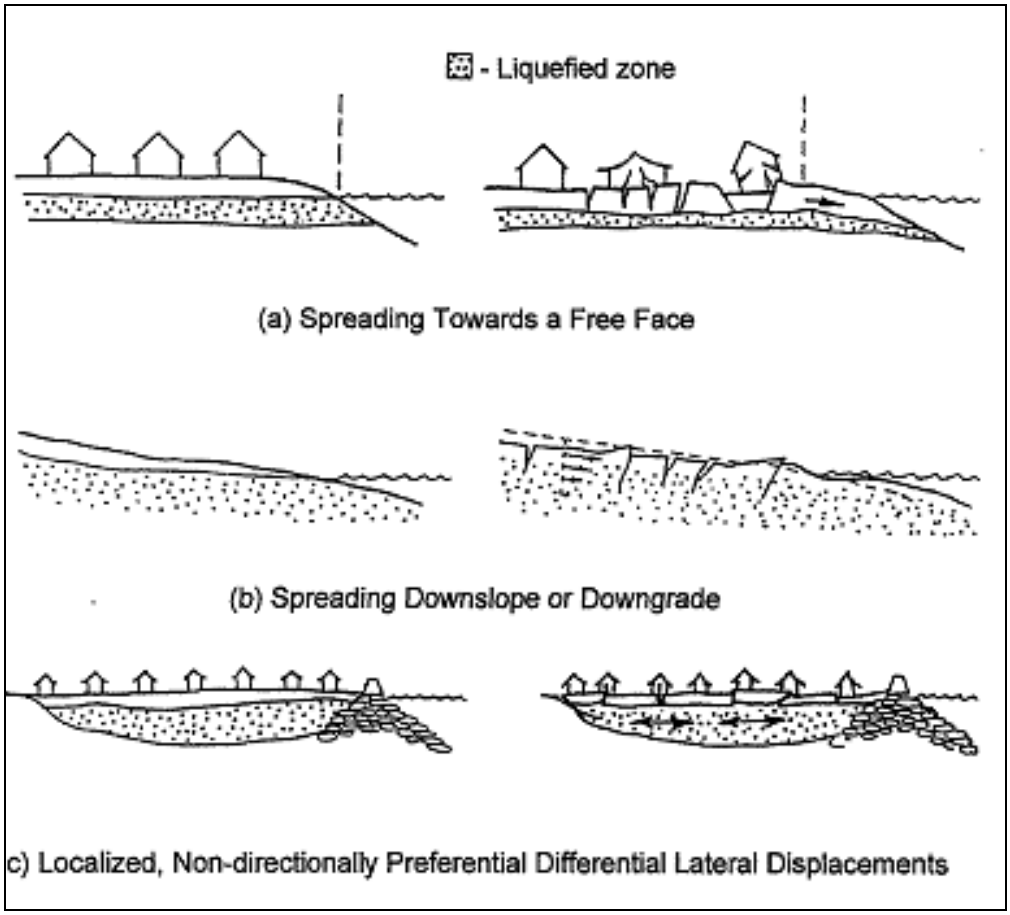
Kode	Lokasi	X	Y	LPI	Probabilitas (%)	LPI	Probabilitas (%)
PGA				1 g		1,2 g	
S-01	Kalukubula	119' 53' 08,9"	00' 57' 20,6"	25,22	91,72	26,11	93,09
S-02	Lolu	119' 54' 58,2"	00' 57' 17,00"	4,46	10,72	5,26	12,51
S-03	Besusu	119' 52' 51,6"	00' 53' 13,3"	4,96	11,81	5,74	13,69
S-04	Talise	119' 53' 54,9"	00' 52' 54,9"	13,32	45,31	14,16	49,87
S-05	Birobuli	119' 53' 52,7"	00' 54' 39,8"	31,14	97,58	32,94	98,35
S-06	Tatura	119' 52' 18,3"	00' 54' 56,9"	18,14	70,3	19,86	75,51
S-07	Besusu Tengah	119' 52' 17,8"	00' 53' 20,1"	3,37	8,64	4,65	11,11
S-08	Kalukubula	119' 57' 17.4"	00' 57' 17,4"	4,14	10,06	4,47	10,74
S-09	Dolo, Kotarinau	119' 52' 41,3"	00' 58' 46,7"	3,94	9,68	4,44	10,68
S-10	Kotapulu	119' 52' 19,6"	00' 59' 44,7"	0,61	4,93	0,81	5,14
S-11	Baliase	119' 51' 55,6"	00' 56' 32,5"	10,3	29,99	11,43	35,42
S-12	Sunju	119' 52' 31,2"	00' 57' 02,2"	13,2	44,88	15,63	57,81
S-13	Bayaoge	119' 51' 14,7"	00' 54' 32,9"	7,48	18,81	8,62	22,91
S-14	Tatura	119' 52' 42,6"	00' 54' 47,8"	2,82	7,75	2,97	7,99
S-15	Lolu Selatan	119' 54' 09,7"	00' 52' 15,9"	2,82	7,75	2,97	7,99
S-16	Besusu Barat	119' 51' 50,8"	00' 53' 37,5"	3,97	9,73	4,55	10,9
S-17	Tatura	119' 52' 54,4"	00' 55' 29,1"	25,05	91,45	26,51	93,62
S-18	Birobuli	119' 54' 07,6"	00' 55' 10,7"	29,33	96,45	30,99	97,5
S-19	Talise	119' 52' 15,7"	00' 52' 56,8"	13,74	47,6	14,68	52,69
S-20	Lolu	119' 52' 52,7"	00' 53' 53,5"	18,86	73,5	20,04	78,2
S-21	Tanamodindi	119' 53' 26,8"	00' 53' 55,7"	5,3	12,61	5,92	14,16
S-22	Birobuli Utara	119' 53' 36,0"	00' 55' 17,5"	3,19	8,34	3,49	8,83
S-23	Lasoani	119' 54' 20,7"	00' 54' 10,6"	12,61	41,52	14,12	49,64
S-24	Kawatuna	119' 55' 07,9"	00' 54' 56,0"	22,75	86,62	24,54	90,52
S-25	Kalukubula	119' 53' 19,3"	00' 56' 21,4"	15,48	57,01	16,19	60,77
S-26	Petobo	119' 54' 05,0"	00' 56' 24,5"	13,5	46,27	14,3	50,65
S-27	Kamoji	119' 51' 20,9"	00' 53' 43,6"	1,99	6,53	2,39	7,11
S-28	Lere	119' 51' 33,5"	00' 53' 25,1"	18,84	73,4	20,39	79,47
S-29	Tatura	119' 53' 19,4"	00' 55' 43,2"	19,41	75,75	20,33	79,27
S-30	Birobuli Selatan	119' 53' 45,4"	00' 55' 49,6"	21,21	82,22	22,53	86,05

d) Prediksi penurunan dan perpindahan lateral

Salah satu efek liquifaksi pada bangunan konstruksi adalah penurunan dan perpindahan lateral tanah. Proses penurunan terdapat sembilan tipe sebagaimana digambarkan pada gambar 4-4 oleh Zhang drr, 1998 dalam Seed drr, 2001 sedangkan perpindahan lateral memiliki tiga tipe (Seed, 2001) seperti disajikan pada gambar 4-5.



Gambar 4-4 Tipe penurunan akibat liquifaksi
(Zhang drr, 1998 dalam Seed, 2001)

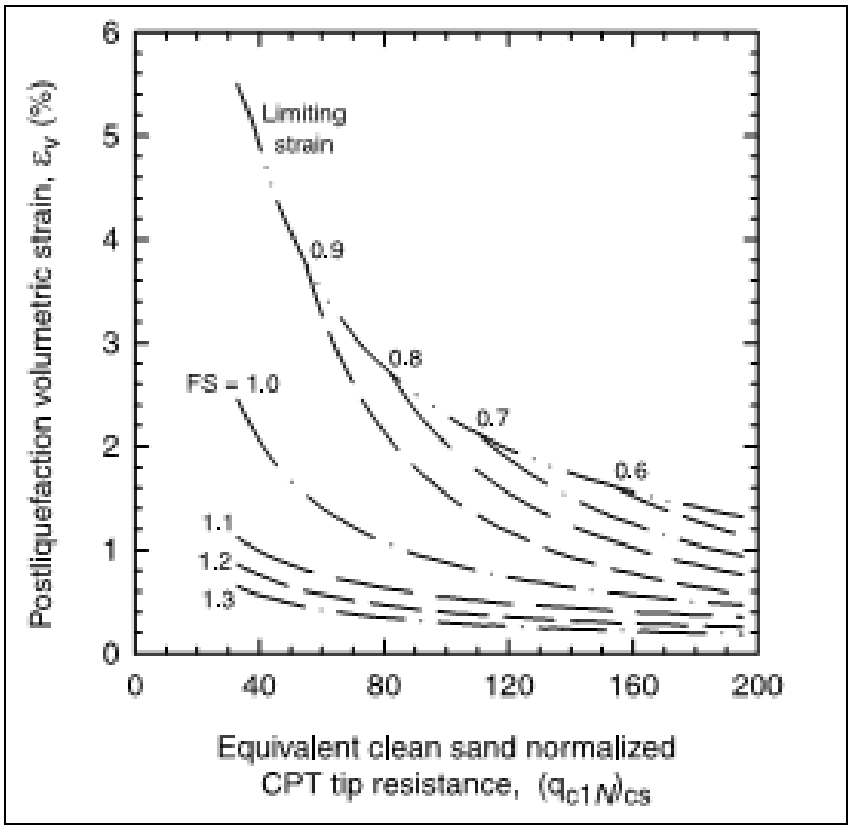


Gambar 4-5 Tipe perpindahan lateral akibat liquifaksi (Seed, 2001)

Menurut Zhang drr, 2002, estimasi penurunan merupakan fungsi dari regangan volumetrik (ε_{vi}) terhadap kedalaman (z) sebagaimana dirumuskan :

$$S = \sum_{i=1}^{j} \varepsilon_{vi} \Delta Z_i$$

Estimasi nilai regangan volumetrik dapat berdasarkan data sondir dapat diketahui dari nilai qc terkoreksi dimana hubungannya seperti disajikan dalam gambar 4-6.



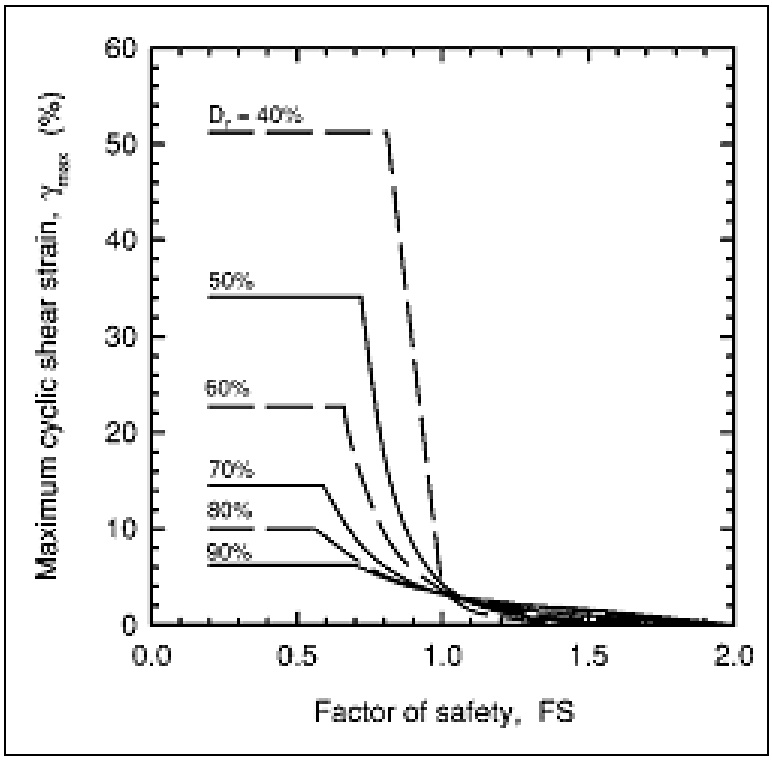
Gambar 4-6 Hubungan regangan volumetrik terhadap nilai $(q_{c1N})_{cs}$ (Zhang, 2002)

Menurut Zhang drr, 2004 menyebutkan bahwa analisis dalam prediksi perpindahan lateral terdapat tiga tahapan :

1. Menentukan lapisan yang terliquifaksi yang dalam hal ini menggunakan data sondir.
2. Menentukan nilai indeks perpindahan lateral (LDI) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$LDI = \int_0^{z_{max}} \gamma_{max}\, d_z$$

Dimana γ_{max} merupakan amplitudo maksimum dari c*yclic shear strain* yang nilainya tergantung pada nilai densitas relatif (D_r) dan faktor keamanan (FS). Hubungan nilai – nilai tersebut sebagaimana diusulkan oleh Zhang drr, 2004 pada gambar .4-7.



Gambar 4-7 Hubungan *cyclic shear strain* terhadap faktor keamanan

3. Menentukan perpindahan lateral (LD) dimana dibagi menjadi dua kondisi, yaitu :

a. Kemiringan (S) tanpa batas (0,2% < S < 3,5%)

$$LD = (S + 0{,}2).LDI$$

b. Kemiringan (S) dengan panjang (L) dan tinggi tertentu (H) (4 < L/H < 40)

$$LD = 6.(L/H)^{-0.8}$$

Hasil perhitungan penurunan dan perpindahan lateral pada kondisi PGA 1 g dan 1,2 g disajikan pada tabel 4-4 sedangkan peta sebarannya dapat dilihat pada lampiran 8.

Tabel 4-4 Nilai penurunan dan perpindahan lateral tiap lokasi pengujian sondir

Kode	Lokasi	X	Y	Penurunan (cm)	Perpindahan (cm)	Penurunan (cm)	Perpindahan (cm)
PGA				1 g		1,2 g	
S-01	Kalukubula	119' 53' 08,9"	00' 57' 20,6"	9,99	32,18	9,99	32,18
S-02	Lolu	119' 54' 58,2"	00' 57' 17,00"	1,39	12,36	1,46	14,81
S-03	Besusu	119' 52' 51,6"	00' 53' 13,3"	1,66	9,25	1,7	10,6
S-04	Talise	119' 53' 54,9"	00' 52' 54,9"	2,38	10,71	2,38	10,71
S-05	Birobuli	119' 53' 52,7"	00' 54' 39,8"	2,97	17,74	2,97	18,01
S-06	Tatura	119' 52' 18,3"	00' 54' 56,9"	2,02	6,89	2,14	7,33
S-07	Besusu Tengah	119' 52' 17,8"	00' 53' 20,1"	1,38	9,01	1,59	9,74
S-08	Kalukubula	119' 57' 17.4"	00' 57' 17,4"	0	0	0	0
S-09	Dolo, Kotarinau	119' 52' 41,3"	00' 58' 46,7"	0	0	0	0
S-10	Kotapulu	119' 52' 19,6"	00' 59' 44,7"	0	0	0	0
S-11	Baliase	119' 51' 55,6"	00' 56' 32,5"	1,07	8,18	1,12	8,62
S-12	Sunju	119' 52' 31,2"	00' 57' 02,2"	2,33	13,81	2,5	17,26
S-13	Bayaoge	119' 51' 14,7"	00' 54' 32,9"	0,59	7,2	0,72	10,29
S-14	Tatura	119' 52' 42,6"	00' 54' 47,8"	0,92	6,82	0,92	6,82
S-15	Lolu Selatan	119' 54' 09,7"	00' 52' 15,9"	0,92	6,82	0,92	6,82
S-16	Besusu Barat	119' 51' 50,8"	00' 53' 37,5"	0,96	3,99	1,05	4,21
S-17	Tatura	119' 52' 54,4"	00' 55' 29,1"	2,04	11,87	2,04	11,87
S-18	Birobuli	119' 54' 07,6"	00' 55' 10,7"	2,47	9,09	2,48	9,09
S-19	Talise	119' 52' 15,7"	00' 52' 56,8"	0,94	1,82	0,94	1,82
S-20	Lolu	119' 52' 52,7"	00' 53' 53,5"	1,65	5,46	1,65	5,46
S-21	Tanamodindi	119' 53' 26,8"	00' 53' 55,7"	0,46	0	0,46	0
S-22	Birobuli Utara	119' 53' 36,0"	00' 55' 17,5"	0	0	0	0
S-23	Lasoani	119' 54' 20,7"	00' 54' 10,6"	1,16	9,27	1,26	10,06
S-24	Kawatuna	119' 55' 07,9"	00' 54' 56,0"	2,33	20,47	2,34	20,47
S-25	Kalukubula	119' 53' 19,3"	00' 56' 21,4"	0	0	0	0
S-26	Petobo	119' 54' 05,0"	00' 56' 24,5"	0,75	6,82	0,75	6,82
S-27	Kamoji	119' 51' 20,9"	00' 53' 43,6"	0,12	0,53	0,16	1,71
S-28	Lere	119' 51' 33,5"	00' 53' 25,1"	1,55	7,78	1,55	7,78
S-29	Tatura	119' 53' 19,4"	00' 55' 43,2"	0,41	0	0,41	0
S-30	Birobuli Selatan	119' 53' 45,4"	00' 55' 49,6"	0,49	2,36	0,54	3,53

4.3. Potensi Liquifaksi terhadap tata guna lahan

Hasil perhitungan LPI, penurunan tanah dan perpindahan lateral secara kuantitatif menghasilkan 3 kategori potensi liquifaksi setelah dilakukan interpolasi Kriging. Kategori tersebut dibedakan berdasarkan klasifikasi Iwasaki (1986) dalam Taufiq (2011) yang menggunakan nilai LPI sebagai acuan, yaitu :

1. Potensi sangat tinggi

Probabilitas untuk periode ulang 50 tahun adalah sebesar lebih dari 54,44% yang terdapat pada lokasi S-01 (Kalukubula), S-05 (Birobuli), S-06 (Tatura), S-12 (Sunju), S-17 (Tatura), S-20 (Lolu), S-24 (Kawatuna), S-25 (Kalukubula), S-28 (Lere), S-29 (Tatura), S-30 (Birobuli Selatan) yang berpotensi mengalami penurunan tanah lebih dari 5 cm dan perpindahan lateral lebih dari 15 cm.

2. Potensi tinggi

Probabilitas untuk periode ulang 50 tahun adalah sebesar 11,90% - 54,44% yang terdapat pada lokasi S-02 (Lolu), S-03 (Besusu), S-04 (Talise), S-13 (Bayaoge), S-19 (Talise), S-21 (Tanamodindi), S-23 (Lasoani), S-26 (Petobo), yang berpotensi mengalami penurunan tanah kurang dari 5 cm dan perpindahan lateral lebih dari 10 cm.

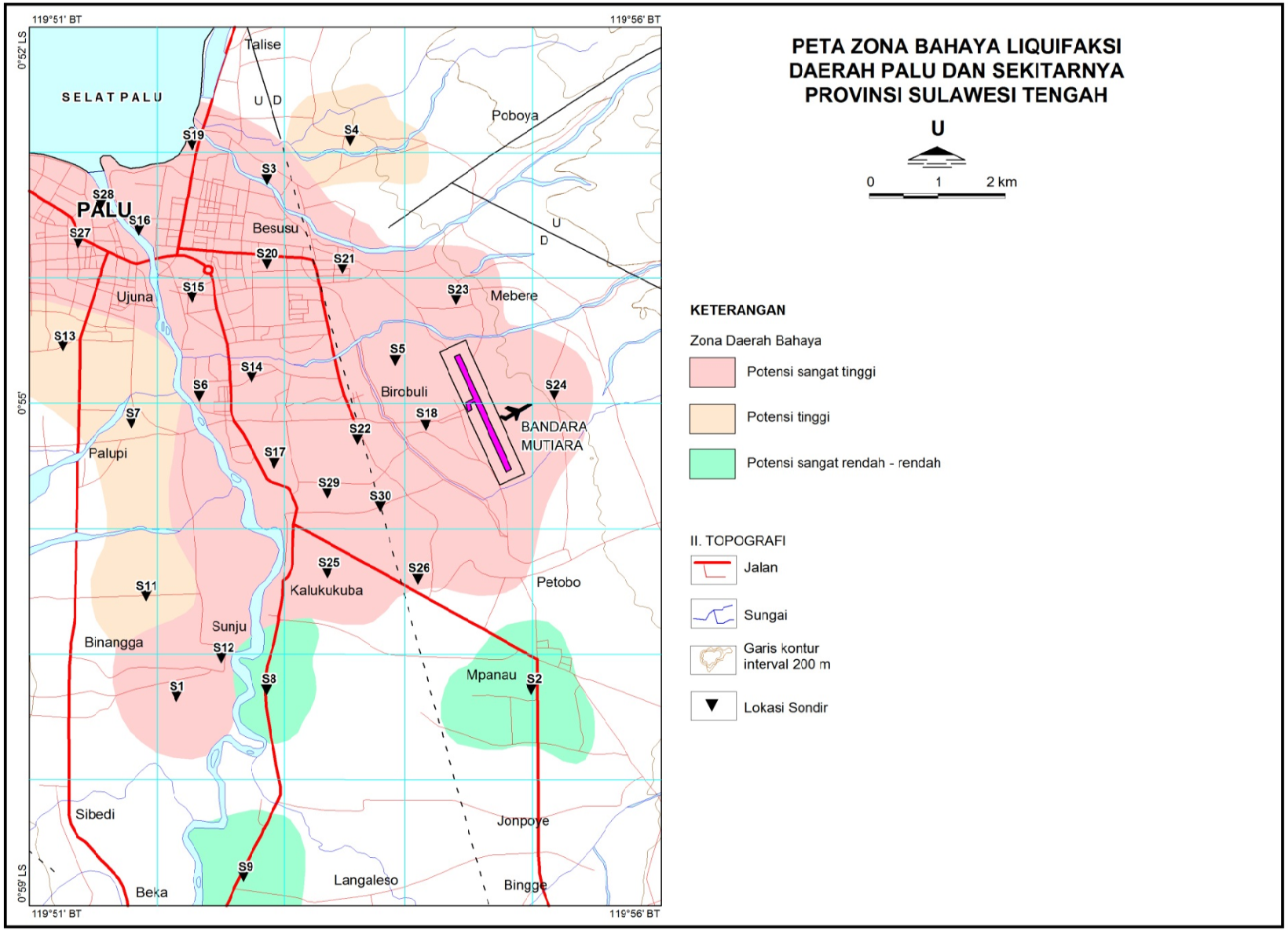
3. Potensi sangat rendah – rendah

Probabilitas untuk periode ulang 50 tahun adalah sebesar kurang dari 11,90% yang terdapat pada lokasi S-07 (Besusu Tengah), S-08 (Kalukubula), S-09 (Dolo Kotarinau), S-10 (Kotapulu), S-11 (Baliase), S-14 (Tatura), S-15 (Lolu Selatan), S-16 (Besusu Barat), S-18 (Birobuli), S-22 (Birobuli Utara), S-27 (Kamoji) yang berpotensi mengalami penurunan tanah kurang dari 5 cm dan perpindahan lateral lebih dari 10 cm.

Potensi liquifaksi di daerah penyelidikan secara kualitatif maupun kuantitatif menunjukkan sebagian besar merupakan potensi yang tinggi dengan nilai indeks potensi liquifaksi (LPI) antara 5 hingga 15.

Liquifaksi akan menjadi masalah jika terjadi pada kawasan budidaya seperti area pemukiman, prasarana fisik dan industri. Masalah tersebut adalah efek penurunan dan perpindahan lateral tanah yang mengenai konstruksi bangunan fisik seperti tanah pondasi pada pemukiman, industri, jembatan dsb yang menurunkan tingkat kestabilannya.

Berdasarkan hasil tumpang susun antara peta tata guna lahan (BAPPEDA, 2011) dengan kontur nilai LPI. Area pemukiman yang perlu diperhatikan adalah permukiman yang dilewati oleh kontur nilai LPI lebih dari 5 sebagaimana terlihat pada gambar 4-8 di bawah ini



Gambar 4-8. Peta Zona Bahaya Liquifaksi

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari data lapangan dan hasil perhitungan yang diperoleh, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lapisan tanah daerah penyelidikan terdiri dari pasir di bagian atas, lanau di bagian tengah dan lempung di bagain bawah. Pasir berwarna abu-abu, lepas, pemilahan jelek, porositas baik, permeabilitas baik dengan ketebalan 1 – 7,2 m, lanau dijumpai di bawah pasir berwarna coklat – abu-abu, lunak – teguh, plastisitas sedang, dengan ketebalan 0,2 – 0,7 m, sedangkan lempung berwarna coklat – coklat tua, lunak – teguh, plastisitas tinggi dengan tebal bervariasi antara 0,1 – 2,7 m. Kedalaman muka air tanah berkisar antara 0,5 – 16 m di bawah muka tanah.
2. Dari peta muka air tanah dapat diketahui bahwa daerah penyelidikan yang mempunyai muka air tanah dangkal (< 12 m) dan berpotensi terhadap terdinya liquifaksi berada pada wilayah Ujuna, Besusu, Palupi, Sunju, Binangga, Sibeli, Langaleso, Kalukubula, Petobo dan Jonpoye.
3. Berdasarkan analissis kuantitatif, daerah yang berpotensi tinggi terhadap terjadinya liquifaksi adalah Kalukubula, Birobuli, Tatura, Sunju, Tatura, Lolu, Kawatuna, Lere, Birobuli Selatan.
4. Hasil perhitungan nilai daya dukung tanah di daerah penyelidikan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu daya dukung tanah sedang dan daya dukung tanah tinggi. Daerah yang mempunyai nilai daya dukung sedang (7,2 – 21,6 ton/m^2) berada pada Lolu, Birobuli, Kalukubula, Kotapulu, Baliase, Sunju, Bayaoge, Tatura, Besusu Barat, Tatura, Birobuli, Talise, Lolu, Birobuli Utara, Kawatuna, Kalukubula, Petobo, Kamoji, Lere, Tatura, Birobuli Selatan. Sedangkan daerah yang mempunyai nilai daya dukung tinggi (>21,6 ton/m^2) berada pada Kalukubula, Besusu, Talise, Tatura, Besusu Tengah, Dolo Kotarinau, Lolu Selatan, Tanamodindi, dan Lasoani.

5. Daerah penyelidikan sebagian besar memiliki potensi sangat tinggi terhadap liquifaksi, hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai indeks potensi likuifaksi (LPI) yang menunjukkan kisaran nilai > 15.

5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan adalah sebagai berikut :

1. Pondasi yang digunakan sebaiknya tidak diletakkan pada lapisan pasir, sehingga lebih aman terhadap perilaku liquifaksi.
2. Penataan ruang terhadap kawasan pemukiman, industri dan bangunan vital lainnya sebaiknya ditempatkan pada area yang memiliki indeks potensi likuifaksi (LPI) < 5.

DAFTAR PUSTAKA

ANONIM, 2010, Pengelolaan Kota dan Upaya Pengurangan Resiko Bencana di Kota Palu, BAPPENAS, Sumber Internet, diunduh November 2012.

ANONIM, 2011, Peta Tata Guna Lahan Kota Palu, BAPPEDA, Palu

Firmansyah, J. Dan Irsyam, M., 1999, Development of Seismic hazard map for Indonesia, Prosiding Konferensi nasional Rekayasa Kegempaan di Indonesia, ITB, Indonesia.

G.Zhang, P.K.Robertson, R.W.I. Brachman,2002,Estimating Liquefaction-induced Ground Settlements from CPT for Level Ground, Canada Geotech Journal 39 p.1168 – 1180

G.Zhang, P.K.Robertson, R.W.I. Brachman,2004,Estimating Liquefaction-induced Lateral Displacement Using the Standart Penetration Test or Cone Penetration Test, Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering,Vol.130,p.861 - 871.

George, P., 2008, LPI-based approach for calibrating the severity of liquefaction-induced failures and for assessing the probability of liquefaction surface evidence, Journal of Engineering Geology 96, Elseiver Publications, pp.94 – 104.

Hall, R. & Wilson, M.E.J., 2000, Neogene Sutures in Eastern Indonesia, Journal of Asian earth Sciences, 18, 781-808.

Harun, M., Turu, G., Malissa, Z., 2010, Mikrozonasi Seismic dan Analisis Respon Site Pasific Kota Palu, Smartek, Palu

Idriss, IM & Boulanger, RW, 2004, “Semi-Empirical Procedures For Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes, Proceedings of the 11th ICSDEE & 3rd ICEGE, pp 32 – 56.

Irsyam M, dkk., 2010, Peta Zonasi Gempa Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta

Iwasaki, T, 1986, Soil Liquefaction Studies in Japan : State of The Arts, Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Vol. 5 No.1, Computational Mechanics Publications.

Piya,B.K, 2004, “Generation of Geological database for the Liquefaction hazard assessment in Kathmandu valley” Thesis for degree of Master of Science in Earth Resources and Enviromental Geoscience,ITC, Netherlands.

Sriyati, 2010, Kondisi Seismisitas dan dampaknya untuk Kota Palu, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Palu.