

**EVALUASI GEOLOGI TEKNIK PENYEBAB LIKUIFAKSI DAERAH
BALAROA DAN PETOBO PASCA GEMPA KOTA PALU PROVINSI
SULAWESI TENGAH**

*ENGINEERING GEOLOGY EVALUATION FOR CAUSES OF LIQUEFACTION
PETOBO AND BALAROA AREA POST PALU EARTHQUAKE CENTRAL
SULAWESI PROVINCE*

R A M L I



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020

**EVALUASI GEOLOGI TEKNIK PENYEBAB LIKUIFAKSI DAERAH
PETOBO DAN BALAROA PASCA GEMPA KOTA PALU PROVINSI
SULAWESI TENGAH**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi Magister Teknik Geologi
Universitas Hasanuddin

Disusun dan diajukan oleh

R A M L I
D062171009

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

TESIS

**EVALUASI GEOLOGI TEKNIK PENYEBAB LIKUIFAKSI DAERAH
PETOBO DAN BALAROA PASCA GEMPA KOTA PALU PROVINSI
SULAWESI TENGAH**

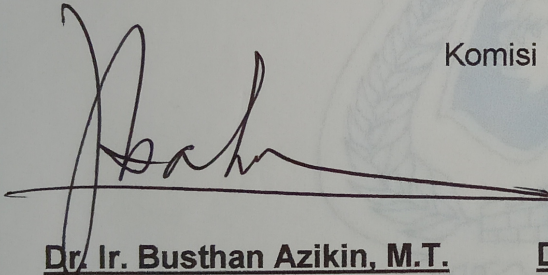
Disusun dan diajukan oleh

**RAMLI
Nomor Pokok D062171009**

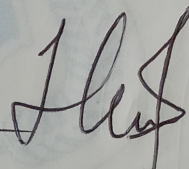
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal, 02 Januari 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

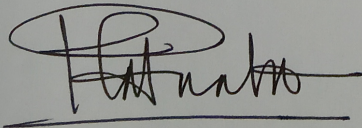


Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.
Ketua



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.
Anggota

Ketua Program Studi
Magister Teknik Geologi
Universitas Hasanuddin,



Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, M.T

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,



Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha., M.T

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di awah ini

Nama : R A M L I
Nomor Mahasiswa : D062171009
Program Studi : Teknik Geologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, Januari 2020

Yang Menyatakan

R A M L I

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga tesis dengan judul **“Evaluasi Geologi Teknik Penyebab Likuifaksi Daerah Petobo dan Balaroa Pasca Gempa Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah”** dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada Dr. Ir. Busthan Azikin, MT. sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Eng. Hendra Pachri, ST. M. Eng. sebagai Pembimbing Pendamping atas segala curahan ilmu, saran pemikiran, waktu, motivasi dan nasehatnya. Penulis juga mengucapkan rasa hormat dan terimakasih kepada Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, MT., Dr.Eng. Asri Jaya HS, ST., M.T. dan Dr. Adi Tonggiroh, ST. MT. sebagai dosen pembimbing atas segala saran pemikiran dan nasehatnya sehingga **“Tesis”** ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. Ir. Hj. Ratna Husain L, MT. sebagai Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi dan Dr.Eng. Asri Jaya HS, ST., M.T sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan bimbingannya, Staf Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada *JICA Project Team* dan PT. Indra Karya atas kerjasama dan dukungannya dalam terlaksananya penelitian ini. Salam cinta dan kasih kepada Orang Tua Mama Tuo, Istri Ns. Suriyanti Syarifuddin, S.Kep., M.Kep. dan kedua putra penulis Abrar Tenritatta Pratama Ramli dan Gibran Tenribali Diandra Ramli, atas segala doa dan

dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama menjalani pendidikan dan penelitian, serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, atas segala bantuan dan motivasi yang diberikan selama ini.

Akhir kata, semoga penyusunan tesis ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya bagi penulis, Amin.

Gowa, Januari 2020
Penulis,

R A M L I
NIM. D062171009

ABSTRAK

RAMLI. *Evaluasi Geologi Teknik Penyebab Likuifaksi Daerah Petobo dan Balaroa Pasca Gempa Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah* (dibimbing oleh Busthan Azikin dan Hendra Pachri).

Gempa bumi dengan kekuatan 7.5 Mw (Magnitudo), yang terjadi pada tanggal 28 september 2018 di daerah Donggala dan Palu Provinsi Sulawesi Tengah, memicu munculnya beberapa fenomena bencana alam lainnya yaitu tsunami dan likuifaksi. Likuifaksi yang terjadi di beberapa tempat di Daerah Palu sudah pernah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Mineral pada tahun 2012. Penelitian tersebut memetakan tingkat kerentanan potensi terjadinya likuifaksi di Daerah Palu. Hal demikian menjadi hipotesis dalam penelitian ini untuk melakukan evaluasi kondisi geologi teknik bawah permukaan penyebab terjadinya likuifaksi daerah Balaroa dan Petobo Kota Palu.

Pengeboran geologi teknik dilakukan sebanyak lima titik setiap lokasi daerah penelitian. Hasil pengeboran menggambarkan profil litologi bawah permukaan dan nilai N-SPT setiap perlapisan litologi yang merupakan bagian dari tahapan evaluasi faktor keamanan potensi likuifaksi.

Pengeboran yang dilakukan pada daerah yang mengalami likuifaksi menggambarkan profil litologi bawah permukaan yang di susun oleh jenis litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pengujian geologi teknik menghasilkan nilai N-SPT 1 - 14 dengan faktor keamanan kritis hingga berpotensi terjadi likuifaksi dengan ketebalan material 14 meter. Kedalaman air tanah daerah penelitian yang mengalami likuifaksi adalah 8 meter. Daerah Balaroa dan Petobo berada dalam pengaruh sesar aktif yaitu sesar Palu Koro dan sesar datar lainnya. Analisis dari data *United States Geological Survey* (USGS) bahwa daerah Balaroa dipengaruhi oleh gempa bumi bagian utara yang berada di jalur sesar Palu Koro dan Daerah Petobo dipengaruhi oleh gempa bumi bagian selatan Daerah Palu.

Kata Kunci : Likuifaksi, N-SPT, Faktor Keamanan, Geologi Teknik, Balaroa dan Petobo.

ABSTRACT

RAMLII. Engineering Geology Evaluation for Causes of Liquefaction Petobo and Balaroa Area Post Palu Earthquake Central Sulawesi Province (supervised by Busthan Azikin and Hendra Pachri)

An earthquake with a magnitude of 7.5 MW (Magnitude), which occurred on 28 September 2018 in the Donggala and Palu regions of Central Sulawesi Province, triggered the emergence of several other natural disaster phenomena, namely tsunami and liquefaction. The liquefaction that took place in several places in the Palu area had been published by the Geological Agency of the Ministry of Energy and Mineral Resources in 2012. The study mapped the potential vulnerability of liquefaction in the Palu area. This is the hypothesis in this study to evaluate the geological conditions of the subsurface technique that caused the liquefaction of the Balaroa and Petobo areas in Palu City.

Geological drilling techniques are carried out as many as five points each location of the study area. The drilling results will illustrate the subsurface lithology profile and the N-SPT value for each lithology layer which is part of the evaluation phase of a potential liquefaction safety factor.

Drilling carried out in areas experiencing liquefaction illustrates the subsurface lithology profile compiled by the type of lithology of gravel sand, sand and silt. Engineering geology testing results in N-SPT 1 - 14 values with critical safety factors to potentially cause liquefaction with a material thickness of 14 meters. The groundwater depth of the study area experiencing liquefaction was 8 meters. Balaroa and Petobo areas are under the influence of active faults namely the Palu Koro fault and other strike slip. Analysis from United States Geological Survey (USGS) data shows that the Balaroa area was affected by the northern part of the earthquake in the Palu Koro fault line and the Petobo area was affected by the southern part of the Palu Region.

Keywords: Liquefaction, N-SPT, Engineering Geological, Safety Factor, Balaroa and Petobo..

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRAK</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	6
G. Peneliti Terdahulu	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Geologi Regional	8
B. Geomorfologi	11
C. Statigrafi	14
D. Struktur Geologi Daerah Penelitian	16
E. Gempa Bumi	18
F. Hidrologi	22
G. Penelitian Potensi Likuifaksi	27
H. Teori Dasar	29

a. Teori Likuifaksi	29
b. Jenis Pembebanan yang Menyebabkan Likuifaksi	33
c. Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Likuifaksi	33
d. Mekanisme Terjadinya Likuifaksi	34
e. Evaluasi Potensial Likuifaksi	36
BAB III. METODE PENELITIAN	42
A. Lokasi dan Kesampaian Daerah	42
B. Alat dan Bahan	44
C. Tahapan Pengumpulan Data	45
D. Tahap Pengolahan dan Analisis Data	49
E. Penyusunan Tesis	54
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Analisis Litologi	57
B. Analisis Hidrologi	103
C. Analisis Struktur Geologi	109
D. Analisa Seismisitas	115
BAB V. PENUTUP	120
A. Kesimpulan	120
B. Rekomendasi	124
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

nomor		Halaman
1	Daftar Peneliti-Peneliti Terdahulu	6
2	Peta kemiringan lereng dan Pola aliran Sungai.	11
3	Klasifikasi kemiringan lereng berdasarkan Van Zuidam,1985.	13
4	Sesar Aktif di Sulawesi Tengah yang Terangkum Dalam Peta Gempa Nasional 2017.	17
5	Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia	38
6	Nilai faktor koreksi untuk nilai (N1)60	39
7	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-01 Daerah Balaroa	61
8	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-02 Daerah Balaroa	64
9	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-03 Daerah Balaroa	67
10	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-04 Daerah Balaroa	70
11	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-05 Daerah Balaroa	73
12	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-01 Daerah Petobo	84
13	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-02 Daerah Petobo	87
14	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-03 Daerah Petobo	90
15	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-04 Daerah Petobo	93
16	Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-05 Daerah	96

	Petobo	
17	Kedalaman muka air tanah daerah palu dan sekitarnya	108
18	Lokasi pengukuran pergeseran mengiri (<i>sinistral offset</i>) akibat gempabumi tanggal 28 September 2018.	110
19	Data Seimisisitas Gempa Bumi Palu 28 September 2018(USGS, 2018).	118

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1	Peta Geologi dan Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi Sulawesi (Hall and Wilson, 2000).	2
2	Lokasi likuifaksi di Daerah Palu (Balaroo, Petobo dan Jono Oge) Sulawesi Tengah 2018 (<i>Landsat 8, Dokumentasi NASA ,2 Oktober 2018</i>).	3
3	Peta Geologi Daerah Palu dan Sekitarnya Provinsi Sulawesi Tengah (Rab. Sukanto 1973).	10
4	Peta kemiringan lereng dan Pola aliran Sungai.	12
5	Tatanan Stratigrafi Sulawesi (dimodifikasi oleh Hall, 2000).	15
6	Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Daryono, 2016) dalam (Laporan Pusat Studi Gempa, 2017)	16
7	Peta Sesar Aktif Di Sulawesi Bagian Tengah yang Terangkum dalam Peta Gempa Nasional 2017.	17
8	Seismisitas dari katalog PuSGeN 2017 di Sulawesi untuk gempa dengan magnitudo $\geq 4,5$.	19
9	Peta episenter berdasarkan hasil HypoDD dengan data korelasi silang di sekitar sesar Palukoro.	20
10	Peta Hidrogeologi di cekungan Air Tanah Palu (Zeffitni, 2013).	26
11	Peta Zona Bahaya Likuifaksi (Risna Widyaningrum, 2012).	28
12	Proses terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi (Risna Widyaningrum, 2012).	30
13	Diagram perkembangan mikrozonasi sesismik (Kaneko dkk., 2008 dalam Muntohar, 2010).	31
14	Pengaruh tekanan kontak dan tekanan air pori terhadap penurunan (Yoshimi dan Tokimatsu, 1977).	32

15	Peta Lokasi penelitian.	43
16	Alat dan kelengkapan pengambilan data lapangan.	45
17	Diagram Alur Penelitian	54
18	Litologi Permukaan daerah Balaroa berupa kerikil pasiran	57
19	Litologi permukaan daerah Balaroa berupa pasir halus lepas	58
20	Peta Titik Pengeboran Geologi Teknik Daerah Balaroa (Data bersama oleh Tim JICA, 2018).	59
21	Log bor Ttitik Pengeboran B-01 daerah Balaroa.	62
22	Log bor titik pengeboran B-02 daerah Balaroa	65
23	Log bor titik pengeboran B-03 daerah Balaroa	68
24	Log bor titik pengeboran B-04 daerah Balaroa	71
25	Log bor titik pengeboran B-05 daerah Balaroa	74
26	Penampang Sayatan Titik Bor B-01 & B-05 daerah Balaroa.	77
27	Penampang Sayatan titik Bor B-01, B-01, B-02 & B-05 daerah Balaroa	77
28	Pemodelan tiga dimensi (3D) korelasi antara litologi bawah permukaan Daerah Balaroa.	79
29	Litologi Permukaan Daerah Petobo Berupa lanau dan pasir halus	80
30	Litologi Permukaan Daerah Petobo Berupa pasir dan kerikil	81
31	Peta Titik Pengeboran Geologi Teknik Daerah Petobo (Data bersama oleh Tim JICA, 2018).	82
32	Log bor titik pengeboran P-01 daerah Petobo	85
33	Log bor titik pengeboran P-02 daerah Petobo	88
34	Log bor titik pengeboran P-03 daerah Petobo	91
35	Log bor titik pengeboran P-04 daerah Petobo	94
36	Log bor titik pengeboran P-05 daerah Petobo	97
37	Penampang sayatan titik Bor P-01, P-02 & P-03 daerah Petobo	100
38	Penampang sayatan titik Bor P-02, P-04 & P-05 daerah Petobo	100

39	Pemodelan tiga dimensi (3D) korelasi antara litologi bawah permukaan daerah Petobo	102
40	Kondisi kedalaman air tanah daerah Balaroo	104
41	Kondisi kedalaman air tanah daerah Balaroo	105
42	Peta Hidrogeologi Daerah Palu dan Sekitarnya	106
43	Peta kadalaman air tanah dari permukaan tanah daerah Palu dan Sekitarnya	107
44	Patahan (<i>surface rupture</i>) yang berada di Jl. Cemara Indah.	111
45	Peta struktur geologi daerah Palu dan sekitarnya	113
46	Peta interpretasi geologi struktur penyebab likuifaksi daerah Palu dan sekitarnya	114
47	Peta Seismisitas daerah Palu dan sekitarnya pertanggal 28 September 2018	116
48	Peta tingkat intensitas pengaruh gempa terhadap daerah sekitarnya	117
49	Grafik Seismisitas Daerah Donggala_Palu (USGS, 2018)	118

BAB I

PENDAHULUAN

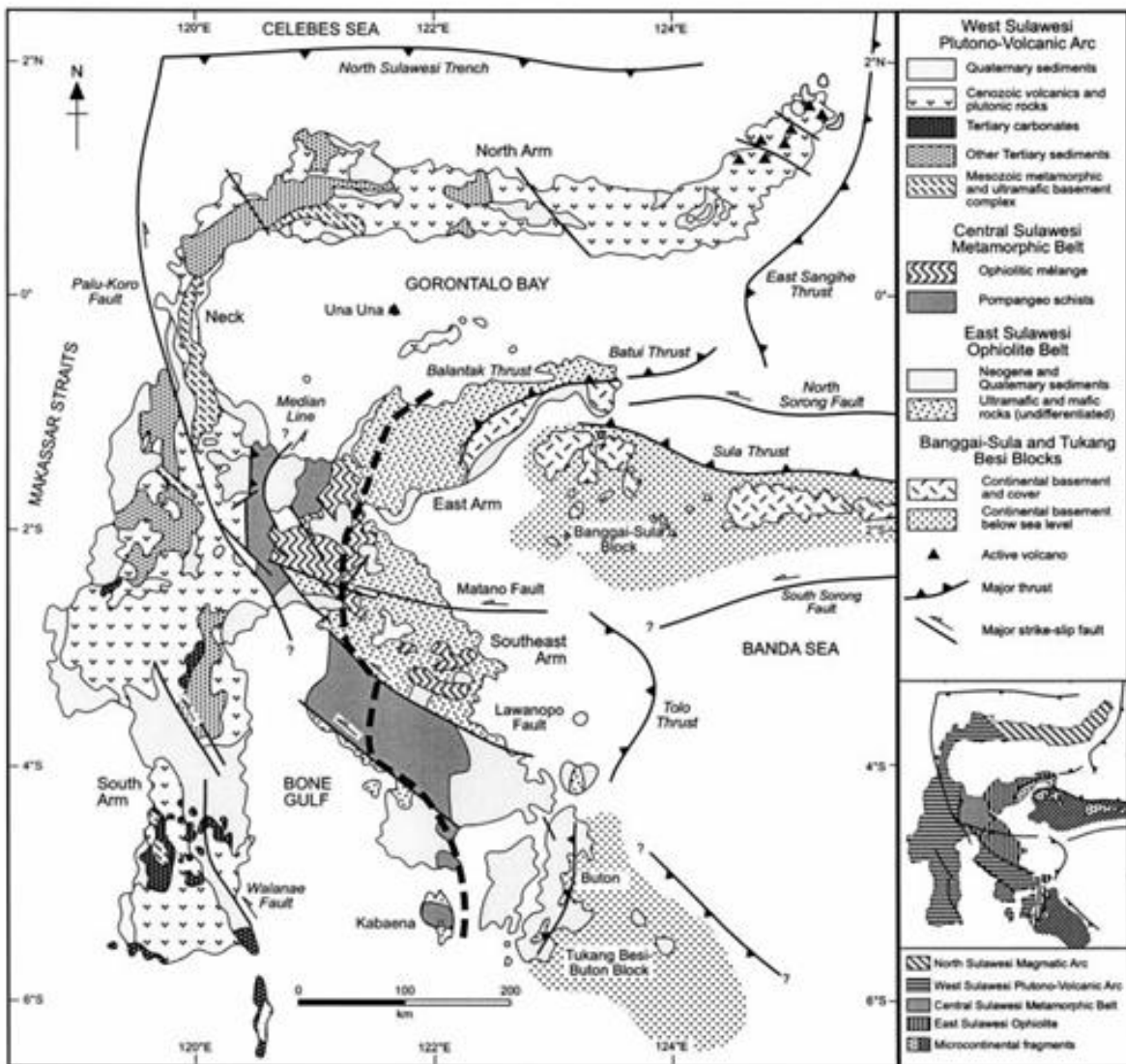
A. Latar Belakang

Daerah Palu merupakan mandala barat bagian utara pulau Sulawesi yang dikontrol oleh pengaruh tiga pertemuan lempeng tektonik utama dunia, antaranya Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Ketiga lempeng tersebut terus berinteraksi membentuk jalur subduksi (penunjaman), sehingga dalam kondisi tertentu lempeng tersebut akan bertubrukan satu sama lain dan melepaskan energi yang menimbulkan getaran yang tinggi, memicu terjadinya gempa bumi.

Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat memicu munculnya bencana alam lainnya, dampak getaran yang merupakan manifestasi dari gempa bumi dapat menyebabkan terjadinya tsunami, likuifaksi maupun tanah longsor. Hal demikian bencana alam gempa bumi bukan hal yang baru lagi terjadi di kepulauan Indonesia, hampir diseluruh daerah di Indonesia telah mengalami dan berpotensi terjadi gempa bumi. Peristiwa gempa bumi yang baru saja terjadi di Palu-Donggala-Sigi Provinsi Sulawesi Tengah menjadi perhatian penuh dari para kalangan pemerintah maupun dari kalangan Ilmuan dalam mengantisipasi dampak daripada gempa bumi.

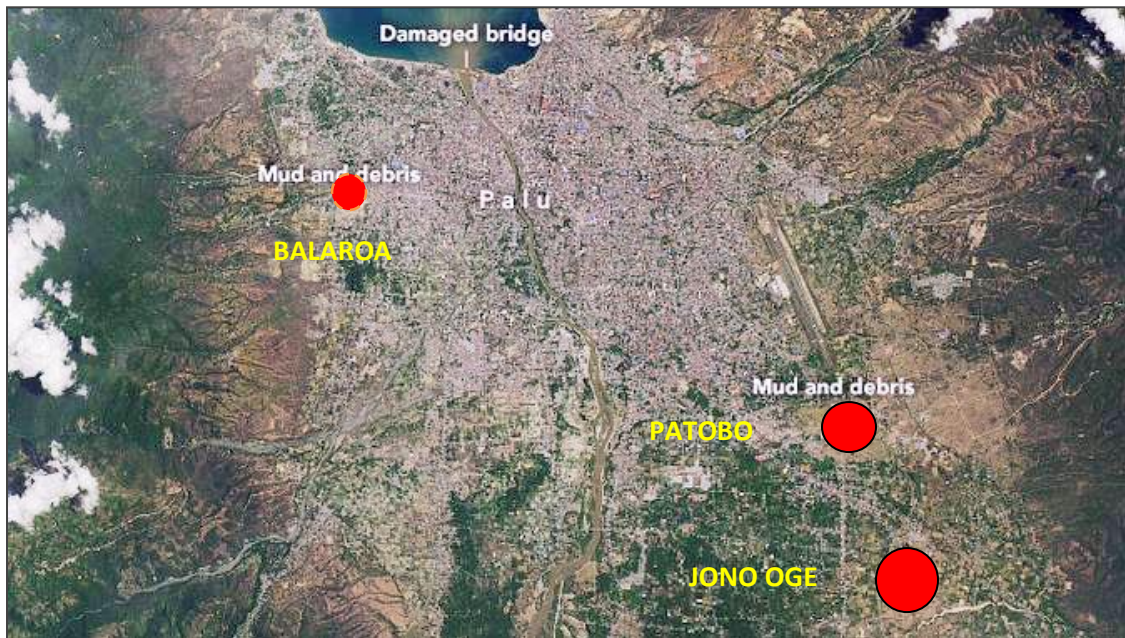
Fenomena Gempa Bumi Kota Palu dan sekitarnya yang terjadi **pada tanggal 28 September 2018 dengan kekuatan 7,5 magnitudo** (USGS) menjadi fokus besar terhadap berbagai bencana alam yang terjadi yakni tsunami dan likuifaksi. Likuifaksi merupakan bencana alam yang kerap terjadi karena pengaruh getaran gempa bumi.

Fenomena likuifaksi akibat gempa bumi merupakan peristiwa hilangnya kekuatan lapisan pasir lepas akibat kenaikan tekanan air pori karena menerima getaran gempa bumi. Dengan demikian, peristiwa likuifaksi akan terjadi di daerah rawan gempa bumi besar yang tersusun oleh endapan pasir jenuh air dengan kepadatan rendah, dan di daerah dengan pergerakan permukaan seismisitas melebihi nilai batas ambangnya (Seed & Idriss,1971).



Gambar 1. Peta Geologi dan Tatanan Tektonik Pulau Sulawesi (Hall and Wilson, 2000).

Ada beberapa titik lokasi terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi pada tanggal 28 september 2018 dengan kekuatan 7,5 magnitudo, yakni daerah Balaroa, Petobo dan sekitarnya yang merupakan daerah pemukiman yang padat penduduk. Telah dipastikan bahwa telah menelan ribuan korban jiwa dan kawasan perumahan penduduk.



Gambar 2. Lokasi likuifaksi di Daerah Palu (Balaroa, Petobo dan Jono Oge) Sulawesi Tengah 2018 (*Landsat 8, Dokumentasi NASA ,2 Oktober 2018*).

Berdasarkan studi investigasi geologi teknik yang telah dilakukan oleh Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2012, dengan menggunakan metode kuantitatif indeks potensi likuifaksi yang mengacu pada formula Iwasaki, 1986 yang menyatakan likuifkasi akan terjadi pada kedalaman 20 m, dibawah permukaan tanah. Dari hasil penelitian tersebut muncul suatu hipotesis bagaimana karakteristik litologi bawah permukaan yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada saat terjadi gempa dengan skala 7,5 Magnitudo. Kejadian

tersebut membangun analisis yang menghubungkan dengan kondisi hidrologi, pola struktur geologi dan tingkat intensitas seismisitas pada daerah penelitian yang mengalami likuifaksi di beberapa titik lokasi saja. Kejadian likuifaksi tersebut menarik menjadi pemikiran untuk melakukan suatu evaluasi faktor apa saja yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi di beberapa titik lokasi penelitian. Diharapkan penelitian ini akan memberikan referensi dan rujukan tentang gambaran potensi likuifaksi berdasarkan kajian investigasi geologi teknik di lapangan maupun analisis studi geologi.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis geologi teknik terhadap litologi penyebab terjadinya likuifaksi Daerah Balaroa dan Petobo.
2. Bagaimana faktor keamanan daerah yang telah mengalami likuifaksi dan daerah yang tidak mengalami likuifaksi dengan menggunakan skenario getaran gempa 7,5 Mw.
3. Bagaimana perbedaan model korelasi karakteristik daerah yang telah mengalami likuifaksi dan daerah yang tidak terjadi likuifaksi.
4. Bagaimana hubungan faktor geologi lainnya yang mengontrol terjadinya likuifaksi pada Daerah Balaroa dan Petobo.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis secara geologi teknik terhadap jenis litologi penyebab likuifaksi Daerah Petobo dan Balaroa.
2. Mengevaluasi nilai faktor keamanan daerah yang telah mengalami likuifaksi dan daerah yang tidak terjadi likuifaksi dengan menggunakan skenario getaran gempa 7,5 Mw.
3. Mengkorelasikan karakteristik daerah yang telah mengalami likuifaksi dan daerah yang tidak mengalami likuifaksi.
4. Menganalisis hubungan faktor geologi lainnya yang mengontrol terjadinya likuifaksi pada Daerah Balaroa dan Petobo.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Merupakan evaluasi secara cepat (*Rapid Visual Screening*) penataan kondisi pemukiman kota palu dan sekitarnya untuk menilai kerentanannya terhadap potensi likuifaksi.
2. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi kepada pemerintah setempat dalam perencanaan mitigasi bencana alam di Kota Palu dan sekitarnya.
3. Sebagai referensi dalam penelitian potensi terjadinya likuifaksi di daerah lain yang rawan terjadi gempa bumi.

E. Batasan Masalah

Penelitian ini fokus pada evaluasi geologi teknik penyebab terjadinya likuifaksi berdasarkan faktor keamanan jenis litologi dan hubungannya dengan kondisi hidrologi, pengaruh pola struktur geologi dan seismisitas.

F. Peneliti Terdahulu

Dalam penelitian ini ada beberapa referensi dari peneliti terdahulu yang berhubungan dengan likuifaksi yang pernah terjadi dan terindikasi berpotensi likuifaksi, di beberapa daerah di kepulauan Indonesia dan di beberapa Negara lain yang rawan dengan gempa bumi.

Tabel 1. Peneliti Terdahulu

No	Nama peneliti	Judul Penelitian	Tahun
1.	M.J. Bennett, P.V. McLaughlin, J.S. Sarmiento & T.L. Youd	<i>“Geotechnical investigation of liquefaction sites, Imperial Valley, California”</i>	1984
2.	Agus Setyo Muntohar,	“Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi”	2010
3.	Risna Widya Ningrum & Taufik Wira Buana	“Studi Bahaya Likuifaksi Palu Berdasarkan data Geologi Teknik”	2012
4.	Lindung Zalbuin Mase & Andri Krisnandi Somantri	“ Analisis Potensi Likuifaksi di Kelurahan Lempuing Kota Bengkulu Menggunakan Percepatan Maksimum Kritis”	2012
5.	Fatmawati Amir	“Evaluasi Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi dengan <i>Rapid Visual Screening (Rvs)</i> Berdasarkan Fema 154”	2012

6.	Reza P. Munirwa & Hendra Gunawan	“Evaluasi Potensial Likui-faksi Pesisir Pantai Krueng Raya Aceh Besar Provinsi Aceh”	2012
No	Nama peneliti	Judul Penelitian	Tahun
7.	Susumu Yasuda, Kenji Harada, Keisuke Ishikawa & Yoshiki Kanemaru.	“ <i>Characteristics of liquefaction in Tokyo Bay area by the 2011 Great East Japan Earthquake</i> ”	2012
8.	Abdul Hakam & Helmy Darjanto	“Penelusuran Potensi Likui-faksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar”	2013
9.	Christian Vicky Delfis Lonteng S. Balamba, S. Monintja & A. N. Sarajar	“Analisis Potensi Likui-faksi di PP. PLN (Persero) UIP Kit Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 Mw Power Plan”	2013
10.	Eko Soebowo ¹ , Adrin Tohari ¹ , Dwi Sarah ¹ , dan Khori Sugianti ¹	“Identifikasi Potensi Likui-faksi Akibat Gempa Bumi di Daerah Sumatera, Jawa Dan Bali”	2014
11.	Adrin Tohari, Khori Sugianti, Arifan Jaya Syahbana & Eko Soebowo.	“ Kerentanan Likui-faksi Wilayah Kota Banda Aceh Berdasarkan Metode Uji Penetrasi Konus”	2015

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian geologi dilakukan atas dasar peninjauan lapangan dan studi laporan terdahulu. Interpretasi geologi wilayah penelitian menggunakan peta geologi skala 1 : 250.000, analisis terhadap peta rupabumi dan pengamatan di lapangan. Adapun peta-peta geologi sebagai dasar dalam penelitian ini adalah Peta Geologi Lembar Palu (Sukanto, 1973) dan Peta Geologi para peneliti terdahulu, peta tersebut masing-masing berskala 1 : 250.000 dan peta yang lainya lagi tergantung kebutuhan dalam penelitian. Adapun peta rupabumi yang digunakan untuk pendataan spasial adalah peta-peta rupabumi yang didalamnya mencakup keseluruhan wilayah dalam Kota Palu. Peta-peta tersebut berskala 1 : 50.000 yang diterbitkan oleh (BAKOSURTANAL, 1991 dan 1992).

Berdasarkan pendataan atas referensi-referensi diatas serta ditunjang oleh hasil pengamatan lapangan maka kondisi geologi wilayah penelitian secara umum dapat digambarkan sebagai berikut.

A. Geologi Regional

Berdasarkan peta geologi tinjau lembar Palu Sulawesi oleh Sukanto, (1973) bahwa daerah penelitian terdiri dari empat formasi batuan, antara lain formasi Kompleks Batuan Metamorf, Formasi Tinombo, Formasi Molase Sarasin & Sarasin, dan Formasi Aluvium dan Endapan Pantai.

a. Kompleks Batuan Metamorf

Batuan ini terdapat di sekitar perbatasan timur Kota Palu dengan Kabupaten Parimo, umumnya bersusunan sekis dan sebagian kecil genes. Batuan sekis pada umumnya terkekarkan dengan tingkat pelapukan permukaan yang lebih intensif dibanding batuan genes. Batuan lain penyusun formasi ini adalah kuarsit dan pualam. Umur formasi adalah Pra Tersier.

b. Formasi Tinombo

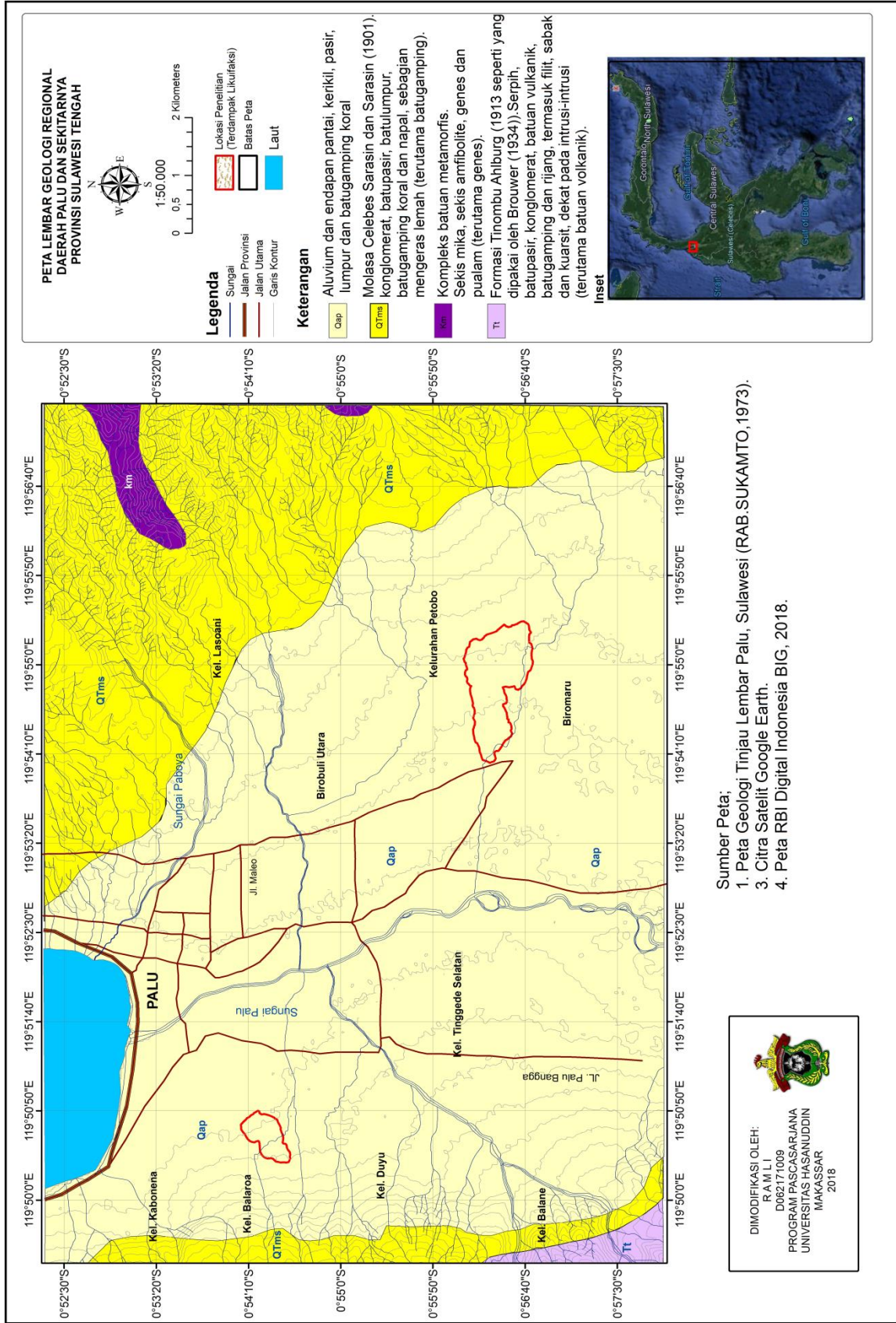
Formasi ini disusun oleh lithologi berupa serpih, batupasir, batu lanau, konglomerat, batuan vulkanik, batugamping dan rijang, termasuk pula filit, batusabak dan kuarsit. Formasi ini terdapat di wilayah Palu bagian barat. ini terdapat di Lolioge yang selanjutnya menerus ke wilayah Kab. Donggala. Umur batuan diperkirakan menjemari dengan Formasi Tinombo, yaitu pada kala Eosen.

c. Formasi Molase Sarasin dan Sarasin

Formasi ini terdiri dari konglomerat, batupasir, batulanau dan batulempung. penyebarannya yang cukup luas adalah dibagian utara, timur, selatan dan barat. Batuan ini merupakan penyusun utama material di wilayah pinggiran Kota Palu. Sifat perlapisan pada batuan ini sangat buruk sampai dengan tidak nampak perlapisannya.

d. Aluvium dan Endapan Pantai

Material ini merupakan penyusun utama wilayah lembah Palu. Komposisi material penyusun berupa pasir, lanau, kerikil dan kerakal dengan komposisi/prosentasi ukuran material yang tidak seragam antara tempat satu dengan lainnya.



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Balaroa dan Petobo Kota Palu Provinsi Sulawesi Tengah (Sukamto, 1973).

Formasi dan satuan litologi wilayah penelitian dirangkum dan ditabulasikan dalam Tabel dibawah ini.

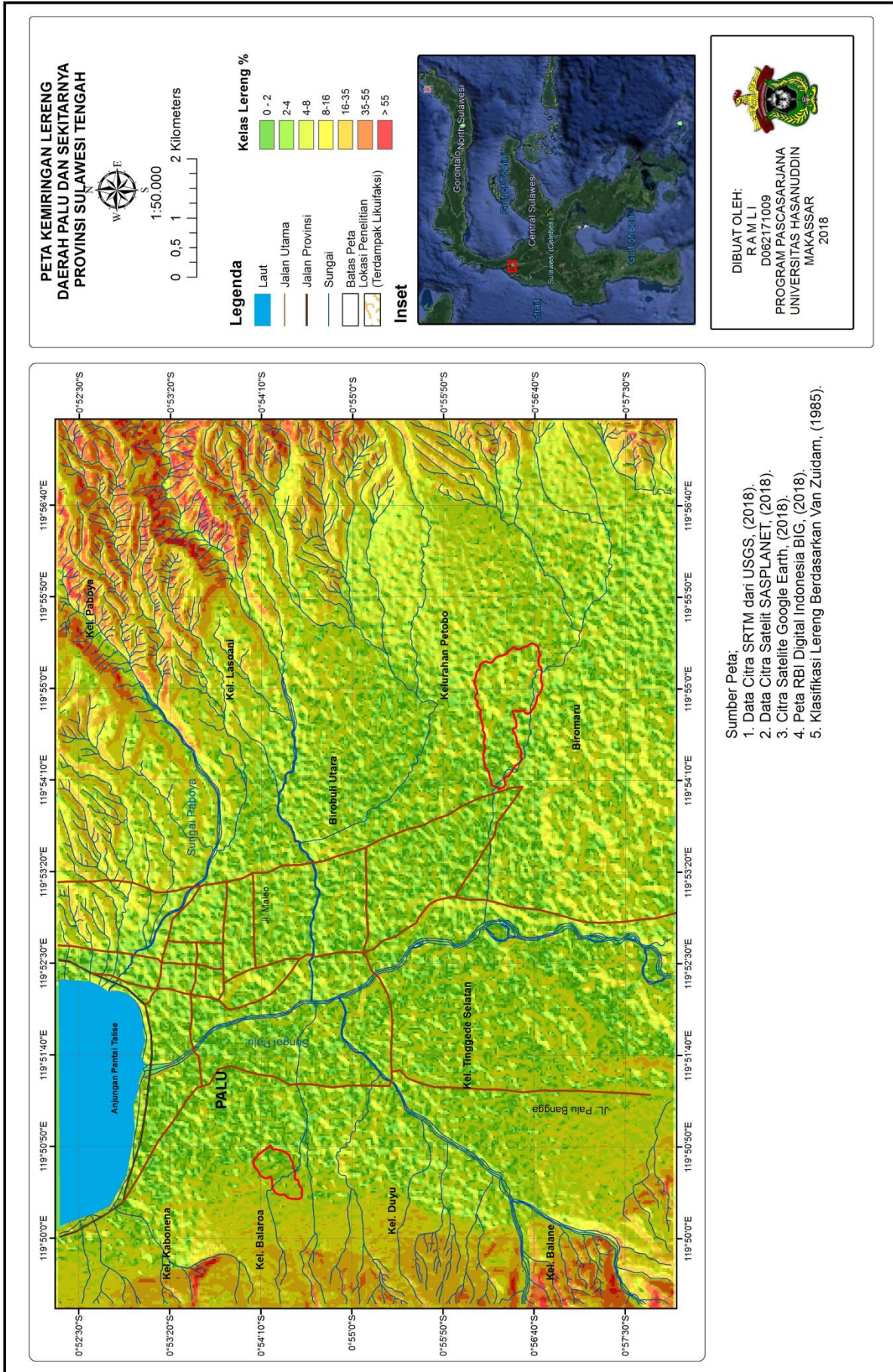
Tabel 2. Formasi batuan di wilayah daerah Palu & Sekitarnya

No.	Umur	Formasi	Litologi
1	Holosen	Aluvium & Endapan Pantai.	Kerikil, Pasir, Lempung dan Batugamping koral.
2	Pliosen-Pleistosen	Formasi Molase Celebes Serasin & Serasin	Konglomerat, Batupasir, Batulumpur, Napal, Batugamping koral, sebagian telah mengeras lemah pada batugamping.
3	Eosen-Oligosen	Formasi Tinombo	serpih, batupasir, batu lanau, konglomerat, batuan vulkanik, batugamping dan rijang, termasuk pula filit, batusabak dan kuarsit.
4	Mesozoikum	Kompleks Metamorf	Sekis mika, sekis ampibolit, genes dan pualam.

Sumber: Sukanto (1973).

B. Geomorfologi

Wilayah Kota Palu dicirikan oleh bentuk utama berupa lembah dimana pusat Kota terletak di bagian tengah dari lembah tersebut. Letak ini pula yang berpengaruh terhadap sebaran populasi yang relatif memusat di bagian tengah lembah. Orientasi lembah ini mengikuti arah utama jalur pegunungan di kedua sisinya, yaitu berarah relatif utara-selatan.



Gambar 4. Peta kemiringan lereng dan Pola aliran Sungai.

Secara geologis, orientasi morfologi ini berhubungan dengan proses struktur yang terjadi serta jenis batuan yang menyusun Kota Palu, dimana sisi kiri dan kanan Kota Palu merupakan zona patahan utama, yaitu patahan Palu-Koro serta wilayahnya disusun oleh batuan yang lebih keras dibanding material penyusun bagian lembah. Pembagian klasifikasi kemiringan lereng daerah Palu berdasarkan klasifikasi Van Zuidam, (1985). Dibagi atas enam kelas kemiringan yang tampak yaitu; datar, sedikit miring, miring, agak curam, curam, dan sangat curam. Bagian tengah Kota Palu memiliki morfologi hampir sebagian besar wilayahnya dengan kemiringan lereng datar hingga agak miring, kemudian bagian barat dan timur kota Palu memiliki kemiringan lereng agak curam hingga sangat curam. Ini suatu proses alam yang sangat kompleks membentuk satuan geomorfologi yakni satuan geomorfologi pedataran sangat landai, satuan geomorfologi landai, satuan geomorfologi agak curam.

Tabel 3. Klasifikasi kemiringan lereng berdasarkan Van Zuidam, (1985).

Kelas Lereng	Kelas Lereng Proses penciri dan kondisi lapangan
0 ⁰ -2 ⁰ (0%-2%)	Datar (flat) atau hampir datar, dengan proses denudasional yang tidak cukup besar dan pengikisan permukaan yang tidak intensif dibawah kondisi kering
2 ⁰ -4 ⁰ (2%-7%)	Sedikit miring (gently slope), dengan pergerakan massa berkecepatan rendah dari berbagai proses periglacial, solifluction dan fluvial.
4 ⁰ -8 ⁰ (7%-15%)	Miring (sloping), memiliki kondisi yang hampir sama dengan gently slope, namun lebih mudah mengalami pengikisan permukaan, dengan erosi permukaan yang intensif.

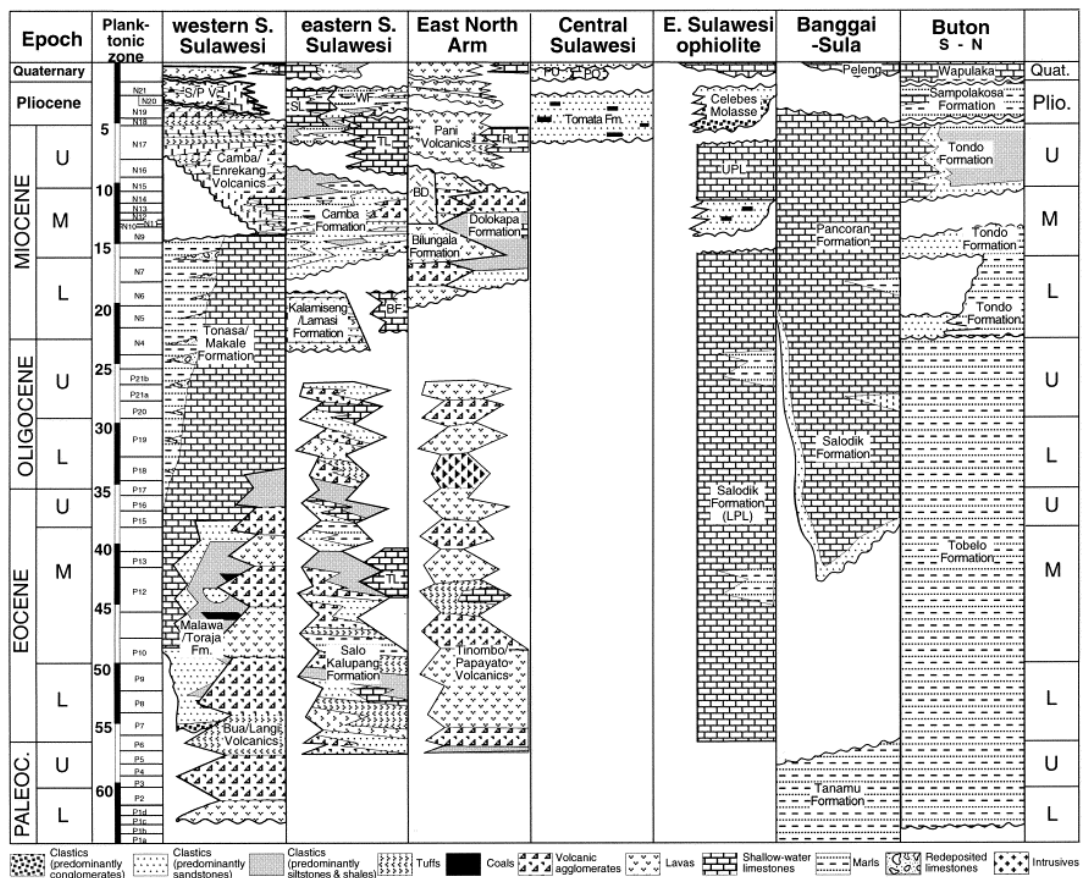
Kelas Lereng	Kelas Lereng Proses penciri dan kondisi lapangan
8 ⁰ -16 ⁰ (15%-30%)	Agak curam (moderately steep), semua jenis pergerakan massa terjadi, terutama periglacial-solifluction, rayapan, pengikisan dan adakalanya landslide.
16 ⁰ -35 ⁰ (30%-70%)	Curam (steep), proses denudasional dari semua jenis terjadi secara intensif (erosi, rayapan, pergerakan lereng).
35 ⁰ -55 ⁰ (70%-140%)	Sangat curam (very steep), proses denudasional terjadi secara intensif.
>55 ⁰ (>140%)	Curam ekstrem (extremely steep), proses denudasional sangat kuat, terutama “wall denudational”

Secara umum pola aliran sungai yang terbentuk di Kota Palu adalah pola aliran sungai dendritik, dimana dicirikan oleh adanya pola yang tidak beraturan, hal ini menjadi pula salah satu karakteristik dari wilayah yang disusun oleh material sama. Dalam hal ini, material penyusun berupa aluvial serta konglomerat. Sungai Palu yang merupakan induk atau tempat bermuaranya sungai-sungai yang ada di wilayah lembah menempati bagian tengah wilayah Kota Palu.

C. Stratigrafi

Secara keseluruhan tatanan stratigrafi kota Palu disusun oleh tiga kelompok batuan yaitu : kelompok batuan Pra-Tersier, kelompok batuan Tersier dan Kelompok batuan Kwartir (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 Kuartar yaitu yang terdiri dari beberapa endapan, yaitu : endapan rombakan, endapan sungai, endapan limbah 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 5).



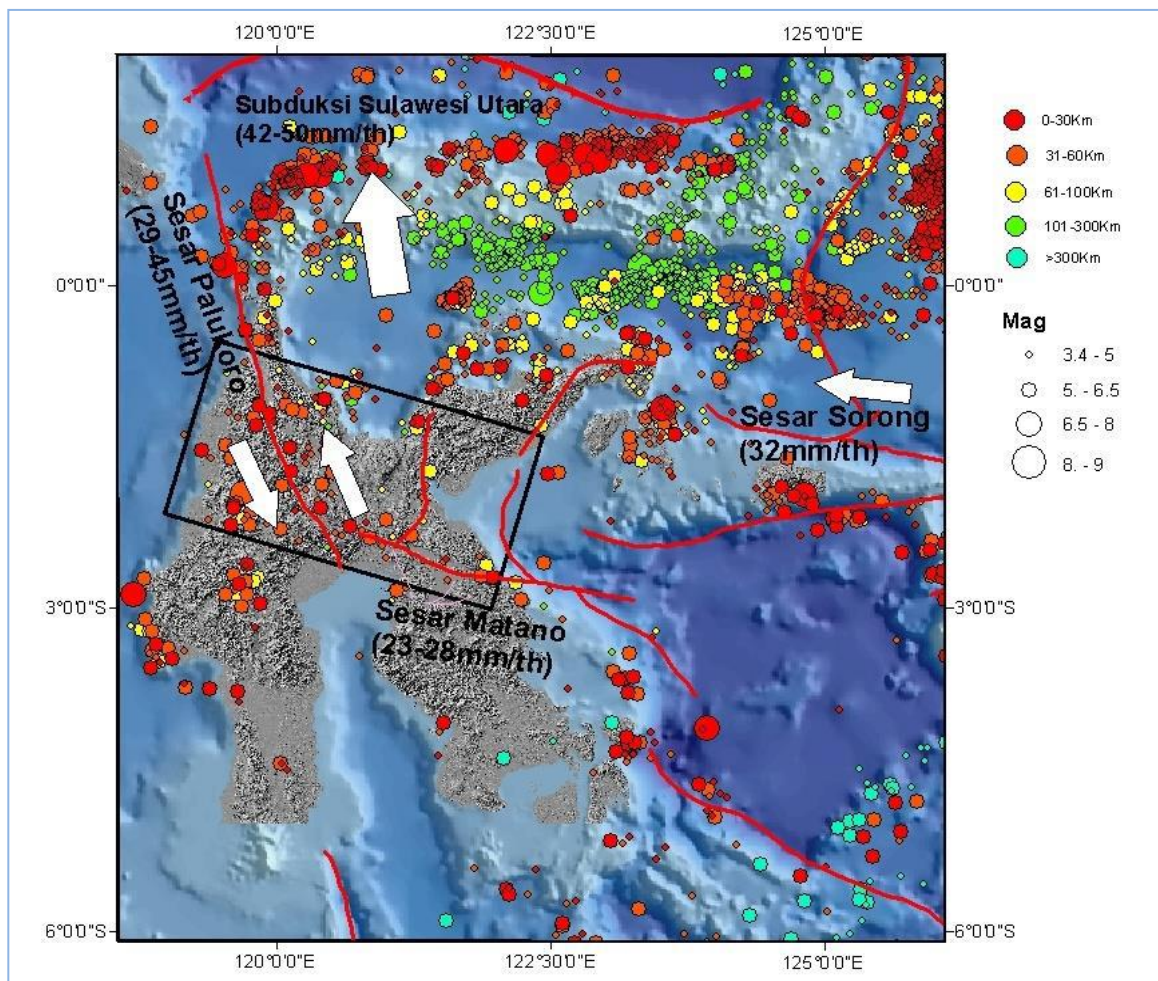
Gambar 5. Tatanan Stratigrafi Sulawesi (dimodifikasi oleh Hall & Wilson, 2000).

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

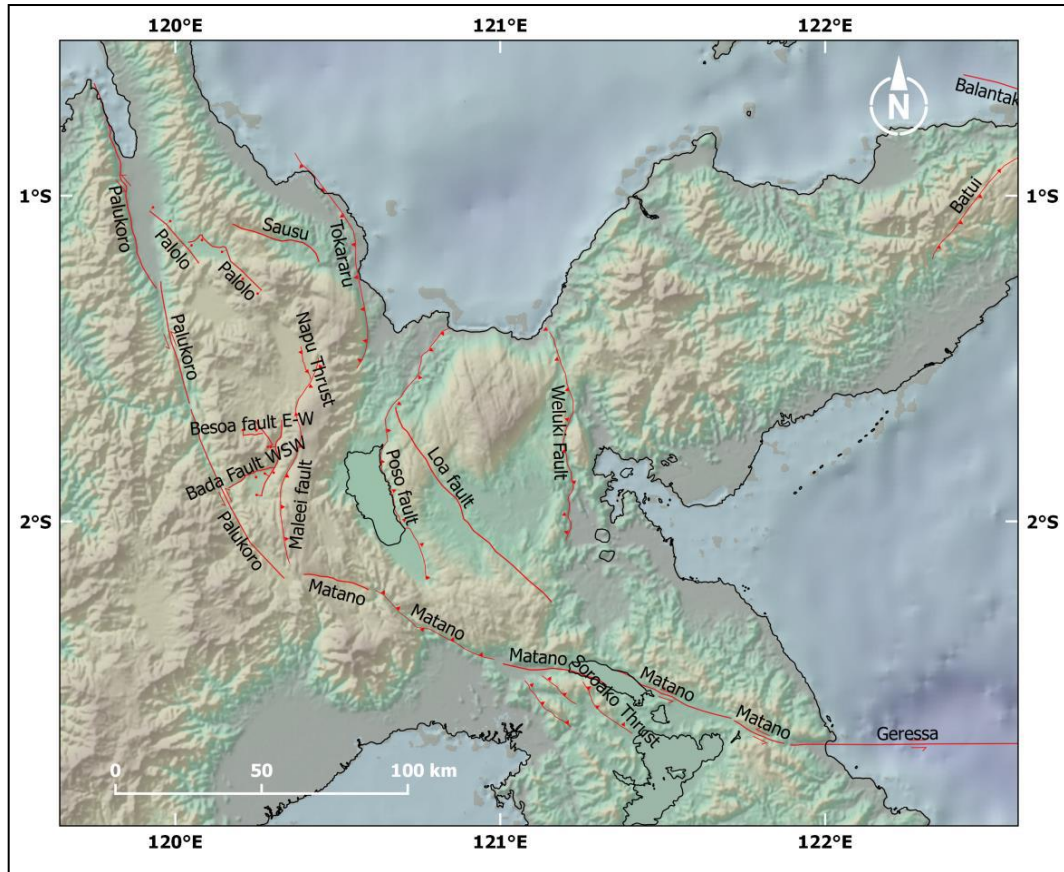
tengah dari lembah tersebut. Orientasi lembah ini mengikuti arah utama jalur pegunungan di kedua sisinya, yaitu berarah relatif utara-selatan (dalam Laporan Bappenas, 2010).

D. Struktur Geologi

Pulau Sulawesi memiliki tatanan sesar rumit yang terdiri atas sesar yang masih aktif bergerak dan tidak lagi bergerak (Gambar 6.). Daryono (2016) mendeskripsikan 24 *section* sesar aktif di Sulawesi Tengah secara sistematis dari (Gambar 7.). Hasil ini dikompilasi pada Tabel 4. dibawah ini.



Gambar 6. Struktur Geologi Regional di Pulau Sulawesi (Daryono, 2016 dalam Irsyam, dkk., 2017).



Gambar 7. Peta Sesar Aktif Di Sulawesi Bagian Tengah yang Terangkum dalam Peta Gempa Nasional 2017. (Irsyam, dkk., 2017).

Tabel 4. Sesar Aktif di Sulawesi Tengah yang Terangkum Dalam Peta Gempa Nasional 2017

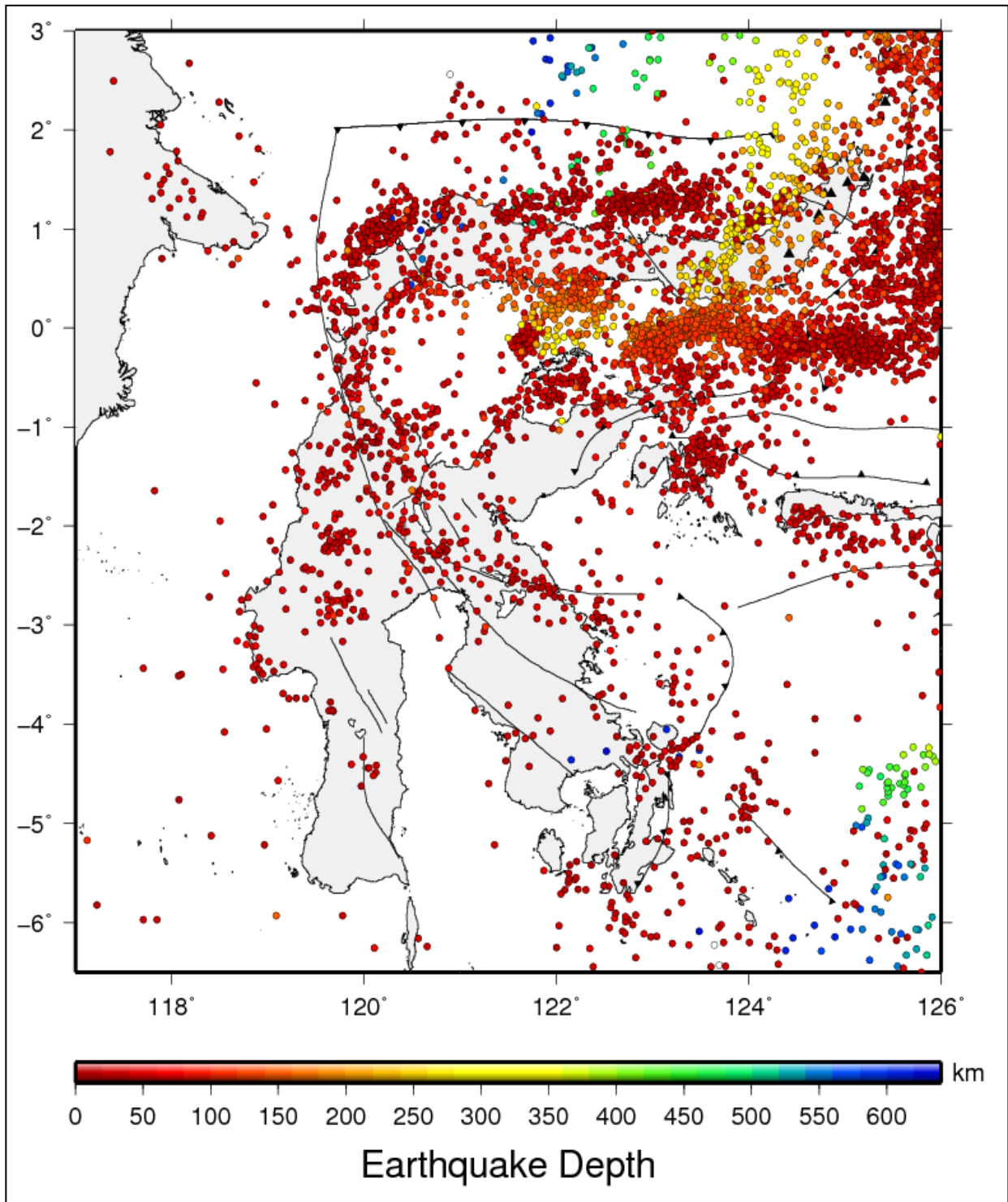
No	Structure Name	Section	Mechanism	Attitude		Max.Seg. Length(Km)
				Strike	Dip	
1	Palukoro Fault	Makasar Str	Left Lateral SS		90	130
2	Palukoro Fault	Palu	Left Lateral SS		90	31
3	Palukoro Fault	Saluki	Left Lateral SS		90	44
4	Palukoro Fault	Moa	Left Lateral SS		90	66
5	Matano Fault	Kuleana	Left Lateral SS		90	22
6	Matano Fault	Pewusai	Revese		45N	46
7	Matano Fault	Matano	Left-Lateral SS		90	35
8	Matano Fault	Pamsoa	Left-Lateral SS		90	44
9	Matano Fault	Ballawai	Left-Lateral SS		90	26
10	Matano Fault	Geressa	Left-Lateral SS		91	80
11	Soroako Thrust	A	Revese		45E	24
12	Soroako Thrust	B	Revese		45E	20
No	Structure Name	Section	Mechanism	Strike	Dip	Max.Seg. Length(Km)

13	Soroako Thrust	C	Revese		45E	16
14	Batui Thrust		Revese		45SE	84
15	Palolo	A	Normal		60	29
16	Palolo	B	Normal		60	24
17	Bada Valley Fault	Tuare WSW	Normal		60S	16
18	Bada Valley Fault	Bulili NNE	Normal		60W	26
19	Sausu		Normal		60N	7
20	Tokararu		Revese		45	80
21	Poso		Reverse		45 E	85
22	Besoa Valley Fault		EW Normal		60	7
23	Besoa Valley Fault		EW Normal		60	7
22	Loa		SS		90	86
23	Weluki		Reverse		45W	72
24	Napu		Reverse		45W	11

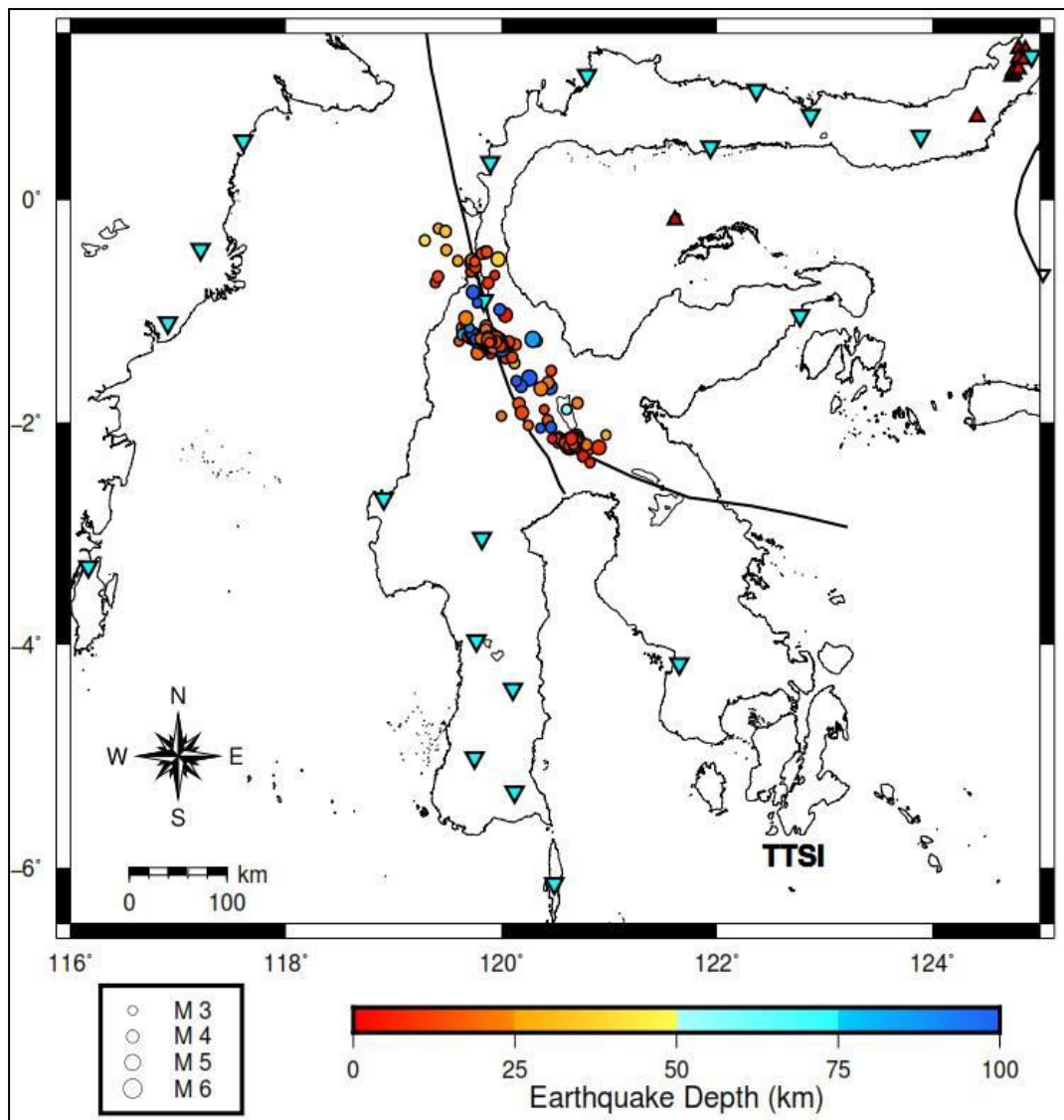
E. Gempa Bumi

Seismisitas di Sulawesi berkaitan dengan subduksi di utara Sulawesi, sesar Palu Koro, sesar Matano, dan subduksi lempeng laut Maluku di timur (Gambar 8). Gempa-gempa signifikan di utara Sulawesi berkaitan dengan subduksi di sepanjang palung Sulawesi Utara. *Wadati Benioff Zone (WBZ)* dari *Slab* di utara Sulawesi dicitrakan hingga kedalaman sekitar 180 km.

Berdasarkan Gambar 9, gempa-gempa dangkal di darat umumnya terjadi di sekitar sesar Palu Koro dan Matano dan terjadi tiga gempa $M_w \geq 6$ dengan mekanisme sesar geser di kedua sesar tersebut. Dalam periode 2009-2015, gempa terdalam yang berkaitan dengan sesar Matano adalah 50 km dan untuk sesar Palu Koro adalah 40 km. Selain itu, beberapa gempa juga terjadi di sesar-sesar geser minor di antara sesar Matano dan Palu Koro. Gempa *strike-slip* dangkal di timur Sulawesi terjadi pada sesar Sorong Utara.



Gambar 8. Seismisitas dari katalog PuSGeN 2017 di Sulawesi untuk gempa dengan magnitudo $\geq 4,5$. Warna menunjukkan kedalaman gempa (Laporan Pusat Studi Gempa, 2017).



Gambar 9. Peta episenter berdasarkan hasil HypoDD dengan data korelasi silang di sekitar sesar Palukoro. Titik bulat menggambarkan episenter, segitiga biru terbalik menggambarkan stasiun pengamatan, segitiga merah menggambarkan gunung api dan garis hitam menggambarkan sesar (Massinai dkk., 2016) dalam (Laporan Pusat Studi Gempa, 2017).

Berdasarkan hasil relokasi gempa regional di wilayah Sulawesi Tengah dan sekitarnya menggunakan HypoDD (Massinai dkk., 2016) terdapat seismisitas yang tinggi di sekitar sesar Palu Koro dan Matano dengan kedalaman 3-28 km.

Event gempa terbanyak terjadi di tengah sesar Palu Koro atau di wilayah Kota Palu.

Sejarah mencatat telah beberapa kali 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) :

1. Gempa Lemo 30 Juli 1907.
2. Gempa Watusampu 1 Desember 1927 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 15 m, menghantam wilayah pantai bagian selatan dan Timur Teluk Palu.
3. Gempa Donggala 20 Mei 1938 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang sekitar 4 m, menghantam wilayah pantai di sekeliling Teluk Palu.
4. Gempa Tambu 15 Agustus 1968 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 10 m, menghantam wilayah pantai di sekeliling teluk Tambu.
5. Gempa Sausu 1994 dan gempa kantewu 1994.
6. Gempa Tonggolobibi 1 Januari 1996 menimbulkan tsunami dengan tinggi gelombang mencapai 4 m, menghantam wilayah pantai Desa Tonggolobibi.
7. Gempa Banggai 2000 menimbulkan tsunami di wilayah balantak, P. Peleng dan P Banggai.
8. Gempa Tojo 12 Agustus 2002.
9. Gempa Gawalise, gempa Rano, Gempa Bora dll tahun 2005.
10. Gempa Buol 2008 merusak lebih dari 1000 rumah.

11. Gempa Janedo awal april 2009 (kurang dari 48 jam terjadi 3 kali gempa antara Palu-Parigi).

12. Gempa Palu 18 Agustus 2012 dan Gempa Sigi 4 September 2012.

F. Hidrologi

Secara lateral Cekungan Airtanah (CAT) Palu mempunyai batas tanpa aliran eksternal (external zero-flow boundary) yaitu bidang kontak antara akuifer dan non akuifer yang membentuk CAT Palu. Akumulasi airtanah terbentuk karena adanya dua aliran airtanah dengan arah berlawanan dan akuifer utama bersifat tidak tertekan. Batas aliran airtanah masuk (inflow boundary) berada di bagian timur dan barat Sungai Palu yaitu dari tekuk lereng perbukitan struktural Gunung Gawalise dan Gunung Tanggunguno. Batas aliran airtanah keluar (outflow boundary) berada di bagian utara yaitu Teluk Palu. Secara vertikal CAT Palu dapat dijelaskan bahwa:

- 1). batas tanpa aliran internal (internal zero-flow boundary), adalah bidang kontak antara akuifer dan non akuifer, yang berfungsi sebagai dasar akuifer (aquifer basement), meliputi seluruh dataran aluvial CAT Palu.
- 2). Batas muka air permukaan internal (internal head-controlled boundary) bersifat periodik (temporal).
- 3). batas muka airtanah bebas (free surface boundary) merupakan batas CAT Palu. Hasil penelitian yang berkaitan dengan batas vertikal, bahwa CAT Palu merupakan bagian dari Cekungan Palu, terbentuk sebagai akibat dari struktur geologi (Graben Palu), yaitu sesar Palu. Konfigurasi sistem akuifer CAT Palu

terdiri atas: 1). akuifer produktif yang berada pada litologi endapan aluvium, batuan sedimen kelastik dan batuan tersier dan 2). sistem akuifer terdiri atas sistem akuifer dataran aluvial dan perbukitan denudasional.

Berdasarkan hasil interpretasi dan analisis data sekunder geolistrik (Suryaman dkk, 1995) dan data pemboran (Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Sulawesi Tengah, 2000), dapat diketahui litologi penyusun akuifer di CAT Palu. Berdasarkan hubungan antara tahanan jenis dengan material penyusun akuifer di CAT Palu, terdiri atas pasiran pada lapisan atas sebagai lapisan tanah penutup, lapisan pasir dan kerakal meluas ke arah timur Formasi Pakuli, material aluvium berupa pasir kerikilan, pasir lempungan, lempung pasiran di Aluvium dan Formasi Pakuli. Kemampuan suatu lapisan pengandung air untuk menyimpan dan meluluskan air, tergantung pada ketebalan dan luas penyebaran, porositas serta permeabilitas dan transmisivitas. Nilai permeabilitas akuifer bebas di CAT Palu pada umumnya tinggi dengan nilai >45 m/hari atau rata – rata 53,09 m/hari dan agihan di seluruh bagian wilayah. Berdasarkan hasil analisis data bahwa di CAT Palu nilai transmisivitas akuifer rata – rata sangat tinggi yaitu 2.725,91 m²/hari.

Kedalaman Muka Piezometrik. Di CAT Palu muka piezometrik berkisar dangkal - dalam. Muka piezometrik dangkal ($<5,0$ meter dpt) agihan di bagian timur (Palu Timur) dan barat (Palu Selatan dan Marawola). Muka piezometrik dalam ($> 10,0$ meter dpt) agihan di bagian timur (Palu Selatan dan Biromaru) dan barat (Palu Barat). Kuantitas dan Kualitas Airtanah Tertekan. Tingkat potensi kuantitatif airtanah tertekan untuk air minum ditentukan oleh debit optimum. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa di CAT Palu, debit optimum rata – rata

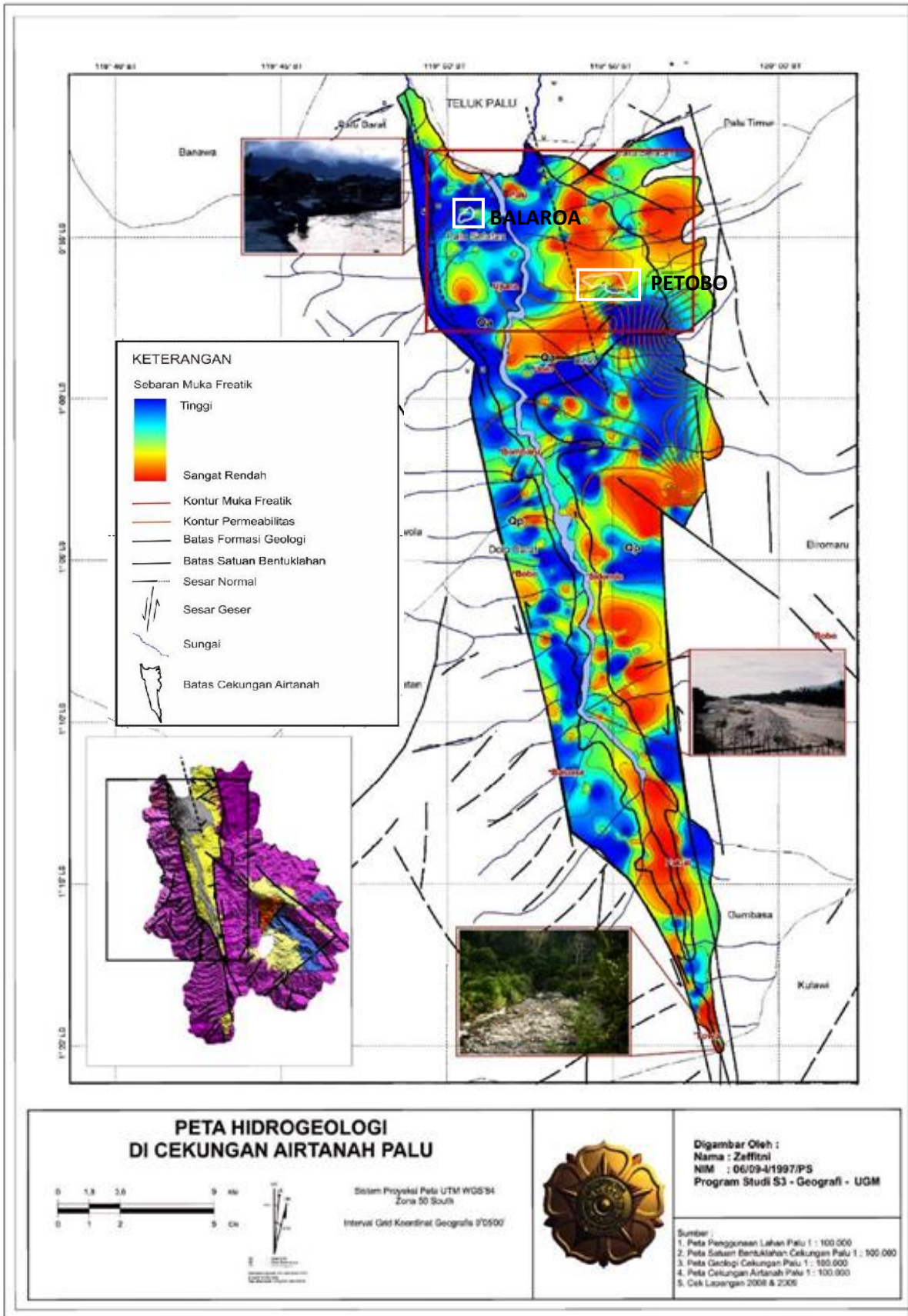
berjumlah 54,24 liter/detik. Di bagian timur berjumlah 51,02 liter/detik dan di bagian barat yaitu 124,90 liter/detik. Tingkat potensi kualitatif airtanah tertekan di CAT Palu, pada umumnya termasuk kelas baik. Di CAT bagian timur agihan di Kecamatan Palu Timur, Palu Selatan, dan Biromaru. Di CAT bagian barat agihan di Kecamatan Palu Barat, Palu Selatan dan Marawola.

Tingkat potensi air tanah tertekan hanya berkisar pada kelas tinggi dan nihil. Tingkat potensi air tanah tertekan kelas tinggi, agihan di CAT bagian timur, yaitu di Kecamatan Biromaru, sedangkan di CAT bagian barat, yaitu di Kecamatan Marawola. Pada umumnya nilai karakteristik air tanah ditandai dengan: piezometrik dangkal - dalam, kedalaman dan ketebalan akuifer dalam - nihil, debit jenis besar - nihil, kuantitas besar, dan kualitas bernilai baik. Potensi air tanah tertekan dengan nilai nihil, agihan di CAT bagian timur, yaitu di Kecamatan Palu Timur, Palu Selatan, Dolo dan Gumbasa, sedangkan di bagian barat di Kecamatan Palu Barat, Palu Selatan, Dolo Barat dan Dolo Selatan. Nilai nihil dalam penelitian ini diartikan sebagai tidak ada data pendukung sehingga keterdapatannya potensi air tanah tidak diketahui.

Berdasarkan hasil analisis sistem aliran akuifer bahwa CAT Palu merupakan suatu sistem aliran akuifer. Batas aliran air tanah yang masuk (inflow boundary) berada di bagian timur dan barat Sungai Palu yaitu dari tekuk lereng perbukitan struktural Gunung Gawalise dan Gunung Tanggunguno. Batas aliran airtanah yang keluar (outflow boundary) berada di bagian utara yaitu Teluk Palu. Berdasarkan hasil analisis maka dapat dikemukakan beberapa kesimpulan untuk pembuktian hipotesis ketiga, yaitu: potensi airtanah pada setiap satuan

hidromorfologi dan hidrogeologi memiliki karakteristik airtanah yang berbeda dan ditentukan oleh karakteristik akuifer pada setiap sistem akuifer. Hasil penelitian bahwa karakteristik akuifer di CAT Palu, sangat ditentukan oleh parameter akuifer dan dapat diketahui dengan integrasi pendekatan geomorfologi dan geologi. Kondisi topografi dan litologi merupakan aspek geomorfologi yang mempunyai pengaruh kontrol morfostruktur dan hidromorfologi terhadap karakteristik sebaran hidrogeologi, yang mempunyai pengaruh terhadap sirkulasi airtanah di CAT Palu. Berdasarkan stratigrafi penyusun akuifer bahwa satuan bentuklahan yang tersebar di Aluvium dengan litologi penyusun akuifer material permeabilitas tinggi, memiliki agihan akuifer lebih tebal dibandingkan di Formasi Pakuli dengan litologi penyusun akuifer material permeabilitas rendah.

Meskipun ruang lingkup kajian tersebut berbeda, namun dalam analisis tingkat potensi airtanah secara keseluruhan, antara satuan hidromorfologi dan hidrogeologi, dapat diintegrasikan untuk mendapatkan hasil yang lebih komprehensif. Hasil penelitian ini sependapat dengan yang dikemukakan oleh: 1). Seaber, et al., (1988) bahwa informasi geologi diantaranya: pemetaan dan penampang (cross section) geologi, log pemboran dan konstruksi sumur airtanah yang dikombinasi dengan informasi hidrogeologi akan menunjukkan unit hidrostratigrafi dari suatu cekungan airtanah, 2). Rosid dan Muhammad (2008) bahwa dengan pemetaan hidrogeologi, gambaran sistem akuifer akan lebih mudah.



Gambar 10. Peta Hidrogeologi di cekungan Air Tanah Palu (Zeffitni, 2013).

G. Penelitian Potensi Likuifkasi

Dalam Studi Investigasi Geologi Teknik Potensi Likuifaksi daerah Palu, tahun 2012, oleh Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral, bahwa hasil perhitungan indeks potensi likuifaksi, dimana penurunan tanah dan perpindahan lateral secara kuantitatif menghasilkan 3 kategori potensi likuifaksi setelah dilakukan interpolasi Kriging. Kategori tersebut dibedakan berdasarkan klasifikasi Iwasaki (1986) yang menggunakan nilai LPI sebagai acuan, yaitu :

1) Potensi sangat tinggi

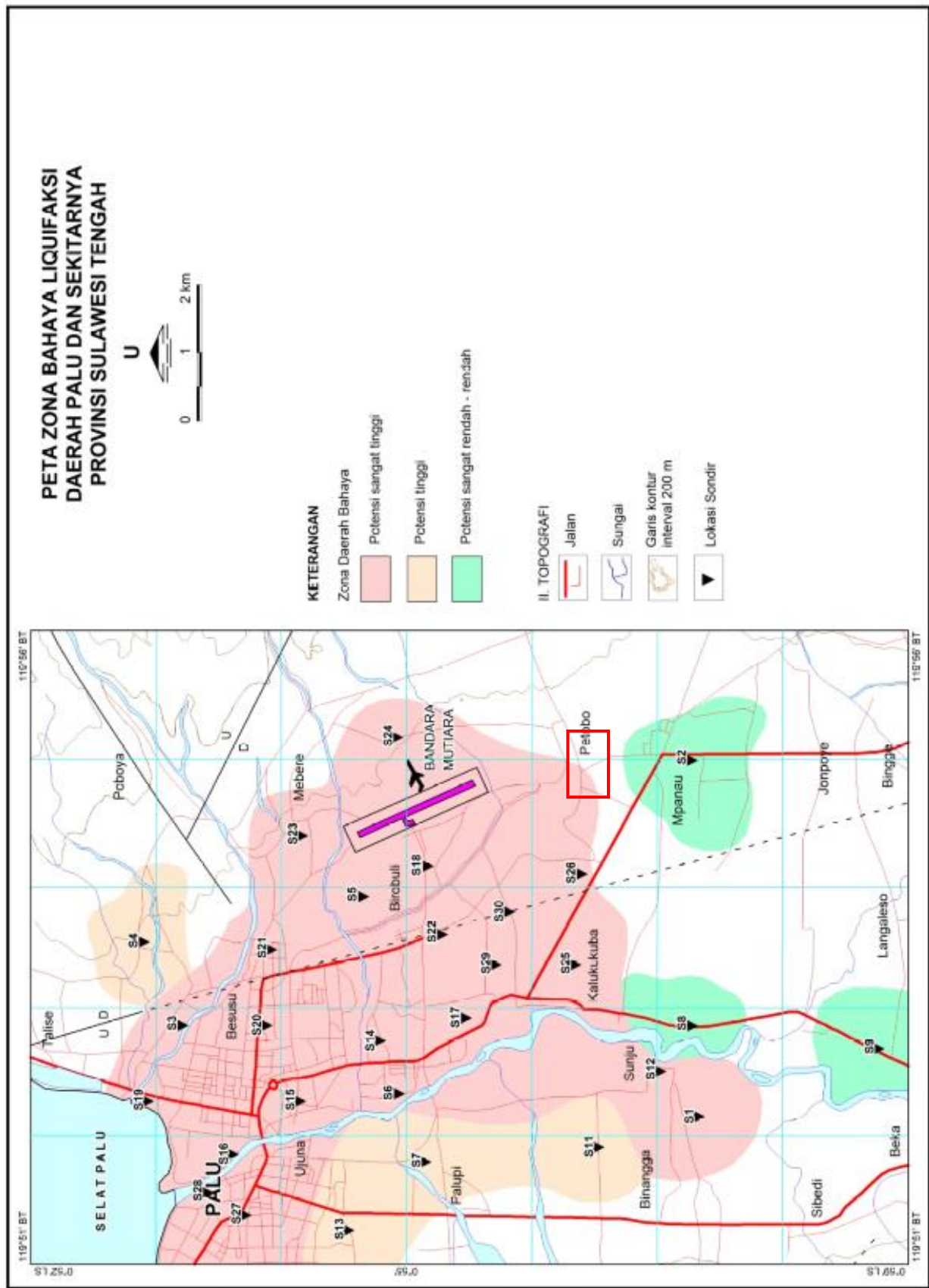
Probabilitas untuk periode ulang 50 tahun adalah sebesar lebih dari 54,44% yang terdapat pada lokasi S-01 (Kalukubula), S-05 (Birobuli), S-06 (Tatura), S- 12 (Sunju), S-17 (Tatura), S-20 (Lolu), S-24 (Kawatuna), S-25 (Kalukubula), S-28 (Lere), S-29 (Tatura), S-30 (Birobuli Selatan) yang berpotensi mengalami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



Gambar 11. Peta Zona Bahaya Likuifaksi (Widyaningrum & Buana, 2012)

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

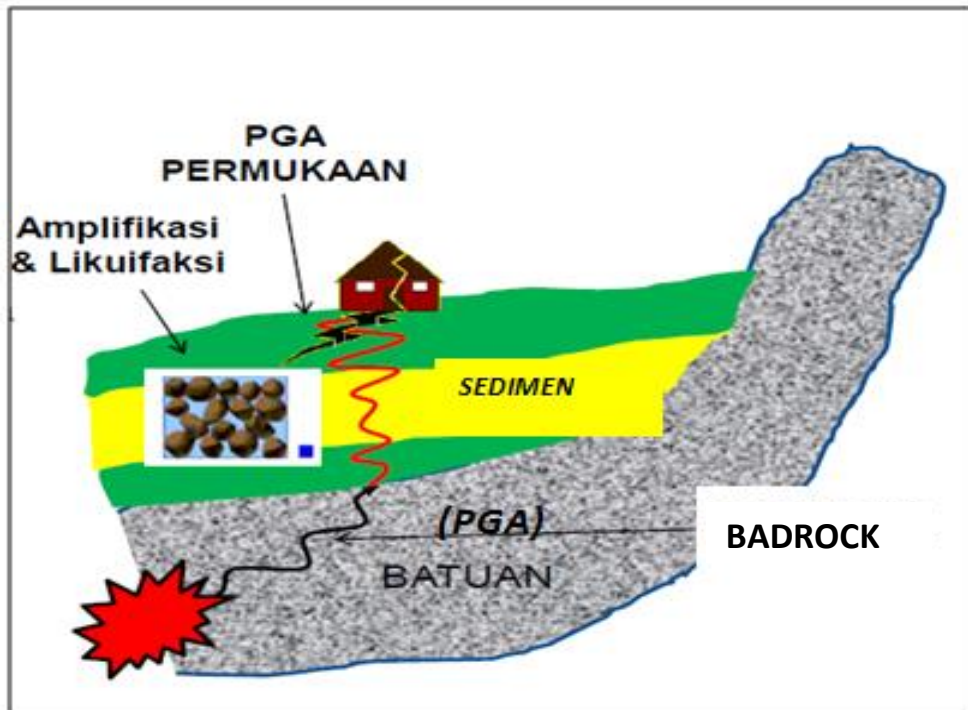
Likuifaksi akan menjadi masalah jika terjadi pada kawasan budidaya seperti area pemukiman, prasarana fisik dan industri. Masalah tersebut adalah efek penurunan dan perpindahan lateral tanah yang mengenai konstruksi bangunan fisik seperti tanah pondasi pada pemukiman, industri, jembatan dsb. yang menurunkan tingkat kestabilannya. Berdasarkan hasil *overlay* 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 12 di atas.

H. Teori Dasar

a. Teori Likuifaksi

Munirwan (2005) mengemukakan bahwa likuifaksi adalah gejala keruntuhan per lapisan tanah akibat menerima beban *cyclic* (berulang) dimana beban ini menimbulkan perubahan-perubahan di dalam tanah pasir, berupa peningkatan tekanan air pori sehingga kuat geser tanah menjadi berkurang atau bahkan hilang sama sekali (*loose of strength*) sehingga tanah pasir akan mencair dan berperilaku seperti fluida. Pada prinsipnya likuifaksi dan penurunan itu beda,

likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat meningkatnya air pori yang diakibatkan oleh getaran gempa bumi. Sedangkan penurunan itu sendiri diakibatkan oleh pergeseran, penggelinciran, dan terkadang juga kehancuran partikel-partikel tanah pada titik tertentu.



Gambar 12. Proses terjadinya likuifaksi akibat gempa bumi (Widyaningrum dan Buana, 2012).

Likuifaksi adalah proses berkurangnya kekuatan geser tanah akibat beban seismik ketika terjadi gempa bumi. Menurut Towhata (2008) likuifaksi terjadi pada tanah yang berpasir lepas (tidak padat) dan jenuh air. Seiring naiknya tekanan air yang diakibatkan oleh guncangan gempa, maka tegangan efektif (σ') menjadi berkurang. Kondisi ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

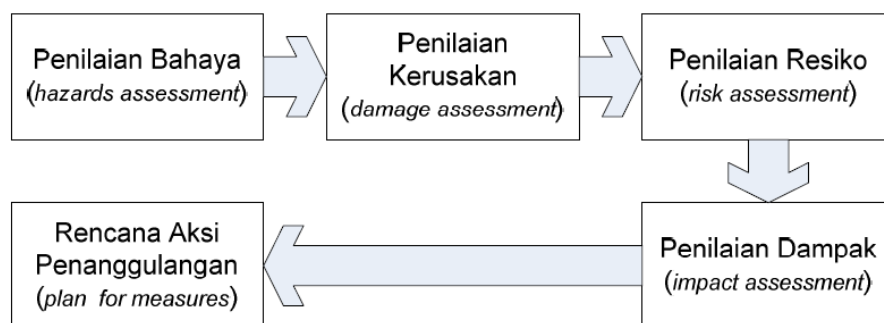
dengan,

s' = Tegangan efektif.

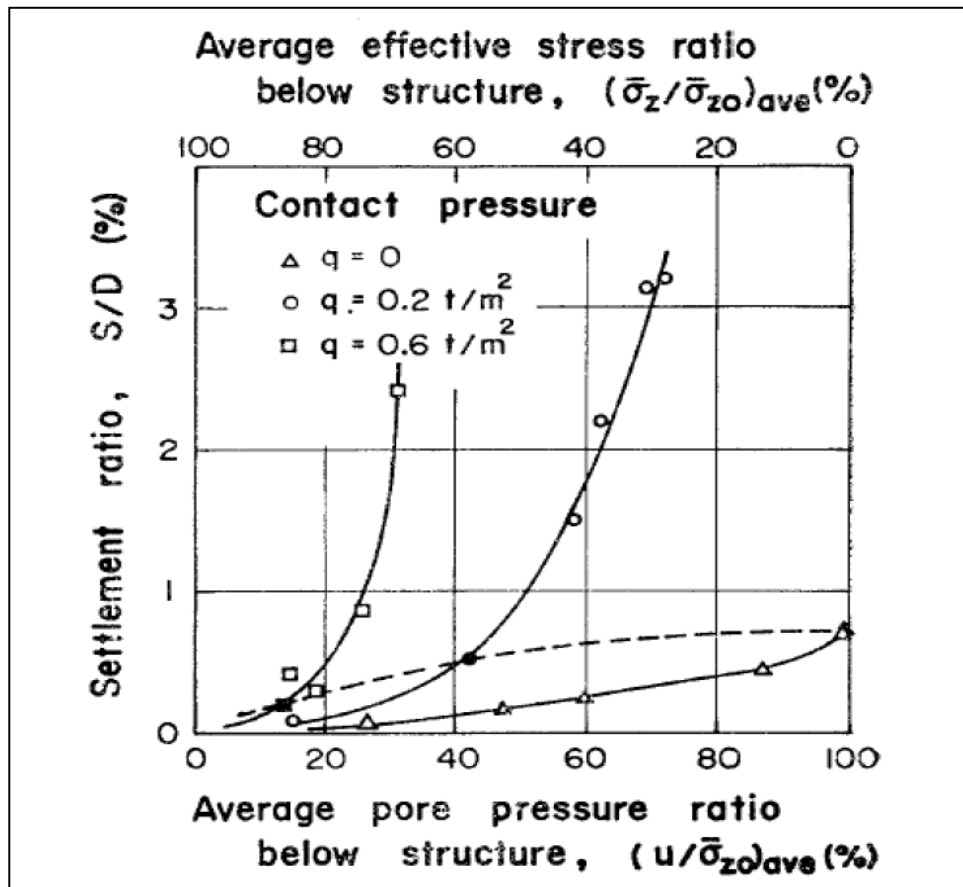
s = Tegangan total (berat permukaan tanah).

u = Tekanan air pori.

Modulus geser pasir menurun bersamaan dengan turunnya tegangan efektif. Kekuatan geser pasir menurun dengan (tegangan efektif) $\tan \phi$. Dengan begitu tanah berpasir menjadi melunak (mencair). Pada kasus yang ekstrim, tegangan efektif menjadi nol. Tegangan efektif adalah ketika terjadi adanya gaya kontak antar butiran pasir. Tegangan efektif nol menyatakan tidak adanya gaya kontak tersebut. Sehingga butiran pasir benar-benar mengapung bebas dalam air. Sehingga pasirpun menjadi seperti mencair. Oleh karenanya, ketika hal itu terjadi maka tanah tersebut tidak mampu menopang beban di atasnya dan menyebabkan amblasnya bangunan, miring ataupun longsor. Yoshimi dan Tokimatsu (1977) menyebutkan bahwa tekanan air pori yang terjadi pada lapisan tanah di bawah bagian tengah bangunan lebih kecil daripada di bagian tepi struktur. Berdasarkan uji model laboratorium dan pengamatan lapangan selama gempa Niigata pada 1964, peningkatan tekanan air pori pada lapisan tanah pasir di bawah bangunan menyebabkan penurunan bangunan akan semakin besar (Gambar 13).



Gambar 13. Diagram perkembangan mikrozonasi sesismik (Kaneko dkk., 2008 dalam Muntohar, 2010).



Gambar 14. Pengaruh tekanan kontak dan tekanan air pori terhadap penurunan (Yoshimi dan Tokimatsu, 1977).

Mikrozonasi seismik dalam perkembangannya tidak hanya ditujukan untuk memetakan bahaya atau wilayah rawan gempa bumi, tetapi juga untuk penilaian resiko dan penanggulangan bencana gempa bumi. Skema perkembangan mikrozonasi seismik ini seperti pada Gambar 14. (Kaneko dkk., 2008). Mikrozonasi seismik yang sederhana meliputi identifikasi sumber dan magnitudo gempa, analisis lintasan dan pergerakan permukaan tanah.

b. Jenis-jenis Pembebanan yang Menyebabkan Likuifaksi

Menurut Soelarno et al., (1984) dalam Zulfikar, (2008), likuifaksi adalah suatu gejala perubahan sifat tanah yaitu, dari sifat *solid* kesifat *liquid*. Perubahan sifat ini dapat disebabkan oleh berbagai jenis pembebanan sebagai berikut:

- a) Disebabkan oleh pembebanan *monotonic* yang biasanya terjadi pada tanah lempung yang mengalami tekanan dari gaya rembesan air atau arus pasang sehingga menimbulkan gejala *quick clay*, sebagai akibatnya tanah lempung kehilangan kekuatan gesernya yang dikenal dengan nama *static liquefaction*. Kondisi ini walaupun mungkin tetapi jarang terjadi.
- b) Disebabkan oleh pembebanan *cyclic* yang biasanya terjadi pada tanah pasir jenuh air yang mengalami getaran gempa sehingga pasir kehilangan daya dukungnya yang dikenal dengan *cyclic liquefaction*. Kondisi ini lazim terjadi di lapangan.
- c) Disebabkan oleh pembebanan yang bersifat *shock wave* yang biasa terjadi pada tanah pasir kering berbutir halus yang mengalami getaran gempa yang bersifat *shock wave* atau getaran dari bom sehingga menimbulkan gejala *fluidization* yang berupa longsor tanah yang dikenal dengan nama *impact liquefaction*. Kondisi ini jarang ditemukan, karena pada umumnya terjadi bila kondisi pasir jenuh.

c. Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Likuifaksi

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Likuifaksi (Widodo, 2012), antara lain;

1. Karakteristik Getaran
2. Jenis Tanah

3. Muka air tanah
4. Distribusi diameter butir
5. Kepadatan awal (*Initial Relative Density*)
6. Drainase dan Dimensi Deposit
7. Kemampuan Drainase

d. Mekanisme Terjadinya Likuifaksi

Studi mengenai mekanisme terjadinya likuifaksi memberikan suatu metode guna menganalisis masalah peningkatan dan disipasi (keluarnya air pori kepermukaan tanah) dari dalam lapisan horizontal suatu lapisan pasir selama dan sesudah berlangsungnya getaran gempa bumi, dan untuk menggambarkan besarnya perubahan tekanan air pori yang dapat terjadi di dalam profil tanah sebagai fungsi dari waktu.

Menurut Seed et al., (1975) dalam Zulfikar, (2008), untuk menganalisis kemungkinan terjadi likuifaksi diasumsikan bahwa selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi disipasi yang berarti, dengan perkataan lain belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada massa tanah. Akibat beban *cyclic*, tanah mengalami tekanan sebelum air sempat keluar meninggalkan pori. Hal ini menyebabkan tekanan air pori meningkat, sebaliknya tegangan efektif berkurang dan dengan demikian kekuatan geser juga berkurang.

Pada suatu lapisan tanah pasir jenuh air, pengaruh dari getaran-getaran gempa bumi atau dibebani secara *cyclic*, akan mengalami perubahan sifatnya itu dari sifat *solid* kesifat *liquid* yang dapat mengakibatkan peningkatan tekanan air pori dan pengaruh tegangan efektif, sehingga memungkinkan terjadi suatu gejala

yang disebut likuifaksi, yang merupakan gejala keruntuhan struktur. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan rumus tegangan efektif dan rumus kekuatan geser tanah dari Terzaghi yang dapat dilihat dibawah ini, untuk tanah pasir jenuh air yang ditinjau pada suatu kedalaman dari permukaan tanah.

Rumus tegangan efektif (Bowles, 1984):

$$\sigma_{\text{eff}} = \sigma_{\text{tot}} - u \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana,

σ_{eff} = tegangan yang sebenarnya bekerja pada butir tanah (kg/cm²);

σ_{tot} = tegangan akibat beban-beban yang bekerja (kg/cm²); dan

u = tekanan air pori (kg/cm²).

Rumus kekuatan geser (Bowles, 1984):

$$S = c + \sigma_{\text{eff}} \cdot \tan\phi \dots\dots\dots (2-2)$$

dimana,

S = kekuatan geser tanah (kg/cm²);

c = kohesi (kg/cm²); dan

ϕ = sudut geser dalam sehubungan dengan tegangan efektif (0).

Terlihat dengan jelas dari kedua rumus di atas bahwa peningkatan tekanan air pori akan berarti mengurangi tegangan efektif dan sekaligus mengurangi kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan.

Dapat juga terjadi bahwa $u = \sigma_{\text{tot}}$ sehingga berdasarkan rumus (2-1)

Maka $\sigma_{\text{eff}} = 0$, ini berarti lapisan tanah tersebut hampir dapat dikatakan tidak mempunyai kekuatan geser sama sekali dan berperilaku seperti fluida.

e. Evaluasi Potensial Likuiditas

Untuk mengevaluasi potensial likuiditas, akan diuraikan di sini metode yang diusulkan oleh Seed dan Idriss, (1971), Metode yang digunakan lewat analisis ini adalah metode yang disepakati oleh workshop mengenai CRR oleh NCEER pada tahun 1996 dan tahun 1998, yang dimuat dalam *Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineer-ing*, volume 127, Nomor 10, Oktober 2001 halaman 817-833. Workshop tersebut diketuai oleh Youd, T. L. dan Idriss, I. M. Workshop tersebut pada dasarnya mengembangkan *simplified procedure* yang diusulkan oleh Seed dan Idriss, 1971, difokuskan pada analisis ketahanan tanah terhadap bahaya likuiditas (CRR). (Idriss dan Boulanger, 2008).

Dalam suatu analisis potensi likuiditas dibutuhkan suatu nilai pegangan untuk mengetahui apakah likuiditas terjadi atau tidak. Nilai pegangan ini disebut faktor keamanan. Dalam analisis faktor keamanan dibutuhkan nilai-nilai yang harus dievaluasi terlebih dahulu. Adapun nilai tersebut ialah nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang diekspresikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Youd dan Idriss, dkk., 2001):

a. Perhitungan Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR).

Perhitungan nilai CSR menggunakan teori beberapa ahli dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Seed dan Idriss, 1971):

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad (2)$$

Dimana :

a_{max} = Percepatan tanah maximum akibat gempa

g = Percepatan gravitasi

σ_{vo} = tegangan total vertical overburden

σ'_{vo} = tegangan efektif vertical overburden

r_d = koefisien tegangan reduksi

Rasio tegangan total dengan tegangan efektif dihitung dengan persamaan-persamaan yang ada di teori mekanika tanah (Das, 1993).

dimana tegangan total:

$$\sigma = H w + (H A - H) \text{ sat} \quad (3)$$

dengan:

σ = Tegangan total

w = Berat volume air (9,81 kN/m³)

sat = Berat volume tanah jenuh air

H = Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah

HA = Jarak antara titik A dan muka air

Tegangan efektif tanah dihitung dengan:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (4)$$

dengan u adalah tekanan pori air tanah,yang dihitung dengan persamaan:

$$u = H A. w \quad (5)$$

dengan HA adalah jarak titik yang ditinjau dengan muka air. Koefisien tegangan

reduksi (rd) dapat ditentukan berdasarkan persamaan (Liao dan Whitemann,

1986) sebagai berikut:

$$rd = 1,00 - 0,00765z \dots z \leq 9,15m \quad (6a)$$

$$rd=1,174 - 0,0267z \dots 9,15 \leq z \leq 23m \quad (6b)$$

$$rd=0,744 - 0,008z \dots 23 \leq z \leq 30m \quad (6c)$$

$$rd=0.5z \ z \geq 23m \quad (6d)$$

dimana :

z = kedalaman tanah (m) yang ditinjau. Harga amax didapat dari tabel berikut.

Tabel 5. Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Percepatan Puncak Muka Tanah untuk masing-masing Wilayah Gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan Maksimum Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan Evaluasi khusus disetiap lokasi
2	0.10	0.12	0.15	0.20	
3	0.15	0.18	0.23	0.30	
4	0.20	0.24	0.28	0.34	
5	0.25	0.28	0.32	0.36	
6	0.30	0.33	0.36	0.38	

(Sumber: SNI 03-1726-2002)

b. Perhitungan Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Adapun cara menganalisis nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dari *Standard Penetration Test* (SPT) sebagai berikut (Youd dan 2001):

SPT (Standard Penetration Test)

Menentukan nilai (N1)60.

Youd dan Idriss (2001) dan Cetin dll (2004) memberikan koreksi-koreksi untuk memperoleh nilai (N1)60 :

$$(N1)60 = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (7)$$

Dimana:

N_m = N-SPT yang diperoleh dari test lapangan.

C_N = Faktor normalisasi N_m terhadap tegangan *overburden* pada umumnya.

C_E = Koreksi rasio *energy hammer* (ER)

C_B = Koreksi untuk diameter lubang bor

C_R = Faktor koreksi dari panjang batang

CS = Koreksi untuk sampel

Karena adanya peningkatan nilai N-SPT dengan meningkatnya tegangan *overburden* efektif, faktor koreksi tegangan *overburden* harus digunakan (Seed dan Idriss, 1982). Faktor ini umumnya dihitung dari persamaan berikut (Seed dan Idriss, 1982) :

$$C_N = 2,2 / \left(1,2 + \frac{\sigma'_{vo}}{Pa} \right) \quad (8)$$

Dimana nilai CN tidak boleh melebihi dari 1,7. Yang lainnya ialah faktor koreksi (normalisasi) nilai *Standard Penetration Test* (SPT) yang dapat ditentukan melalui tabel berikut:

Tabel 6. Nilai faktor koreksi untuk nilai (N1)60

Tabel 1 Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT (Youd, T.L. & Idriss, I.M., 2001)			
Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$2.2 / (1.2 + (\sigma'_{vo}/Pa))$
Tegangan vertikal efektif		C_N	$C_N \leq 1.7$
Rasio tenaga	Palu donat (<i>Donut hammer</i>)	C_E	0,5 s.d 1,0
Rasio tenaga	Palu pengaman (<i>Safety hammer</i>)	C_E	0,7 s.d 1,2
Rasio tenaga	Palu otomatis (<i>Automatic-trip Donut-type hammer</i>)	C_E	0,8 s.d 1,3
Diameter bor	65 s.d 115 mm	C_B	1,0
Diameter bor	150 mm	C_B	1,05
Diameter bor	200 mm	C_B	1,15
Panjang batang	< 3 m	C_R	0,75
Panjang batang	3 s.d 4 m	C_R	0,8
Panjang batang	4 s.d 6 m	C_R	0,85
Panjang batang	6 s.d 10 m	C_R	0,95
Panjang batang	10 s.d 30 m	C_R	1,0
Pengambilan contoh	tabung standar	C_S	1,0
Pengambilan contoh	tabung dengan pelapis (<i>liner</i>)	C_S	1,1 s.d 1,3

Menentukan Nilai (N1)60cs

Menentukan Fines Content (FC) lalu hitung nilai (N1)60cs yang dipengaruhi oleh nilai Fines Content itu sendiri (Youd dan Idriss, 2001):

$$(N1)60cs = \alpha + \beta \cdot (N1)60 \quad (9)$$

Dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase *finer content* (FC):

$$\alpha = 0, \beta = 1, FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp [1,76-(190/FC^2)] \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = [0,99-(FC^{1,5}/1000)] \quad 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5, \beta = 1,2 \quad FC \geq 35\%$$

Menentukan nilai CRR

Menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w) 7.5 dan pasir murni dengan $(N1)60cs < 37,5$ (Youd, T. L. dan Idriss, 2001):

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{\frac{50}{[10.(N1)60cs+45]^2} - \frac{1}{200}} + \frac{(N1)60cs}{135} \quad (10)$$

Jika $(N1)60cs > 37,5$ maka tanah tersebut tidak perlu dievaluasi karena nilai yang rentan akan likuifaksi ialah ketika $(N1)60cs < 37,5$. Jika $(N1)60cs > 37,5$ maka tanah tersebut kuat menahan beban seismic yang dapat diwakilkan dengan nilai $CRR_{7,5} = 2$.

Menghitung faktor keamanan (FS)

Menghitung faktor keamanan likuifaksi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$FS = (CRR / CSR) \quad (17)$$

Seed dan Idriss mendapatkan nilai MSF untuk magnitudo lebih kecil dari 7.5 dan magnitudo lebih besar dari 7.5 yaitu sebagai berikut :

$$M_w < 7.5, MSF = 102.24 / M_w^{2.56} \quad (18)$$

$$M_w > 7.5, MSF = (M_w / 7.5)^{-2.56} \quad (19)$$

Untuk menghitung CRR dengan besar magnitude gempa selain 7.5 diperlukan faktor koreksi yang disebut magnitude scale factor (MSF). Dalam hal ini persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut (Seed, 1983):

$$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha} \quad (20)$$

Untuk variabel K_{σ} dan K_{α} dalam perhitungan biasanya hanya dalam kasus khusus sehingga dalam kasus ini K_{σ} dan K_{α} bernilai 1.

BAB III

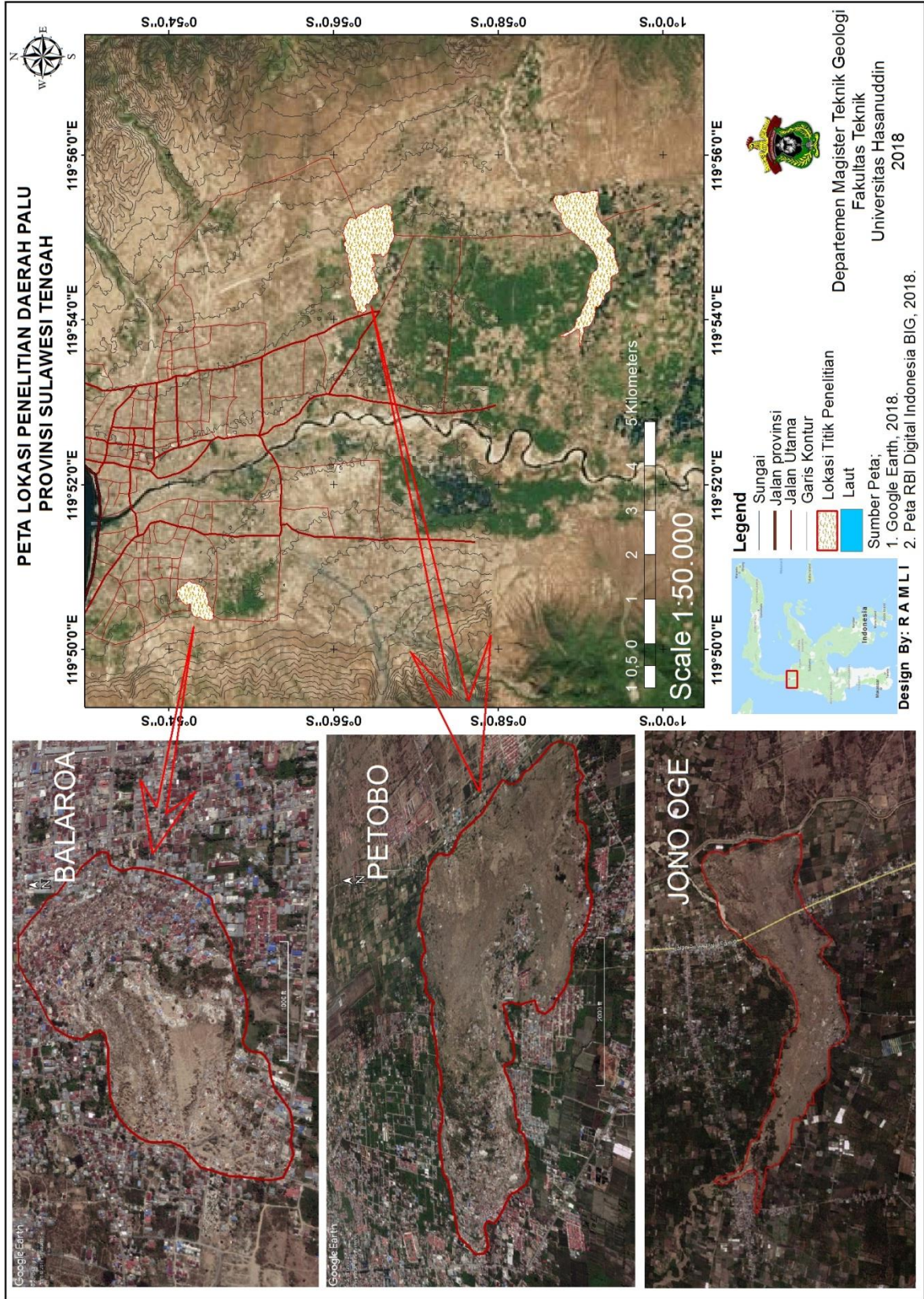
METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Kesampaian Daerah

Wilayah penyelidikan secara administrasi berada di Daerah Palu Provinsi Sulawesi Tengah dan secara geografis terletak pada koordinat $119^{\circ} 50' 00''$ - $119^{\circ} 56' 00''$ BT dan $00^{\circ} 54' 00''$ - $1^{\circ} 00' 00''$ LU (Gambar 3.1). Lokasi penelitian terdiri atas dua titik diantaranya daerah Balaroa, daerah Patobo. Kedua titik lokasi tersebut merupakan daerah yang telah mengalami fenomena likuifaksi pada saat terjadi gempa bumi Palu pada tanggal 28 September 2018.

Lokasi penelitian dapat dicapai lewat jalur darat dengan menggunakan kendaraan roda empat dengan jarak tempuh ± 834 Km atau waktu tempuh ± 17 jam, Sementara jika menggunakan jalur udara dibutuhkan waktu ± 1 jam 30 menit.

Palu adalah Ibukota Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia. Palu merupakan kota yang terletak di Sulawesi Tengah, berbatasan dengan Kabupaten Donggala di sebelah barat dan Utara, Kabupaten Sigi di sebelah selatan, dan Kabupaten Parigi Moutong di sebelah timur. Kota Palu merupakan kota lima dimensi yang terdiri atas lembah, lautan, sungai, pegunungan, dan teluk. Koordinatnya adalah $0,35 - 1,20$ LU dan $120 - 122,90$ BT. Kota Palu dilewati oleh garis Khatulistiwa. Penduduk Kota Palu berjumlah 342.754 jiwa ([Wikipedia](#), 2018).

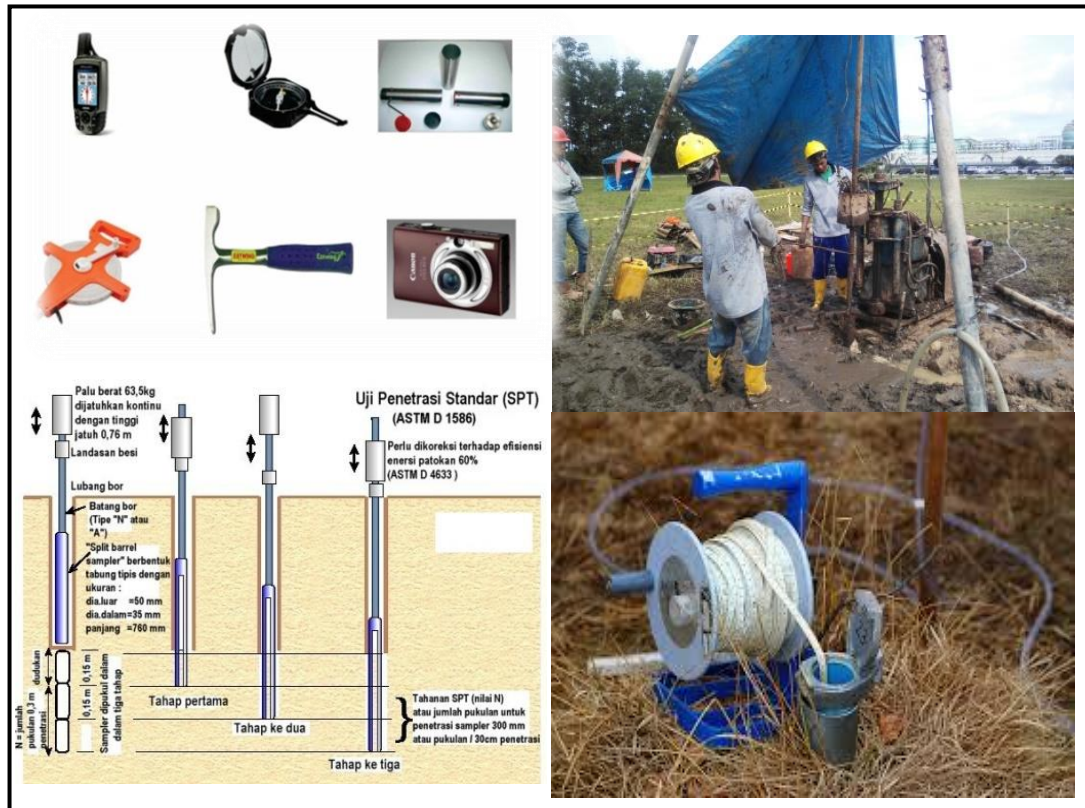


Gambar 15. Peta Lokasi penelitian

B. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, beberapa peralatan ukur dan teknis yang digunakan dalam mendukung aktivitas proses pengambilan data dilapangan, adapun beberapa peralatan tersebut yang dimaksud adalah sebagai berikut;

- Peta Topografi & Peta Geologi Lembar Palu skala 1 :50.000.
- GPS (Global Positioning System) Garmin, tipe GPSmap 60cs.
- Palu geologi
- Kompas geologi
- Buku lapangan
- Kantong sampel
- Kamera digital
- Alat tulis menulis
- Roll Meter
- Alat bor Spindle Type Core Drilling Rig.
- Alat Pengujian SPT Automatic Trip Hammer.
- Alat Pengukuran Air Tanah (water level meter).



Gambar 16. Alat dan kelengkapan pengambilan data lapangan.

C. Tahapan Pengumpulan Data

Selama proses kegiatan penelitian berlangsung ada beberapa tahap yang akan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang maksimal sebagaimana prosedur metode penelitian, sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, beberapa hal yang perlu dilakukan, yaitu :

1. Studi pustaka/literatur

Penelitian diawali dengan kajian kepustakaan untuk memahami *state of the art* dari topik dan penentuan rancangan penelitian serta persiapan yang menyangkut segala sesuatu yang dibutuhkan selama pelaksanaannya. Tahapan ini meliputi studi tentang geologi regional daerah penelitian, laporan atau jurnal dari peneliti terdahulu yang mencakup daerah penelitian serta literatur-literatur geologi yang masih berkaitan dengan batasan masalah penelitian.

2. Persiapan administrasi

Tahap ini meliputi pengajuan proposal penelitian, pengurusan surat izin penelitian pada tingkat provinsi hingga ke tingkat kelurahan lokasi penelitian.

3. Persiapan perlengkapan dan peralatan

Tahapan ini meliputi pengadaan perlengkapan dan peralatan yang dibutuhkan selama kegiatan pengambilan data di lapangan.

4. Perencanaan biaya dan jadwal kegiatan

Tahapan ini meliputi perincian biaya yang disusun berdasarkan kondisi daerah dan kebutuhan penelitian, agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan lancar dan tersistematis (sesuai proposal penelitian). Selain itu mempelajari kondisi sosial budaya masyarakat setempat sangat penting untuk kemudahan dan keamanan dalam melakukan kegiatan penelitian.

b. Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data lapangan dilakukan secara langsung berdasarkan metodologi penelitian yang telah ditentukan, yang terbagi atas dua jenis, yakni data permukaan dan data bawah permukaan.

a. Data Permukaan

Pengambilan data permukaan daerah penelitian merupakan bagian dari tahap orientasi dalam penentuan pengambilan data bawah permukaan. Data permukaan sangat berperan dalam menentukan kondisi geologi yang terjadi pada daerah penelitian, yakni berupa jenis litologi, kondisi geomorfologi, dan pengaruh struktur geologi yang aktif pada daerah penelitian. Secara teknis urutan pengambilan data pada daerah penelitian sebagai berikut :

1. Pengambilan titik stasiun pengamatan.

Pengambilan *sample* pada setiap titik pengamatan dengan menggunakan *Global Positioning System (GPS)*. Setiap titik pengambilan/pengamatan dilakukan *waypoint* posisi pada GPS, untuk menyimpan data *track log* lintasan pengamatan.

2. Pengamatan jenis litologi permukaan.

Pengamatan jenis litologi permukaan dengan melakukan pengambilan *sample* batuan atau tanah yang terdapat di setiap stasiun pengamatan, melakukan pengukuran arah *strike dip*, deskripsi batuan (pengamatan sifat dan ciri fisik batuan) dan dokumentasi singkapan.

3. Pengamatan kondisi geomorfologi.

Pengamatan geomorfologi untuk mengetahui karakteristik bentang alamnya, dengan mencatat jenis penggunaan tata guna lahan, pengamatan pola aliran sungai, pengukuran kemiringan lereng, pengukuran arah pergerakan likuifaksi dengan menggunakan kompas.

4. Pengamatan struktur geologi.

Pengamatan struktur geologi untuk mengetahui kondisi struktur yang aktif pada daerah penelitian dengan melakukan survei lokasi atau titik dimana dijumpai patahan struktur geologi, melakukan identifikasi jenis karakteristik struktur geologi, mengukur arah dan jarak pergeseran sesar yang dijumpai dilapangan.

5. Pengamatan kondisi air permukaan.

Pengamatan kondisi air permukaan sangat penting untuk mengetahui distribusi air yang terdapat pada lokasi penelitian, melakukan pengambilan titik lokasi dimana dijumpai sumber air dengan menggunakan GPS (cekungan-cekungan air yang terdapat disekitar lokasi penelitian), pengamatan sungai permanen dan non permanen yang melintasi lokasi penelitian.

b. Data Bawah Permukaan

Beberapa hal yang dilakukan dalam pengambilan data bawah permukaan, agar mendapatkan data yang valid, sehingga korelasi data pada saat analisis lebih akurat. Berikut metode pengambilan data bawah permukaan.

1. Penentuan titik lokasi pengeboran.

Penentuan titik lokasi pengeboran berdasarkan kondisi geologi lapangan, setelah melakukan survei permukaan. Pengeboran dilakukan minimal dua titik setiap lokasi penelitian. Titik pengeboran dilakukan disekitar daerah lokasi penelitian yang belum terdampak likuifaksi, guna mendapatkan per lapisan litologi yang masih asli (belum terganggu).

2. Pengeboran geologi teknik.

Pengeboran teknik / inti, pekerjaan ini dimaksudkan untuk mengetahui ketebalan lapisan tanah dan batuan, urutan jenis lapisan lithologi batuan bawah permukaan, kekerasan dan kepadatan batuan. Pengeboran ini juga bagian dari proses pengambilan data N-SPT termasuk *sample* tidak terganggu (*undisturbed samples*) setiap interval 1,5 hingga 2 meter.

3. Pengamatan *sample coring*

Mempersiapkan peralatan, perlengkapan, dan bahan kemudian mengatur penempatan *core box sample* sedemikian untuk mempermudah alur kegiatan deskripsi geoteknik.

- a. Deskripsi batuan dari inti bor : melakukan pengisian tabel lembar pengamatan, yang terdiri dari tanggal pengeboran, nomor titik pengeboran, tabel kedalaman, tabel recovery, kolom pemerian jenis lithologi, kekerasan, dan data tambahan lainnya sesuai kebutuhan.
- b. Core sampling : sample yang telah di deskripsi akan dimasukkan dalam *plastic wrap*, kemudian diberikan label berdasarkan kedalaman dan titik lubang pengeboran, untuk analisa lebih lanjut di laboratorium.

4. Pengujian SPT (*Standar Penetration Test*).

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan atau perlawanan tanah/batuan terhadap penetrasi tabung SPT sehingga akan diperoleh jumlah pukulan untuk memasukan tabung SPT tersebut sedalam 30 cm pada tanah yang masih belum terganggu untuk mendapatkan nilai SPT (N). Beban penumbuk dengan berat standard sebesar 63,5 Kg dijatuhkan pada ketinggian standard setinggi 75 cm (Sebaiknya sebelum memulai melakukan SPT, terlebih dahulu permukaan tanah dibor sedalam 1 m).

5. Pengukuran kedalaman air tanah.

Pengukuran muka air tanah pada setiap lubang bor maupun sumur yang terdapat dilokasi penelitian. Pengukuran ini dilakukan secara manual dengan menggunakan roll meter, yang dilengkapi dengan sensor. Sensor akan berbunyi ketika bersentuhan dengan muka air tanah.

D. Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan baik data sekunder maupun data-data primer dari lapangan kemudian disatukan untuk diolah dan dianalisa sebagaimana metode penelitian. Tahap ini terbagi atas tiga yaitu;

a. Tahap Analisis Laboratorium

Beberapa data lapangan yang telah diambil akan dilakukan pengamatan laboratorium, baik data permukaan maupun data pengeboran (bawah permukaan).

Analisa laboratorium meliputi penentuan grain size, pengujian terhadap sifat fisik (*physical properties*), dan sifat indeks (*index properties*).

□ **Pengujian *physical properties* terdiri dari :**

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

Kadar Air (*water content*) : adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) di dalam massa tanah, yang dinyatakan dengan formula

sebagai berikut : $w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \%$

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

Berat Jenis atau Berat Spesifik (*Specific Gravity*) : yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°C,

yang dapat dirumuskan sebagai berikut : $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$

□ **Pengujian *index properties* terdiri :**

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

Batas Atterberg yang terdiri atas ; batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

- Batas cair adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis.
- Batas plastis didefinisikan sebagai nilai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat.
- Batas susut adalah nilai kadar air pada kedudukan antara zona semi padat dengan zona padat. Pada kondisi ini pengurangan kadar air dalam tanah tidak akan mempengaruhi lagi pengurangan volume pada tanah.

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

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada ukuran diameter tertentu. Untuk menganalisis ukuran butiran tanah, perlu dilakukan dua pengujian yang simultan, dan tidak dapat dipisahkan satu sama lain, yakni : analisis saringan (*sieve analysis*), dan analisis hydrometer (*hydrometer analysis*).

b. Tahap pengolahan data lapangan

Dalam menggunakan rumus dari teori-teori yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya yang berhubungan dengan evaluasi potensi terjadinya likuifaksi yakni metode *simplified procedure method* (Seed dan Idriss ,1971).

1. Berdasarkan persamaan CSR dan CRR, Nilai faktor keaman terhadap likuifaksi (FK) dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara CRR dan CSR. dalam studi ini jika;

- $FK > 1,0$ untuk mengindikasikan lapisan tanah aman terhadap likuifaksi.
- $FK = 1,0$ untuk mengindikasikan lapisan tanah kritis terhadap likuifaksi.
- $FK < 1,0$ untuk mengindikasikan lapisan tanah tidak aman terhadap likuifaksi.

a. Perhitungan Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR).

Perhitungan nilai CSR menggunakan teori beberapa ahli dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Seed dan Idriss, 1971):

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad (2)$$

Dimana :

a_{max} = Percepatan tanah maximum akibat gempa

g = Percepatan gravitasi

σ_{vo} = tegangan total vertical overburden

σ'_{vo} = tegangan efektif vertical overburden

r_d = koefisien tegangan reduksi

b. Menentukan nilai CRR

Menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa (M_w) 7.5 dan pasir

murni dengan $(N1)60cs < 37,5$ (Youd, T. L. dan Idriss, 2001):

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N1)60cs} + \frac{(N1)60cs}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N1)60cs + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (10)$$

c. Menghitung faktor keamanan (FS)

Menghitung faktor keamanan likuifaksi dengan menggunakan persamaan

berikut: $FS = (CRR / CSR)$

(17)

Seed dan Idriss mendapat nilai MSF untuk magnitude lebih kecil

dari 7.5 dan magnitude lebih besar dari 7.5 yaitu sebagai berikut :

$$M_w < 7.5, MSF = 102.24 / M_w^{2.56} \quad (18)$$

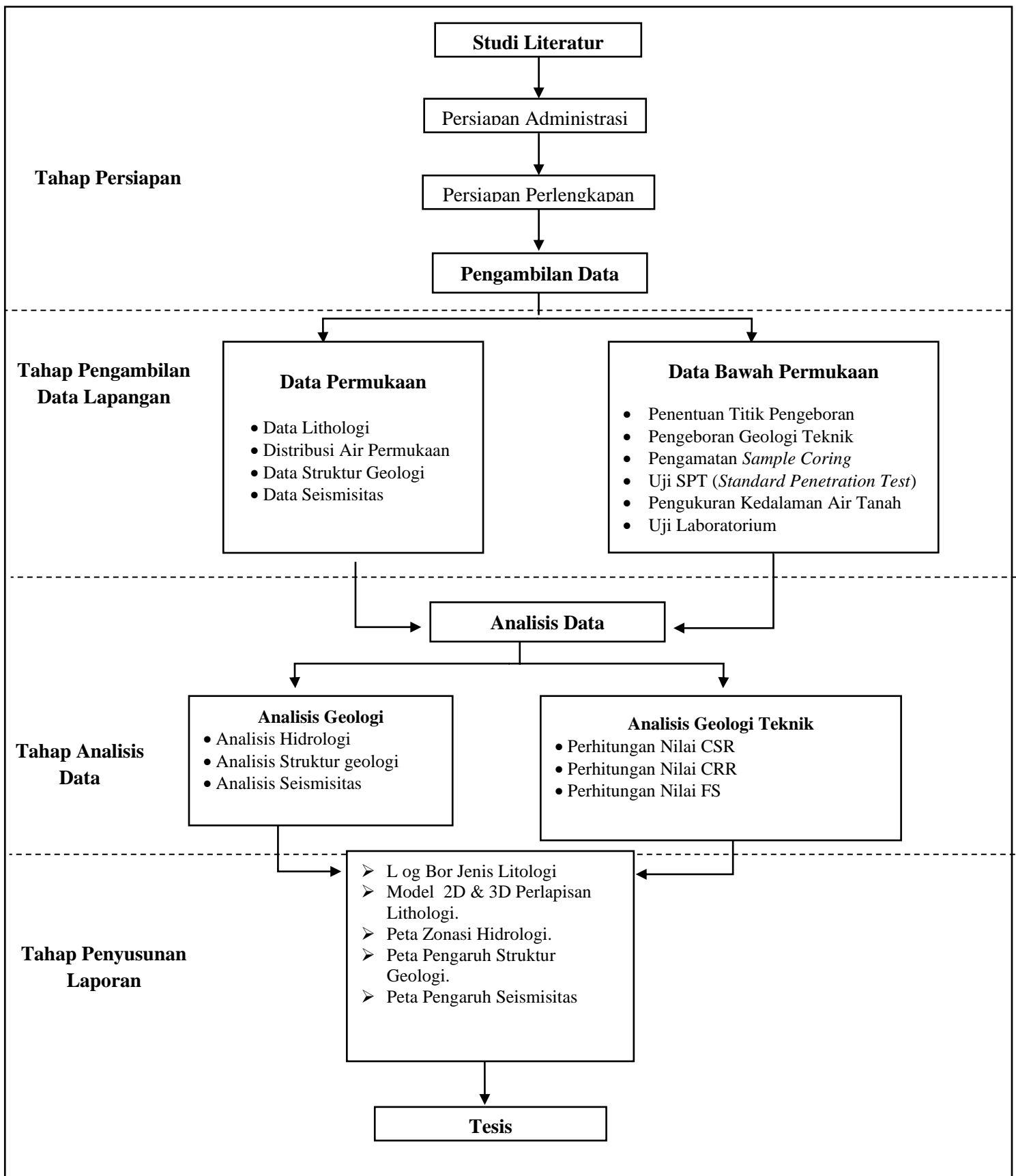
$$M_w > 7.5, MSF = (M_w / 7.5)^{-2.56} \quad (19)$$

2. Pengolahan data lapangan dengan menggunakan program Logplot 8 dan Rockworks 16, dalam menyajikan data pengeboran, maupun data hasil analisis geologi teknik dan laboratorium, serta pemodelan litologi dua dimensi dan tiga dimensi.

3. Pengolahan data hidrologi, struktur geologi dan seismisitas dengan menggunakan metode kringing arcgis, sehingga akan menghasilkan peta zonasi kedalaman air tanah, peta pengaruh struktur geologi dan peta intensitas pengaruh seismisitas.

E. Tahap Penyusunan Tesis

Tahap penyusunan Tesis merupakan tahap penulisan dalam bentuk laporan penelitian yang ditulis berdasarkan format penulisan karya tulis ilmiah. Tahap ini akan memaparkan latar belakang penelitian, landasan teori, metodologi penelitian, pembahasan dan kesimpulan akhir dari sebuah penelitian.



Gambar 17. Diagram Alir .

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan bagian dari evaluasi penyebab terjadinya likuifaksi dengan memperhatikan beberapa faktor yang berpengaruh baik sebagai pengontrol maupun sebagai pemicu. Untuk mengevaluasi potensial likuifaksi, akan diuraikan di sini metode yang diusulkan oleh Seed dan Idriss, (1971), Metode yang digunakan pada dasarnya mengembangkan *simplified procedure* yang difokuskan pada analisis potensi likuifaksi dibutuhkan suatu nilai pegangan untuk mengetahui apakah likuifaksi terjadi atau tidak. Nilai pegangan ini disebut faktor keamanan. Dalam analisis faktor keamanan dibutuhkan nilai-nilai yang harus dievaluasi terlebih dahulu. Adapun nilai tersebut ialah nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) .

Analisis geologi teknik akan didukung oleh penguatan faktor pengontrol lainnya yang merupakan penyebab likuifaksi, diantaranya faktor hidrologi, struktur geologi dan seismisitas.

A. Analisis Litologi

Analisis litologi pada daerah penelitian untuk mengetahui jenis litologi yang menyusun daerah penelitian serta sifat fisik material yang mengalami likuifaksi.

1. Evaluasi Litologi Daerah Balaroa

Analisis litologi Daerah Balaroa dengan mengidentifikasi jenis litologi permukaan dan evaluasi geologi teknik litologi bawah permukaan berdasarkan

nilai *Standart Penetration Test* (N-SPT). Analisis ini akan menggambarkan sebaran jenis litologi secara lateral dan susunan sifat fisik perlapisan litologi secara vertikal pada daerah Balaroa.

a. Litologi Permukaan

Daerah Balaroa tersusun oleh material *alluvial* berupa pasir halus sampai kerikil pasiran, dengan demikian litologi penyusun daerah Balaroa dan sekitarnya merupakan material hasil sedimentasi oleh material endapan Formasi Aluvium & Endapan Pantai.



Gambar 18. Litologi Permukaan Daerah Balaroa berupa kerikil pasiran.

Dari pengamatan dan analisis di lapangan bahwa litologi penyusun Daerah Balaroa berupa litologi pasir dan kerikil pasiran. Hal tersebut bagian indikasi bahwa litologi penyusun daerah tersebut berasal dari sumber dan proses geologi yang berbeda yakni melalui proses tektonik dan sedimentasi yang berumur relatif mud



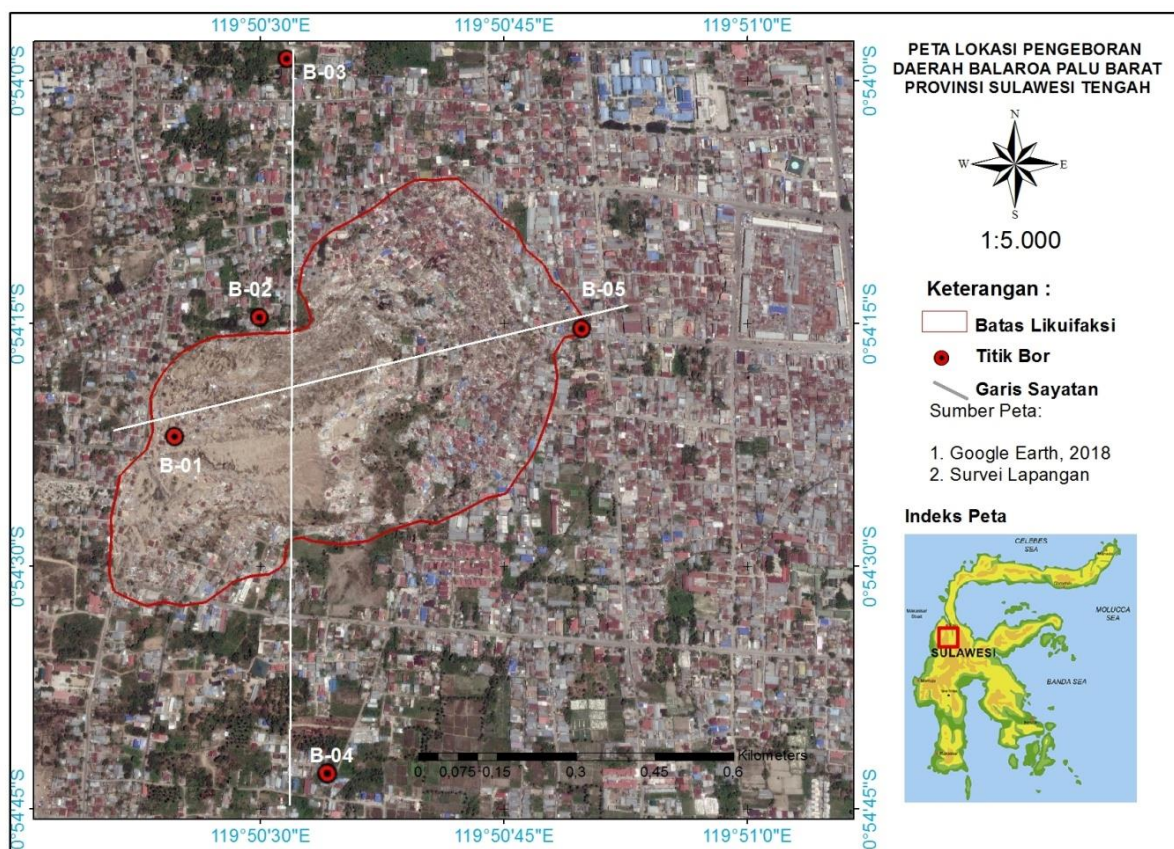
Gambar 19. Litologi permukaan daerah Balaroa berupa pasir halus.

kerikil yang nampak di daerah Balaroa tersusun oleh fragmen batuan beku dan metamorf antara lain granodiorit, batu sabak dan sekis, nampak bahwa batuan tersebut merupakan material transportasi berupa bongkahan yang tidak insitu. Memperhatikan bentuk butir dari fragmen batuan suatu indikasi jika material tersebut terbentuk dari proses tektonik yang telah berlangsung dari sekian tahun, serpihan atau pecahan batuan yang *angular*, merupakan dampak oleh sesar yang aktif di daerah tersebut.

b. Analisis Geologi Teknik Bawah Permukaan

Pengamatan dan analisis litologi bawah permukaan dari hasil kegiatan pengeboran pada lima titik pengeboran, merupakan suatu parameter untuk mengetahui korelasi antar lapisan litologi dan nilai Standart Penetration Test (N-SPT) setiap perlapisan litologi yang berpengaruh terhadap faktor keamanan

(*factor safety*). Lima titik pengeboran yang dilakukan masing-masing pada kedalaman 30 meter, yang berada di pinggir dan di luar dari area yang mengalami dampak likuifaksi. hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kondisi litologi yang belum mengalami gangguan akibat likuifaksi maupun kondisi litologi daerah yang mengalami likuifaksi. Ada tiga titik pengeboran di pinggir area yang terdampak likuifaksi, dan dua titik pengeboran yang jauh dari lokasi yang mengalami likuifaksi yaitu berjarak masing-masing 500 m. Kegiatan pengeboran geologi teknik pada lima titik, menggambarkan kondisi profil susunan perlapisan litologi yang berbeda, setiap profil log bor memaparkan susunan perlapisan litologi, nilai N-SPT, kedalaman air tanah, faktor keamanan, ukuran butir dan tingkat plastisitas tiap kedalaman lapisan litologi.



Gambar 20. Peta Titik Pengeboran Geologi Teknik Daerah Balaroa.

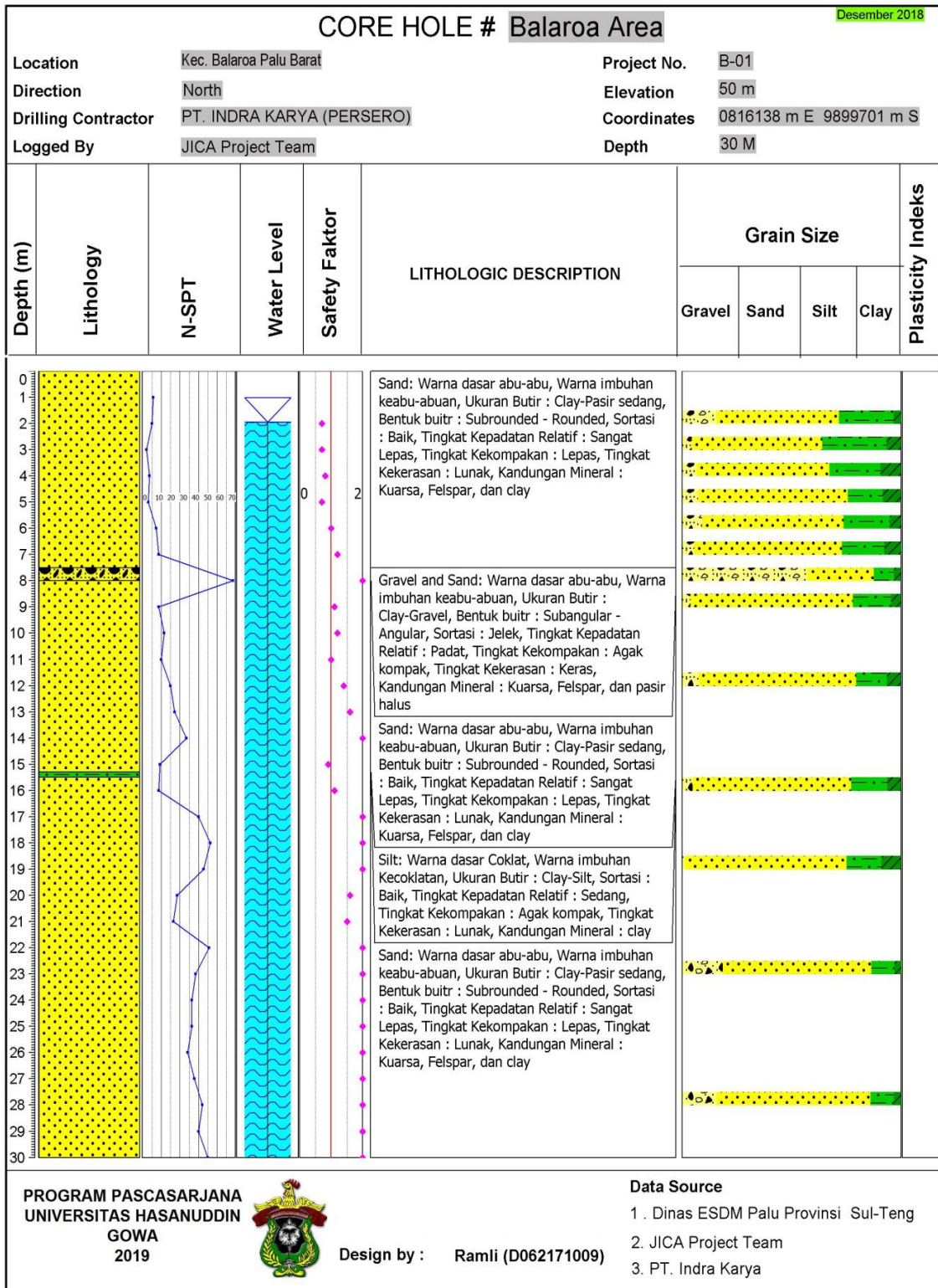
1. Titik Bor B-01

Posisi titik bor B-01 berada di sebelah barat wilayah Daerah Balaroa yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0816138 m E & 9899701 m S. Lokasi titik pengobaran merupakan pusat awal terjadinya likuifaksi.

Pengeboran yang dilakukan pada kedalaman 30 meter, nampak pada tabel dan log bor yang terdiri dari tiga jenis litologi dengan ketebalan lapisan yang berbeda, yaitu litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Lapisan material litologi pasir dari kedalaman satu sampai dengan kedalaman 6, dari hasil uji geologi teknik dilapangan bahwa nilai N-SPT yaitu 3-10, dan menunjukkan faktor keamanan berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian pada kedalaman 7 sampai kedalaman 30 meter dengan litologi berupa pasir memiliki nilai N-SPT yaitu 11-51 dengan faktor keamanan yang kritis sampai dengan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Litologi kerikil pasiran memiliki ketebalan 50 cm diantara lapisan pasir, dengan nilai N-SPT 68, nilai tersebut mengalami peningkatan yang sangat tinggi dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Jenis lapisan litologi lanau dengan ketebalan 20 cm dengan nilai N-SPT 12 dengan faktor keamanan yang berpotensi terjadi likuifaksi. Kedudukan muka air tanah pada kedalaman 1.95 m yang berarti drainase sangat rendah, kondisi demikian mengakibatkan material pasir jenuh air. Dari persentase ukuran butir bahwa material pasir dan lanau, lebih besar daripada material kerikil dan lempung.

Tabel 7. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-01 Daerah Balaroo (Sumber Data; Proyek Pengeboran Tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N -SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Pasir	8	0	0,049	0,00
1	2	Pasir	7	0,148	0,108	0,73
2	3	Pasir	3	0,145	0,095	0,66
3	4	Pasir	5	0,143	0,110	0,77
4	5	Pasir	4	0,140	0,097	0,69
5	6	Pasir	10	0,138	0,144	1,05
6	7	Pasir	11	0,138	0,153	1,11
7	7,5	Pasir	12	0,135	0,156	1,15
7,5	7	Pasir	13	0,135	0,164	1,21
7	8	Kerikil Pasiran	68	0,133	0,422	3,18
8	9	Pasir	12	0,130	0,145	1,12
9	10	Pasir	16	0,128	0,147	1,16
10	11	Pasir	14	0,125	0,126	1,01
11	12	Pasir	21	0,123	0,176	1,43
12	13	Pasir	24	0,120	0,193	1,61
13	14	Pasir	33	0,118	0,273	2,31
14	15	Pasir	34	0,118	0,286	2,42
15	15,3	Pasir	13	0,116	0,105	0,91
15	15,5	Lanau	12	0,113	0,124	1,09
15,5	16	Pasir	42	0,111	0,350	3,16
16	17	Pasir	42	0,111	0,350	3,16
17	16,5	Pasir	51	0,108	0,786	7,25
18	17	Pasir	46	0,106	0,393	3,71
19	17,5	Pasir	26	0,103	0,164	1,58
20	18	Pasir	23	0,096	0,143	1,48
21	18,5	Pasir	50	0,090	2,055	4,1
22	19	Pasir	40	0,084	0,249	2,98
23	19,5	Pasir	37	0,078	0,209	2,68
24	20	Pasir	37	0,073	0,203	2,78
25	20,5	Pasir	34	0,068	0,180	2,65
26	21	Pasir	39	0,064	0,203	3,18
27	21,5	Pasir	45	0,060	0,245	4,10
28	22	Pasir	42	0,056	0,208	3,72
29	30	Pasir	49	0,053	0,244	4,64



Gambar 21. Log bor Titik Pengeboran B-01 daerah Balaroa.

2. Titik Bor B-02

Titik bor B-02 berada di posisi bagian pinggir sebelah utara daerah Balara yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0816296 m E & 9899931 m S. Penentuan titik bor B-02 berdasarkan dari survei lapangan bahwa terdapat perubahan arah pelamparan likuifaksi yang tidak merata pada bagian barat, hal tersebut menjadi sebuah indikasi kemungkinan adanya faktor penyebab likuifaksi.

Dari hasil pengeboran nampak pada tabel 9 dan log bor gambar 29, bahwa dijumpai dua jenis litologi yang berbeda yakni kerikil pasiran dan pasir. Kondisi kedua litologi tersebut berselingan, lapisan paling atas disusun oleh kerikil pasiran dengan ketebalan 3 m, dengan nilai N-SPT yaitu 500 dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian pada lapisan di bawahnya berupa litologi pasir memiliki ketebalan 4 m dengan nilai N-SPT yaitu 0 - 30 dan faktor keamanan berpotensi terjadi likuifaksi. Lapisan litologi kerikil pasiran dengan ketebalan 18 meter dengan nilai N-SPT yaitu 33 - 500 sehingga faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian lapisan litologi pasir pada meteran 26-30, memiliki nilai N-SPT yaitu 69 - 75 dengan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah sangat dangkal pada kedalaman 2.10 m, hal demikian disebabkan karena drainase sangat rendah. Analisis ukuran butir masih didominasi oleh material pasir dan lanau.

Tabel 8. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-2 Daerah Balaroa (Sumber Data; Proyek Pengeboran Tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Kerikil Pasiran	500	0	0,049	0,0
1	2	Kerikil Pasiran	500	0,072	4,413	61,3
2	3	Kerikil Pasiran	500	0,081	4,089	50,2
3	3,1	Kerikil Pasiran	500	0,081	4,089	50,2
3,1	4	Pasir	6	0,091	0,112	1,2
4	5	Pasir	0	0,097	0,049	0,0
5	6	Pasir	0	0,101	0,049	0,0
6	6,8	Pasir	30	0,103	0,338	3,3
6,8	7	Kerikil Pasiran	41	0,104	1,128	10,9
7	8	Kerikil Pasiran	41	0,104	1,128	10,9
8	9	Kerikil Pasiran	50	0,104	0,499	4,8
9	10	Kerikil Pasiran	50	0,103	0,578	5,6
10	11	Kerikil Pasiran	50	0,103	0,615	6,0
11	12	Kerikil Pasiran	49	0,102	1,949	19,1
12	13	Kerikil Pasiran	33	0,101	0,247	2,5
13	14	Kerikil Pasiran	36	0,099	0,263	2,6
14	15,3	Kerikil Pasiran	500	0,098	2,308	23,5
15	15,5	Kerikil Pasiran	65	0,097	1,164	12,0
16	16	Kerikil Pasiran	74	0,095	0,203	2,1
17	16,5	Kerikil Pasiran	50	0,093	0,372	4,0
18	17	Kerikil Pasiran	65	0,092	1,028	11,2
19	17,5	Kerikil Pasiran	72	0,090	0,535	6,0
20	18	Kerikil Pasiran	74	0,088	0,545	6,2
21	18,5	Kerikil Pasiran	71	0,086	2,776	32,2
22	19	Kerikil Pasiran	69	0,084	1,357	16,1
23	19,5	Kerikil Pasiran	75	0,082	1,291	15,7
24	20	Kerikil Pasiran	75	0,080	346,393	4312,4
25	20,5	Kerikil Pasiran	69	0,078	0,510	6,5
26	21	Pasir	72	0,077	0,576	7,5
27	21,5	Pasir	69	0,075	0,445	5,9
28	22	Pasir	74	0,073	0,518	7,1
29	30	Pasir	75	0,071	0,496	7,0

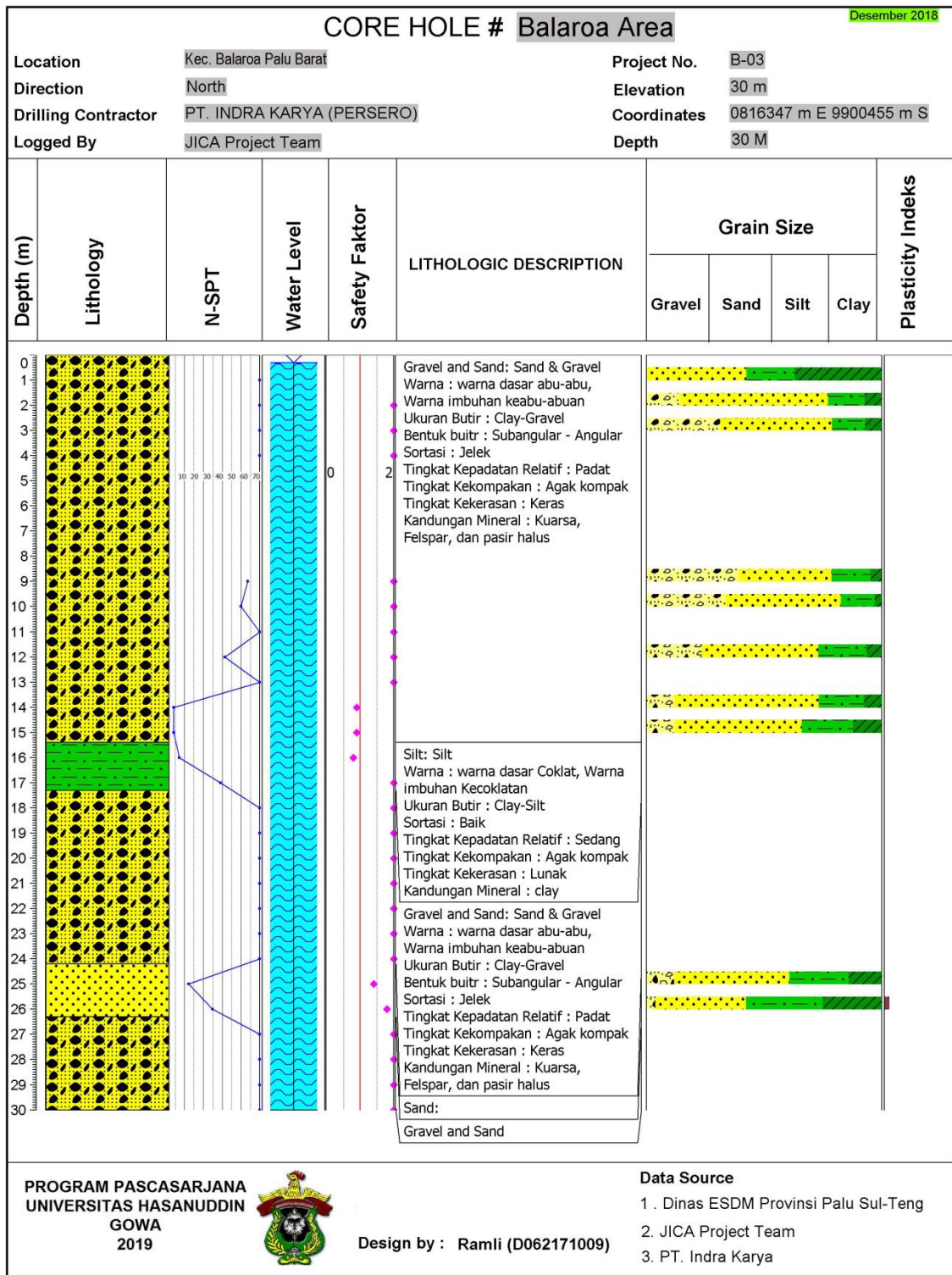
Titik Bor B-03

Titik bor B-03 berada diposisi 500 meter sebelah utara daerah Balaroo yang terdampak likuifaksi dengan titi koordinat 0816296 m E & 9899931 m S. Penentuan titik bor ini bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan daerah Balaroo yang tidak mengalami likuifaksi tapi terindikasi berpotensi terjadi likuifaksi menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM), 2012.

Hasil Pengeboran di jumpai tiga jenis litologi yang berbeda yaitu kerikil pasiran, pasir dan lanau. Litologi kerikil pasiran memiliki ketebalan 15,4 meter, dengan nilai N-SPT yang rata-rata 6 - 500 yang berpengaruh terhadap faktor keamanan sehingga tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian pada meteran (15.40 – 17.30) m jenis litologi lanau dengan nilai N-SPT, rata-rata 10 – 40 dengan faktor keamanan berada pada tahap kritis. Kemudian di kedalaman (17.30 – 24.20) m terdapat litologi kerikil pasiran dengan nilai N-SPT yang sangat tinggi yaitu 120 - 150 dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Lapisan di bawahnya terdapat litologi berupa material pasir dengan nilai N-SPT yang sedang yaitu 17 – 35 dan nilai faktor keamanan tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Pada lapisan paling bawah dijumpai material kerikil pasiran dengan ketebalan 3.70 m dengan nilai N-SPT yang tinggi, rata-rata 100 - 200 dan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah sangat dangkal hanya berada pada kedalaman 0.30 m, hal demikian disebabkan karena drainase sangat rendah. analisa ukuran butir masih didominasi oleh material pasir dan lanau.

Tabel 9. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-3 Daerah Balaroa (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Kerikil Pasiran	150	0	1,70	0,00
1	2	Kerikil Pasiran	150	0,137	1,31	9,53
2	3	Kerikil Pasiran	150	0,135	1,23	9,08
3	4	Kerikil Pasiran	500	0,133	3,77	28,42
4	5	Kerikil Pasiran		0,131	0,06	
5	6	Kerikil Pasiran		0,128	0,05	
6	7	Kerikil Pasiran		0,126	0,05	
7	8	Kerikil Pasiran		0,124	0,05	
8	9	Kerikil Pasiran	61	0,121	0,32	2,64
9	10	Kerikil Pasiran	56	0,119	0,24	2,00
10	11	Kerikil Pasiran	150	0,117	0,83	7,14
11	12	Kerikil Pasiran	44	0,115	0,64	5,57
12	13	Kerikil Pasiran	150	0,112	0,76	6,77
13	14	Lanau	6	0,110	0,10	0,86
14	15,4	Lanau	6	0,108	0,10	0,89
15,4	15	Lanau	10	0,106	0,08	0,77
15	16	Lanau	10	0,106	0,08	0,77
16	17	Kerikil Pasiran	41	0,105	0,29	2,79
17	17,3	Kerikil Pasiran	41	0,105	0,29	2,79
17,30	18	Kerikil Pasiran	150	0,103	0,63	6,17
18	19	Kerikil Pasiran	150	0,100	0,61	6,08
19	20	Kerikil Pasiran	150	0,098	0,59	6,00
20	21	Kerikil Pasiran	300	0,095	1,17	12,28
21	22	Kerikil Pasiran	120	0,093	0,42	4,50
22	23	Kerikil Pasiran	115	0,091	0,38	4,18
23	24	Kerikil Pasiran	116	0,091	0,38	4,23
24	24,2	Kerikil Pasiran	120	0,088	0,39	4,37
24,2	25	Pasir	17	0,086	0,12	1,43
25	26	Pasir	18	0,086	0,13	1,46
26	26,3	Pasir	35	0,084	0,15	1,83
26,3	27	Kerikil Pasiran	100	0,082	0,24	2,91
27	28	Kerikil Pasiran	150	0,079	0,45	5,67
28	29	Kerikil Pasiran	300	0,077	0,93	12,11
29	30	Kerikil Pasiran	200	0,075	0,59	7,92



Gambar 23. Log bor titik pengeboran B-03 daerah Balaroa.

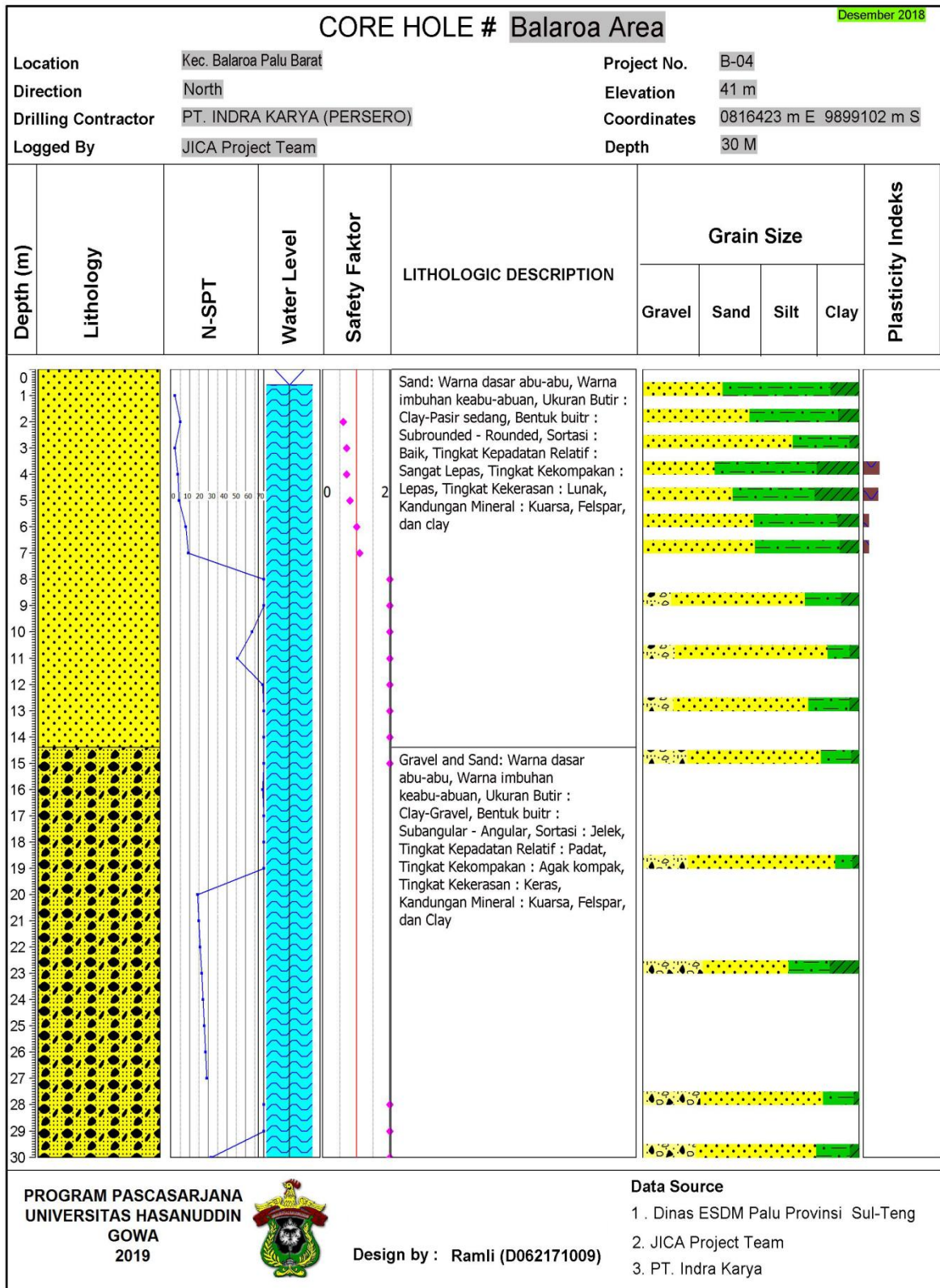
4. Titik Bor B-04

Titik bor B-04 berada di posisi 500 m. bagian sebelah selatan daerah Balaroo yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0816423 m E & 9899102 m S. Penentuan titik bor ini bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan daerah Balaroo bagian selatan yang tidak mengalami likuifaksi yang terindikasi berpotensi terjadi likuifaksi menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Badan Geologi Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM), 2012.

Dari hasil pengeboran yang telah dilakukan dijumpai dua jenis litologi yaitu litologi pasir dan litologi kerikil pasiran pada tabel 11 dan gambar 31 log bor. Lapisan atas dijumpai material pasir dengan ketebalan 14.40 m. Pada kedalaman (1 - 7,5) m memiliki nilai N-SPT yaitu 3 – 13 dan faktor keamanan yang berpotensi terjadi likuifaksi, di kedalaman (7,5 – 14,40) m, memiliki nilai N-SPT 50-135 sehingga faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian pada lapisan litologi di bawahnya berupa kerikil pasiran dengan ketebalan 15.60 m nilai N-SPT yaitu 30 – 120, dengan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah sangat dangkal hanya berada pada kedalaman 0.60 m, hal demikian disebabkan karena drainase sangat rendah. Kondisi material sebagian bersifat plastis yang dapat mempengaruhi kondisi litologi lebih resisten terhadap getaran gempa bumi.

Tabel 10. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-4 Daerah Balaroa (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Pasir	3	0,000	0,049	0,000
1	2	Pasir	7	0,148	0,093	0,627
2	3	Pasir	3	0,145	0,097	0,666
3	4	Pasir	5	0,143	0,097	0,682
4	5	Pasir	6	0,140	0,105	0,751
5	6	Pasir	11	0,138	0,139	1,010
6	7,5	Pasir	13	0,135	0,148	1,096
7	8	Pasir	141	0,133	0,972	7,309
8	9	Pasir	90	0,131	0,521	3,990
9	10	Pasir	61	0,128	0,329	2,572
10	11	Pasir	50	0,126	0,427	3,398
11	12	Pasir	69	0,123	0,349	2,836
12	13	Pasir	84	0,121	0,249	2,065
13	14	Pasir	70	0,118	0,314	2,655
14	14,4	Pasir	135	0,116	0,445	3,848
14,4	15	Kerikil Pasiran		0,113	0,049	0,000
15	15,5	Kerikil Pasiran		0,113	0,049	0,000
16	16	Kerikil Pasiran		0,110	0,049	0,000
17	16,5	Kerikil Pasiran		0,107	0,049	0,000
18	17	Kerikil Pasiran		0,104	0,050	0,000
19	17,5	Kerikil Pasiran		0,101	0,049	0,000
20	18	Kerikil Pasiran		0,099	0,049	0,000
21	18,5	Kerikil Pasiran		0,096	0,049	0,000
22	19	Kerikil Pasiran		0,094	0,071	0,000
23	19,5	Kerikil Pasiran		0,091	0,049	0,000
24	20	Kerikil Pasiran		0,088	0,049	0,000
25	20,5	Kerikil Pasiran		0,086	0,049	0,000
26	21	Kerikil Pasiran		0,083	0,049	0,000
27	21,5	Kerikil Pasiran	75	0,081	8,500	104,989
28	22	Kerikil Pasiran	120	0,079	0,332	4,226
29	30	Kerikil Pasiran	30	0,076	0,162	2,125



Gambar 24. Log bor titik pengeboran B-04 daerah Balaroa.

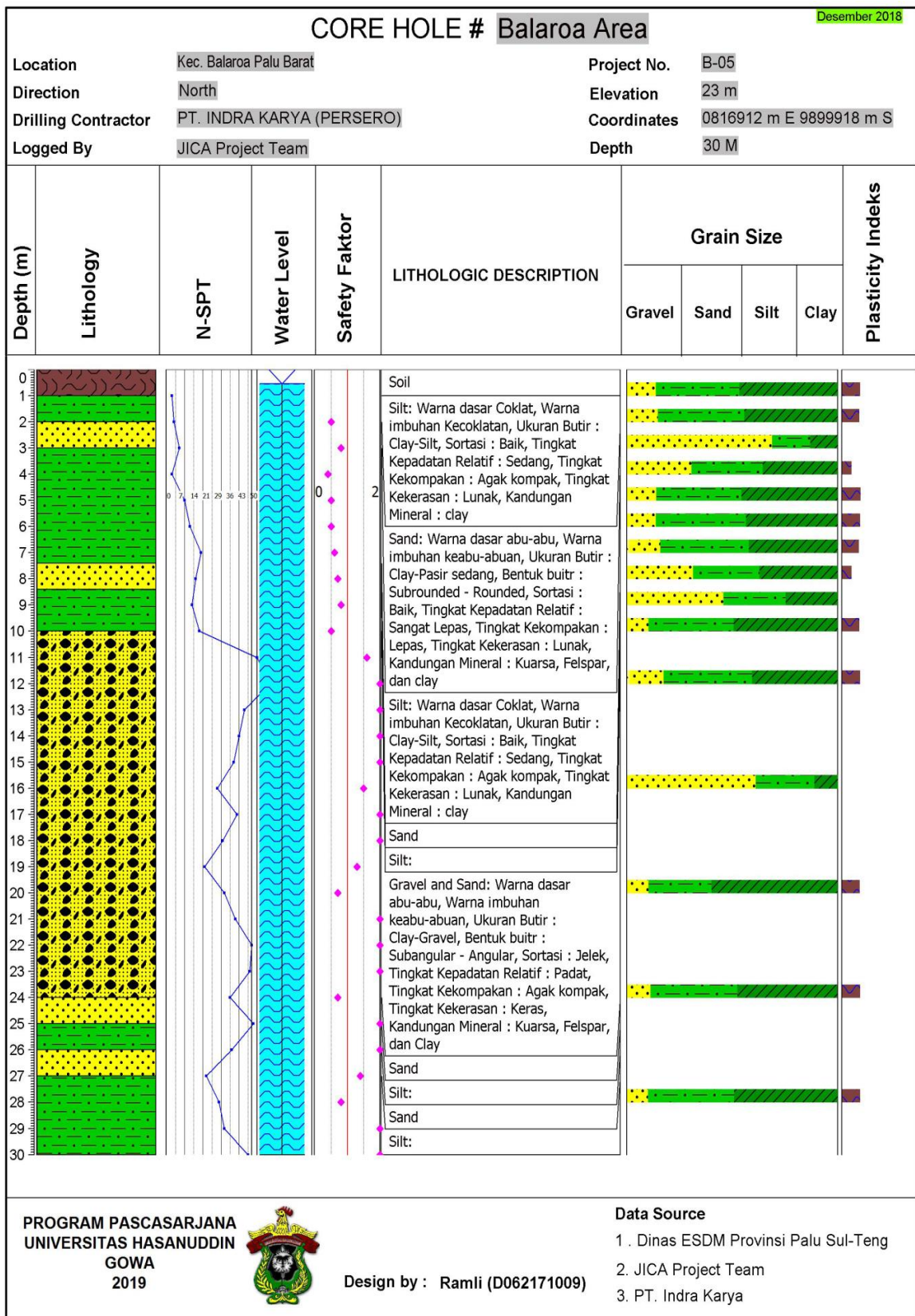
5. Titik Bor B-05

Posisi titik bor B-05 berada di pinggir sebelah timur wilayah daerah Balaroa yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0816912 m E & 9899918 m S. Lokasi titik pengeboran merupakan daerah yang mengalami dampak longsor dari material likuifaksi.

Hasil pengeboran dijumpai tiga jenis litologi pada tabel 12 dan gambar 32, yakni berupa litologi lanau, pasir dan kerikil pasiran yang berselingan. Pada lapisan atas dijumpai material lanau dan *top soil* dengan nilai N-SPT yaitu 3-19 dan faktor keamanan yang berpotensi terjadi likuifaksi. Pada meteran ke-8 samapai ke-16 dijumpai lapisan pasir dan lanau dengan nilai N-SPT yaitu 14 – 37 dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian di kedalaman (15 - 24) m dijumpai litologi kerikil pasiran dengan nilai N-SPT yaitu 21 - 47 dan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Lapisan berikutnya dijumpai material pasir dan lanau yang berselingan dengan ketebalan masing-masing 1 m dan 1,60 m dengan nilai N-SPT yaitu 22 – 48, dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah sangat dangkal hanya berada pada kedalaman 0.55 m, hal demikian disebabkan karena drainase sangat rendah. Kemudian dari analisis ukuran butir masih didominasi oleh material lanau dan lempung sehingga ini salah satu faktor penyebab besarnya porositas material.

Tabel 11. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor B-5 Daerah Balaroa (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Lanau	3	0,000	0,049	0,000
1	2	Lanau	4	0,126	0,057	0,453
2	3	Pasir	7	0,133	0,103	0,772
3	4	Lanau	3	0,137	0,060	0,435
4	5	Lanau	10	0,139	0,064	0,461
5	6	Lanau	13	0,140	0,068	0,483
6	7	Lanau	14	0,140	0,068	0,483
7	7,4	Lanau	19	0,140	0,080	0,574
7,4	8	Pasir	16	0,138	0,100	0,722
8	8,4	Pasir	16	0,138	0,100	0,722
8,9	9	Lanau	14	0,135	0,109	0,806
9	10	Lanau	18	0,134	0,065	0,483
10	11	Pasir	50	0,130	0,212	1,623
11	12	Pasir	57	0,126	0,289	2,288
12	13	Pasir	43	0,123	5,535	45,111
13	14	Pasir	40	0,119	0,469	3,931
14	15	Pasir	37	0,116	0,327	2,814
15	16	Lanau	28	0,113	0,170	1,508
16	17	Kerikil Pasiran	39	0,110	0,307	2,794
17	18	Kerikil Pasiran	31	0,107	0,211	1,973
18	19	Kerikil Pasiran	21	0,104	0,139	1,332
19	20	Kerikil Pasiran	32	0,102	0,067	0,661
20	21	Kerikil Pasiran	38	0,099	0,237	2,392
21	22	Kerikil Pasiran	47	0,096	0,310	3,216
22	23	Kerikil Pasiran	46	0,094	0,282	3,010
23	24	Kerikil Pasiran	35	0,091	0,068	0,749
24	25	Pasir	48	0,089	0,275	3,094
25	26	Lanau	36	0,087	0,188	2,168
26	27	Pasir	22	0,085	0,118	1,395
27	28	Lanau	29	0,082	0,062	0,751
28	29	Lanau	32	0,080	0,049	0,611
29	30	Lanau	45	0,078	0,049	0,627



Gambar 25. Log bor titik pengeboran B-05 daerah Balaroa

6. Penampang Sayatan Titik Bor Daerah Balaroa

Gambaran penampang sayatan antara titik bor B-01 dengan titik bor B-05 dengan menggunakan program Rockworks 16, menghasilkan profil litologi bawah permukaan daerah Balaroa yang telah mengalami likuifaksi, dengan arah pelamparan barat-timur pada gambar 33.

Kondisi litologi bawah permukaan, tampak kelihatan jika daerah yang mengalami likuifaksi bahwa tersusun oleh material pasir dengan ketebalan 25 m memanjang kearah timur sepanjang 200 m kemudian daerah sekitarnya yang terdampak likuifaksi dan longsor disusun oleh material kerikil pasiran dengan ketebalan 5 meter, di bawah lapisan kerikil pasiran terdapat lanau yang bisa diasumsikan sebagai bagian dari batas bidang yang mengalami longsor.

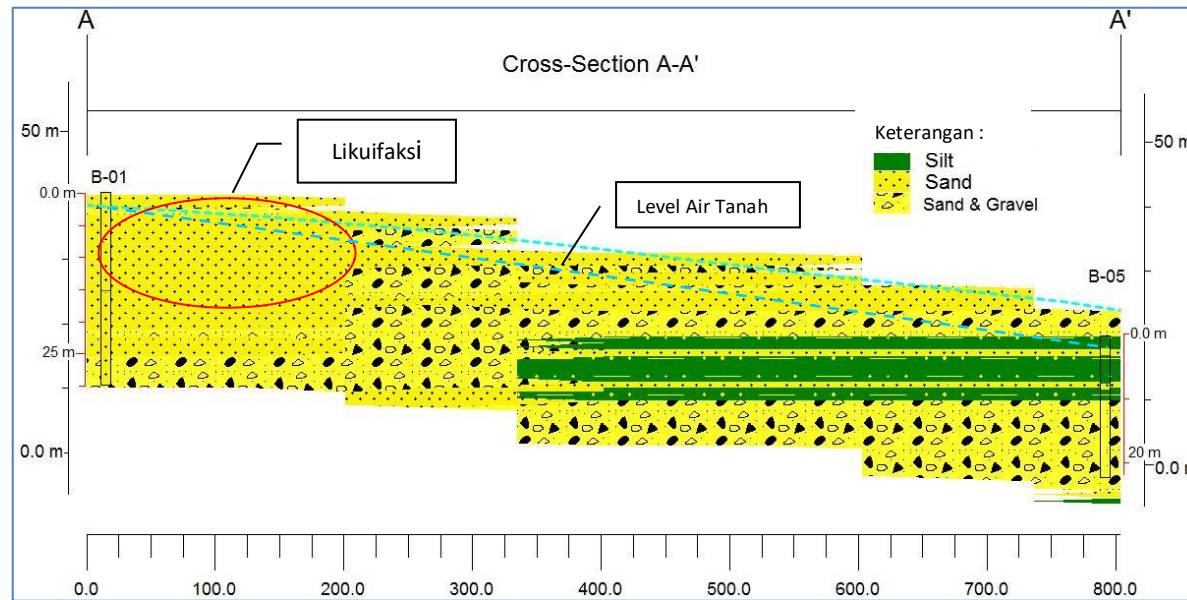
Penampang sayatan titik bor B-04, titik bor B-01, titik bor B-02 dan titik bor B-03 dengan menggunakan Program Rockworks 16, menghasilkan profil litologi bawah permukaan Daerah Balaroa dengan arah selatan-utara pada gambar 34.

Penampang sayatan menampakan korelasi litologi antara daerah yang mengalami likuifkasi dengan daerah yang tidak mengalami likuifaksi (teridentifikasi berpotensi likuifaksi). Kondisi litologi bawah permukaan dibagian selatan (titik bor B-04) terdiri dari material pasir dengan ketebalan 14 meter dari analisa faktor keamanan hanya 5 meter, yang berpotensi mengalami likuifaksi. Pada litologi yang sama dengan ketebalan 9 meter memiliki faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi ini disebabkan karena mengalami peningkatan tegangan vertikal yang cukup tinggi. Kemudian lapisan litologi yang di bawahnya

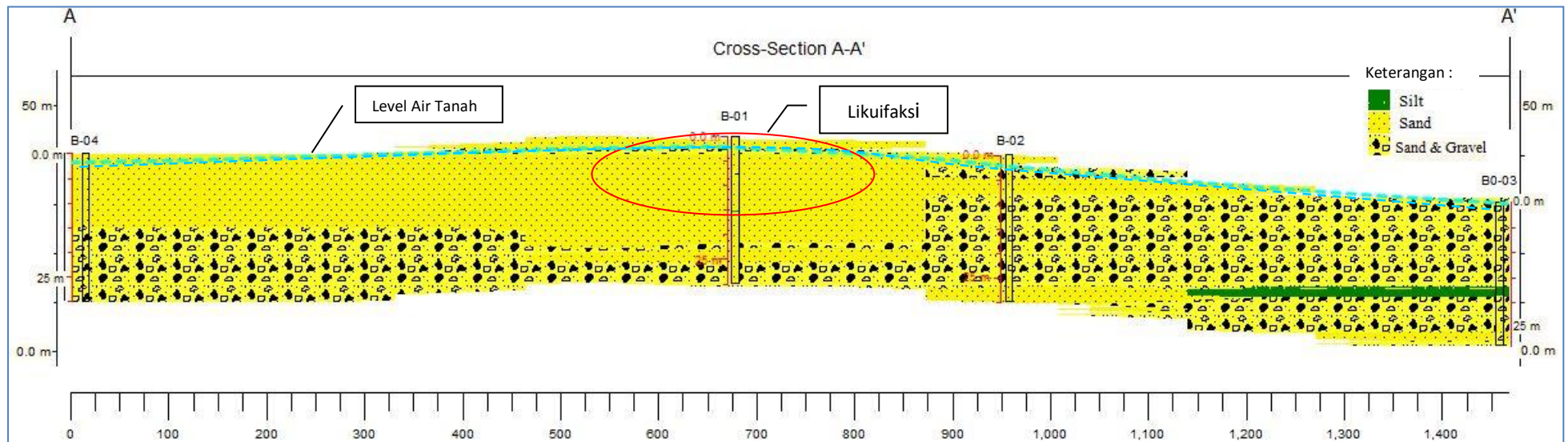
berupa pasir kerikil dengan ketebalan 15 meter yang sangat resisten mengalami likuifaksi.

Kondisi litologi berubah kearah bagian tengah utara Daerah Balaroa yaitu sekitar 450 meter dari arah selatan, yang melampar ke arah utara sejauh 400 meter diantara titik bor B-01, dimana dijumpai material pasir dengan ketebalan 30 meter, dari uji N-SPT bahwa 7 meter yang berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian material yang sama dengan ketebalan 14 meter tidak berpotensi terjadi likuifaksi disebabkan peningkatan nilai tegangan vertikal. Perubahan litologi yang terjadi kearah utara Balaroa yaitu terdapatnya perlapisan kerikil pasiran dengan ketebalan rata-rata 25 meter, yang resisten terhadap likuifaksi.

Dari sayatan dua dimensi korelasi antara beberapa titik bor memperlihatkan korelasi antar titik bor yang satu dengan yang lainnya, dari hasil analisis bahwa perbedaan jenis litologi, sangat mempengaruhi pola karakteristik likuifaksi yang terjadi di daerah Balaroa Kecamatan Palu Timur. Ketebalan material pasir yang memiliki nilai N-SPT yang rendah sangat mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi sementara kerikil pasiran memiliki nilai N-SPT yang tinggi, sangat resisten terhadap likuifaksi.



Gambar 26. Penampang Sayatan Ttitik Bor B-01 & B-05 daerah Balaraa.



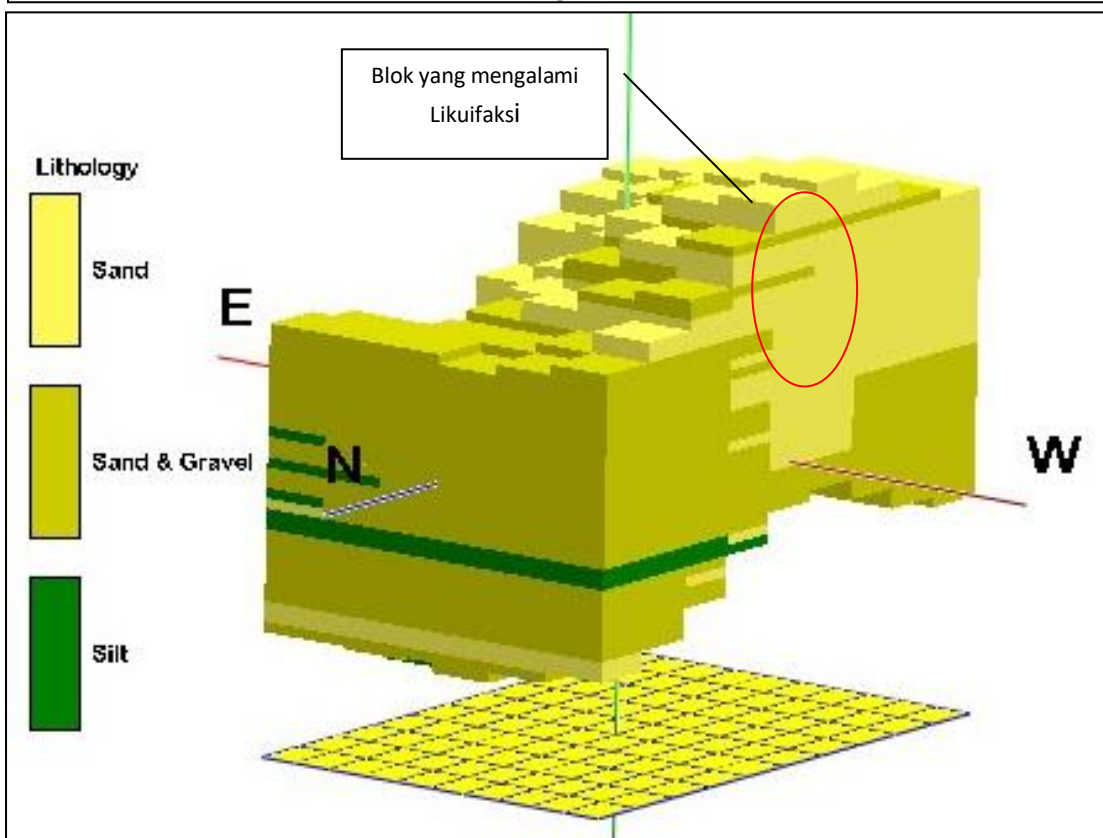
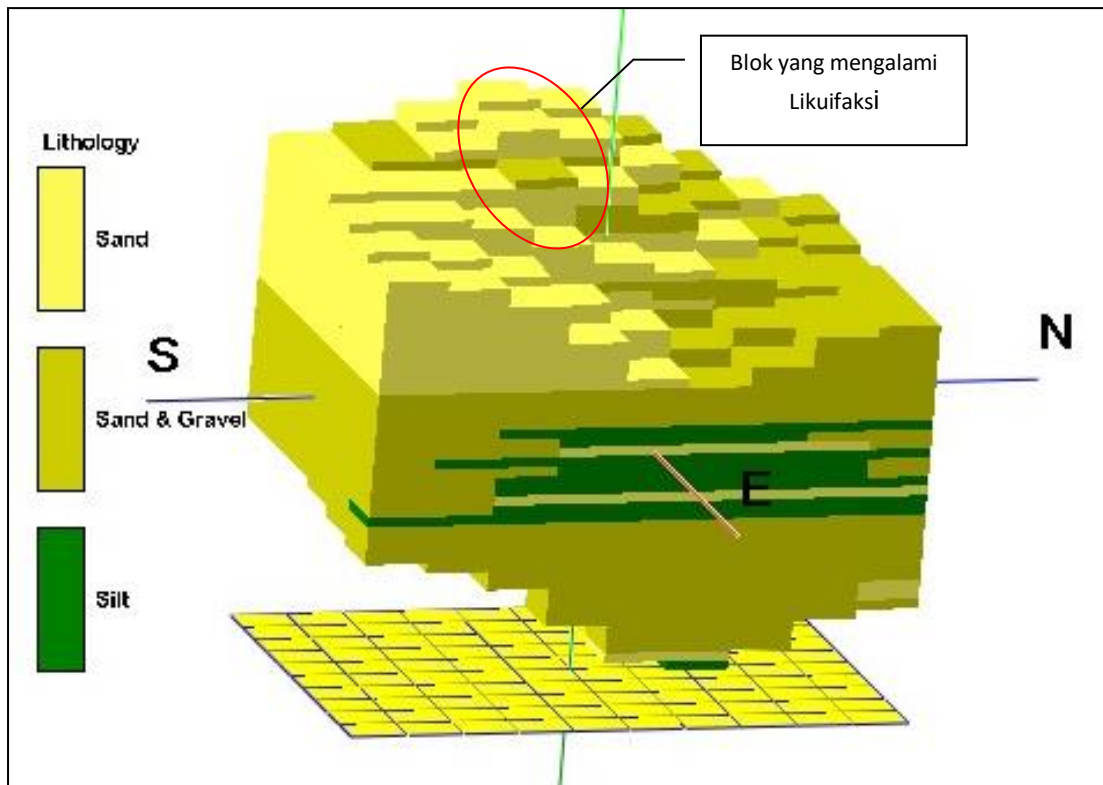
Gambar 27. Penampang Sayatan titik Bor B-01, B-01, B-02 & B-05 daerah Balaraa.

7. Model Litologi Bawah Permukaan Daerah Balaroa

Model tiga dimensi menggambarkan bagaimana korelasi antara satuan litologi bawah permukaan sehingga akan memperlihatkan bagian yang mengalami likuifaksi dan bagian yang terdampak akibat pengaruh likuifaksi begitupun dengan daerah yang tidak mengalami likuifaksi.

Gambaran dari model tiga dimensi mengkorelasikan antar satuan litologi bawah permukaan, dan telah terlihat pada gambar 35. lapisan litologi paling atas disusun oleh material pasir sehingga dapat diasumsikan jika material pasir lebih muda dibandingkan dengan litologi kerikil pasiran. proses pengendapan kedua jenis litologi melalui mekanisme dalam ruang dan waktu yang berbeda. Analisa dari perbedaan ketinggian topografi bahwa material yang terbentuk adanya proses sedimentasi yang terakumulasi dalam suatu cekungan. Kemudian beberapa bagian blok tererosi kembali sehingga muncul kerikil pasiran kepermukaan secara tidak merata.

Bagian selatan wilayah Balaroa dominan tersusun oleh material pasir dengan ketebalan yang berbeda, sedangkan daerah Balaroa bagian utara tersusun oleh material kerikil pasiran. Bagian utara lebih resisten terhadap likuifaksi dengan komposisi material kerikil pasiran dan adanya sisipan berupa lanau. Daerah yang mengalami likuifaksi merupakan daerah yang tersusun oleh sedimen pasir yang tebal, dan berada pada topografi yang tinggi.



Gambar 28. Pemodelan tiga dimensi (3D) korelasi antara litologi bawah permukaan Daerah Balaroa.

2. Evaluasi Litologi Daerah Petobo

Analisis litologi Daerah Petobo dengan mengidentifikasi jenis litologi permukaan dan evaluasi geologi teknik litologi bawah permukaan dengan berdasarkan nilai *Standart Penetration Test* (N-SPT). Analisis ini memberikan gambaran sebaran litologi secara lateral dan susunan perlapisan litologi secara vertikal serta susunan perlapisan sifat fisik litologi pada daerah Petobo.

a. Litologi Permukaan

Daerah Petobo tersusun oleh material *alluvial* berupa pasir yang berukuran lanau, pasir halus dan pasir kerikil pasiran. Dengan demikian bahwa litologi penyusun daerah Petobo dan sekitarnya merupakan material hasil bentukan akumulasi dari transportasi oleh material sedimen yang masuk dalam Formasi Aluvium & Endapan Pantai.



Gambar 29. Litologi permukaan Daerah Petobo berupa lanau dan pasir halus.

Dari pengamatan dan analisis lapangan bahwa litologi penyusun daerah Petobo berupa pasir halus dan kerikil pasiran, perselingan pasir halus dan kerikil pasiran suatu indikasi bahwa material penyusun daerah tersebut merupakan proses aktivitas tektonik dan sedimentasi.



Gambar 30. Litologi Permukaan Daerah Petobo Berupa pasir dan kerikil.

b. Geologi Teknik Bawah Permukaan

Pengamatan dan analisa litologi bawah permukaan dari hasil kegiatan pengeboran pada lima titik pengeboran, menjadi suatu parameter untuk mengetahui korelasi antara lapisan litologi . Ada tiga titik pengeboran di pinggir area yang terdampak likuifaksi, dan dua titik pengeboran berada diluar dari lokasi yang terdampak likuifaksi yang masing-masing berjarak 1.20 Km dan 250 m. pengeboran diluar titik area lokasi yang mengalami likuifkasi bertujuan untuk

membandingkan karakteristik kondisi litologi bawah permukaan daerah yang terdampak likuifaksi dengan kondisi daerah yang berpotensi terjadi likuifaksi.



Gambar 31. Peta Titik Pengeboran Geologi Teknik Daerah Petobo.

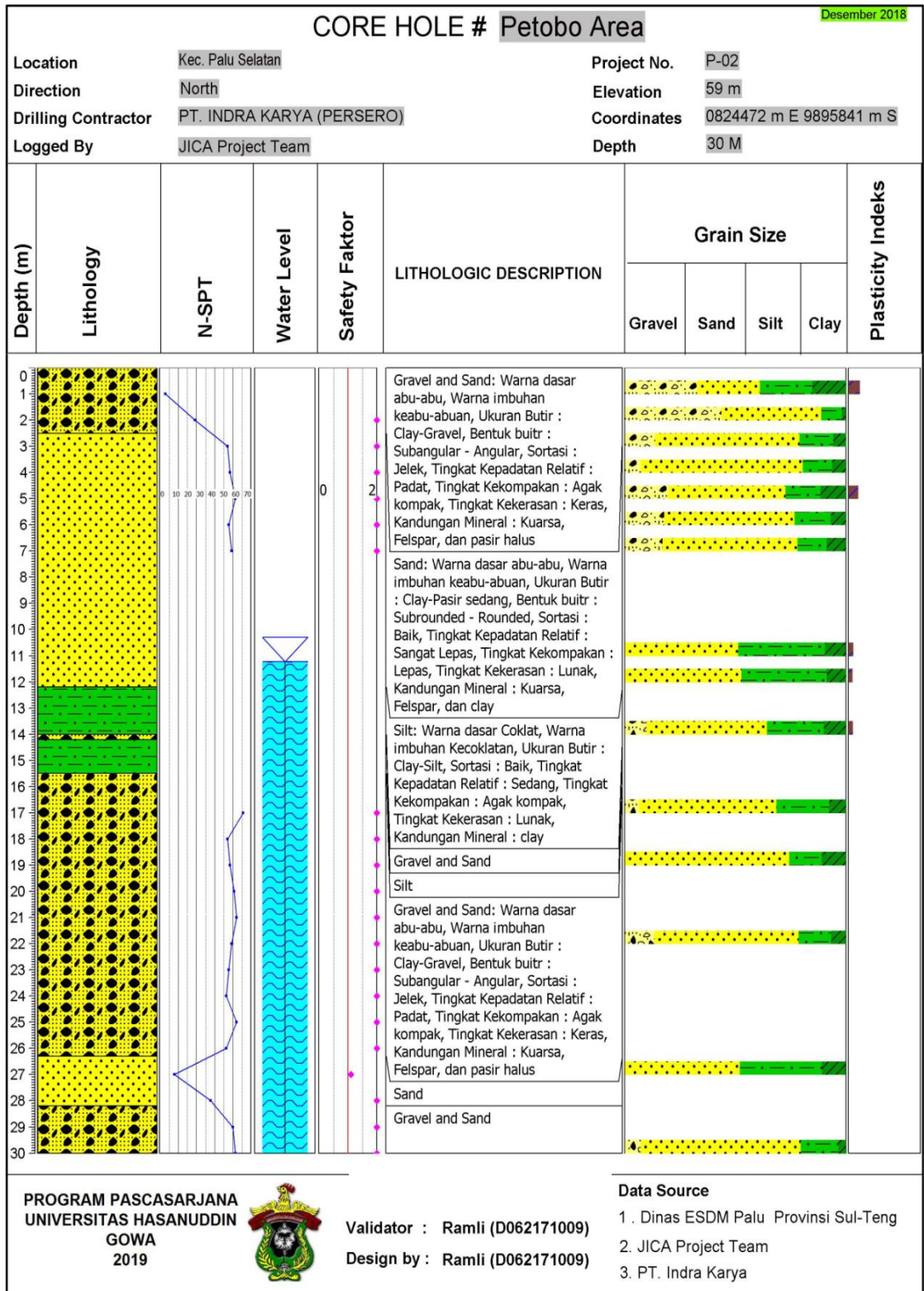
Kegiatan pengeboran geologi teknik dengan lima titik pengeboran menggambarkan kondisi profil susunan perlapisan litologi yang berbeda, setiap profil log bor menampilkan susunan perlapisan litologi, nilai N-SPT, Kedalaman air tanah, faktor keamanan, ukuran butir dan tingkat plastisitas tiap kedalaman dalam lapisan litologi. Berikut ini akan menampilkan lima log bor hasil pengeboran daerah Petobo sebagai berikut:

1. Titik Bor P-01

Titik Bor P-01 terletak dibagian timur daerah Petobo yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0825376 m E 9895789 m S. Lokasi titik pengeboran di bagian pinggir sebelah timur lokasi terjadinya likuifaksi. Pengeboran yang dilakukan pada kedalaman 30 meter, pada log bor terdiri dari tiga jenis litologi yang berbeda dan ketebalan lapisan yang berbeda, yakni litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Lapisan material litologi kerikil pasiran dari meteran pertama sampai di meteran 2,5 dari hasil uji geologi teknik dilapangan bahwa nilai N-SPT 4 - 27, faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Litologi pasir dengan ketebalan 10 m dengan nilai N-SPT 53 – 58, sementara faktor keamanan tidak berpotensi terjadinya likuifaksi. Lapisan litologi lanau dengan ketebalan ± 3 m, diasumsikan karakteristik materialnya sama dengan material pasir yang berada di lapisan atasnya. Litologi kerikil pasiran dengan ketebalan 14 m, dengan sisipan material pasir dengan ketebalan 1,9 m, nilai N-SPT sebesar 52-60 dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah yakni 11,22 m. yang berarti kondisi demikian tidak mempengaruhi material terjadinya likuifaksi. Kondisi ini disebabkan adanya saluran irigasi (tanggul) di wilayah tersebut mengakibatkan air tanah mendapat pengaruh drainase, sedangkan daerah yang mengalami likuifaksi mendapat pengaruh resapan air permukaan dari irigasi tersebut disaat musim hujan.

Tabel 12. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-1 Daerah Petobo (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Kerikil Pasiran	4	0,000	0,081	0,0
1	2	Kerikil Pasiran	27	0,072	0,795	11,4
2	2,5	Kerikil Pasiran	27	0,072	0,795	11,4
2,5	3	Pasir	52	0,071	0,358	5,2
3	4	Pasir	54	0,070	0,326	4,8
4	5	Pasir	58	0,068	0,316	4,8
5	6	Pasir	53	0,067	0,204	3,1
6	7	Pasir	55	0,066	0,168	2,6
7	8	Pasir		0,065	0,049	
8	9	Pasir		0,064	0,049	
9	10	Pasir		0,062	0,049	
10	11	Pasir		0,061	0,049	
11	12	Pasir		0,061	0,049	
12	12,2	Pasir		0,062	0,049	
12,2	13	Pasir		0,063	0,049	
13	14	Lanau		0,064	0,049	
14	14,3	Kerikil Pasiran		0,065	0,049	
14,3	15	Lanau		0,064	0,049	
15	15,5	Kerikil Pasiran		0,066	0,049	
15,5	16	Kerikil Pasiran	64	0,066	0,676	10,6
16	17	Kerikil Pasiran	52	0,066	0,293	4,6
17	18	Kerikil Pasiran	54	0,066	0,297	4,6
18	19	Kerikil Pasiran	57	0,066	0,312	4,9
19	20	Kerikil Pasiran	59	0,065	0,316	5,0
20	21	Kerikil Pasiran	55	0,065	0,269	4,3
21	22	Kerikil Pasiran	53	0,064	0,246	4,0
22	23	Kerikil Pasiran	51	0,063	0,227	3,7
23	24	Kerikil Pasiran	59	0,063	0,266	4,4
24	25	Kerikil Pasiran	59	0,063	0,266	4,4
25	26	Kerikil Pasiran	59	0,063	0,266	4,4
26	26,3	Kerikil Pasiran	51	0,062	0,214	3,6
26,3	27	Kerikil Pasiran	51	0,062	0,214	3,6
27	28	Pasir	11	0,061	0,066	1,1
28	28,2	Pasir	39	0,059	0,156	2,7
28,2	29	Pasir	56	0,058	0,222	3,9
29	30	Kerikil Pasiran	58	0,057	0,226	4,1



Gambar 32. Log bor titik pengeboran P-01 daerah Petobo.

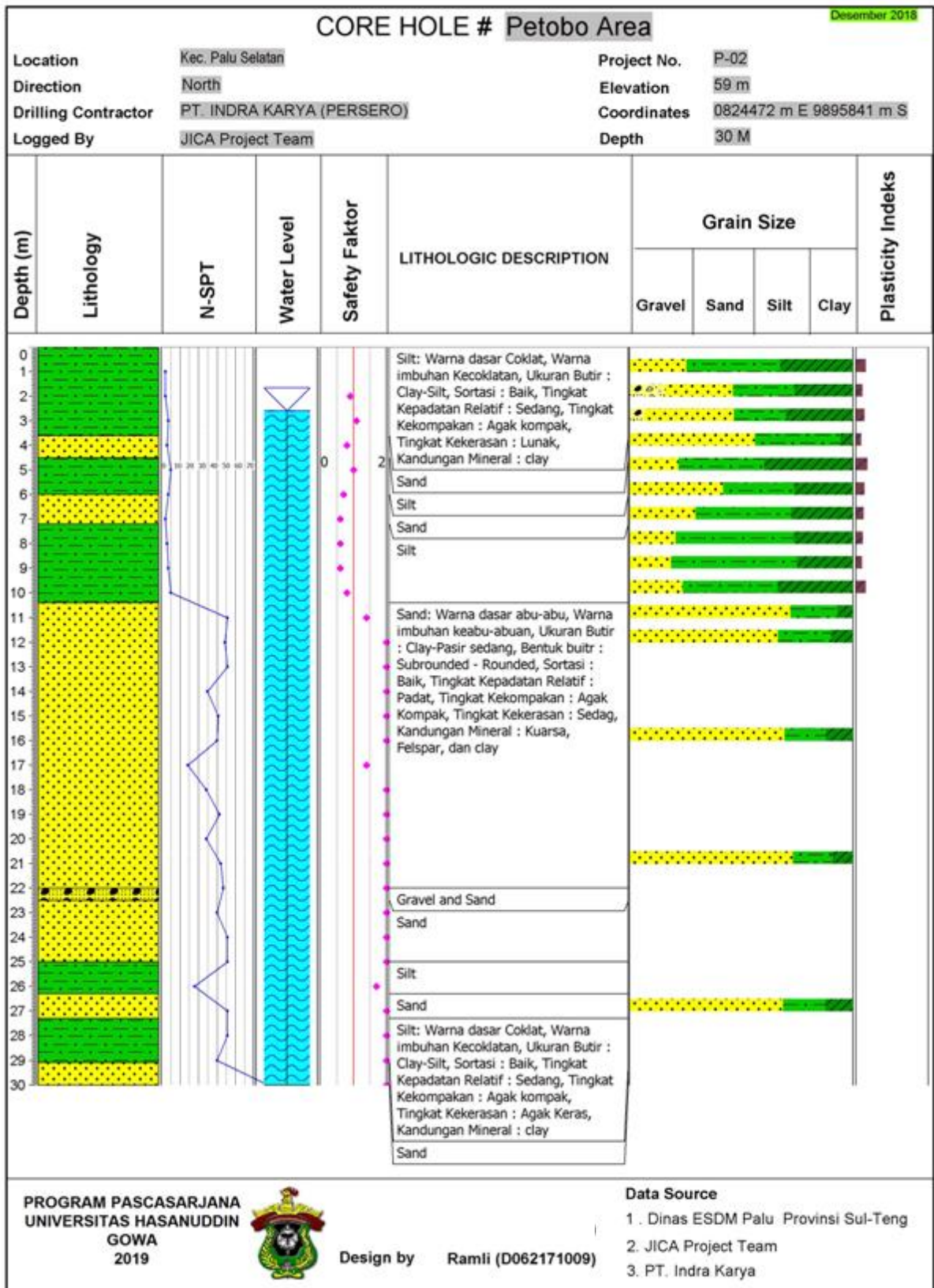
2. Titik Bor P-02

Titik Bor P-02 terletak dibagian tengah daerah Petobo yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0824472 m E 9895841 m S. Berdasarkan survei lapangan bahwa lokasi titik pengeboran bagian dari titik lokasi yang mengalami likuifaksi. Profil pada log litologi pengeboran bahwa dijumpai tiga jenis litologi antara lain lanau, pasir dan kerikil pasiran. Pada meteran pertama sampai dengan meteran 10 disusun oleh material lanau dengan sisipan litologi pasir dengan ketebalan 0,9 m dan 1,2 m dengan nilai N-SPT yaitu 3 – 7, sehingga faktor keamanan sangat berpotensi terjadi likuifaksi. Pada meteran 11 sampai dengan meteran 25, tersusun oleh litologi pasir dengan sisipan material litologi berupa kerikil pasiran dengan nilai N-SPT yaitu 20 – 50, kondisi demikian bahwa faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi, ini dipengaruhi oleh besarnya tegangan dari material tersebut. Kemudian pada meteran 25 – 30, disusun oleh litologi lanau yang berselingan dengan litologi pasir, dengan nilai N-SPT 25-81 dan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah sangat dangkal dengan kedalaman 2,60 m, kondisi demikian sangat mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi.

Titik bor P-02 bagian dari gambaran kondisi litologi bawah permukaan daerah petobo yang telah mengalami likuifaksi, dominan disusun oleh litologi lanau dan pasir dengan ketebalan \pm 10 m, secara teori bahwa kondisi demikian sangat berpotensi terjadi likuifaksi.

Tabel 13. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-2 Daerah Petobo (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Lanau	3	0,000	0,069	0,00
1	2	Lanau	3	0,072	0,063	0,91
2	3	Lanau	5	0,074	0,077	1,08
3	3,6	Lanau	5	0,074	0,077	1,08
3,6	4	Pasir	4	0,087	0,068	0,80
4	4,5	Pasir	4	0,087	0,068	0,80
4,5	5	Lanau	7	0,095	0,090	0,98
5	6	Lanau	7	0,095	0,090	0,98
6	7	Pasir	5	0,101	0,072	0,74
7	7,2	Pasir	3	0,104	0,057	0,57
7,2	8	Lanau	4	0,106	0,062	0,61
8	9	Lanau	4	0,106	0,062	0,61
9	10	Lanau	5	0,108	0,068	0,65
10	10,4	Lanau	7	0,109	0,079	0,75
10,4	11	Pasir	50	0,109	0,148	1,41
11	12	Pasir	50	0,109	0,148	1,41
12	13	Pasir	48	0,108	0,559	5,34
13	14	Pasir	50	0,107	0,557	5,37
14	15	Pasir	35	0,106	0,297	2,90
15	16	Pasir	43	0,105	0,462	4,57
16	17	Pasir	42	0,103	0,377	3,78
17	18	Pasir	20	0,101	0,140	1,43
18	19	Pasir	34	0,100	0,233	2,41
19	20	Pasir	44	0,098	0,331	3,49
20	21	Pasir	34	0,096	0,215	2,32
21	22	Pasir	45	0,094	0,306	3,36
22	22,5	Kerikil Pasiran	47	0,092	0,314	3,53
22,5	23	Pasir	42	0,090	0,250	2,88
23	24	Pasir	50	0,088	0,316	3,72
24	25	Pasir	50	0,086	0,301	3,62
25	26	Lanau	25	0,084	0,135	1,66
26	26,3	Lanau	25	0,084	0,135	1,66
26,3	27,3	Pasir	50	0,082	0,279	3,52
27,3	28	Lanau	50	0,080	0,270	3,48
28	29	Lanau	50	0,080	0,270	3,48
29	30	Lanau	42	0,078	0,210	2,78



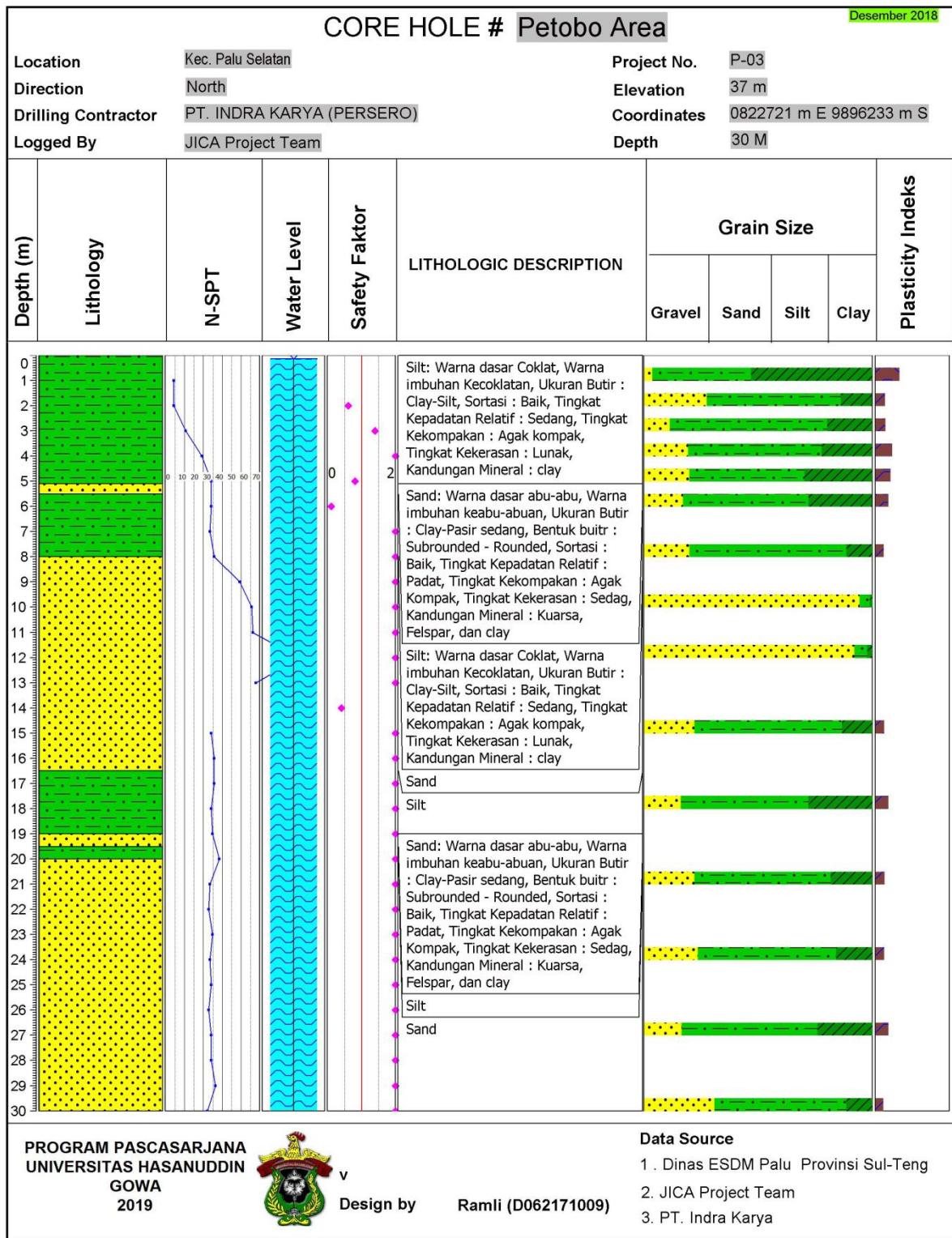
Gambar 33. Log bor titik pengeboran P-02 daerah Petobo.

3. Titik Bor P-03

Titik Bor P-03 terletak dibagian barat daerah Petobo yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0822721 m E 9896233 m S. Dari survei lapangan bahwa lokasi titik pengeboran merupakan bagian luar lokasi yang terdampak likuifaksi dan longsor, penentuan titik bor ini dengan maksud untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan pada lokasi yang tidak terdampak likuifaksi dan longsor. Hasil pengeboran sebagaimana yang disajikan dalam log bor, bahwa ada dua jenis litologi yaitu lanau dan pasir. Pada meteran pertama sampai dengan meteran ke-8 tersusun oleh material lanau dengan nilai N-SPT 6 – 36, kondisi demikian memperlihatkan adanya perubahan signifikan dimana dimeteran 1-3 nilai N-SPT yaitu 6. Kemudian mengalami perubahan yang signifikan, hal demikian disebabkan oleh meningkatnya tegangan material, kondisi demikian dipengaruhi oleh material lempung yang bersifat plastis. Pada kedalaman 8 meter samapai degang kedalaman ke-30 tersusun oleh material pasir dengan sisipan berupa litologi lanau dengan ketebalan $\pm 2,5$ m. nilai N-SPT dari litologi tersebut yakni 30 – 40, dengan demikian faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Material dengan litologi pasir tidak berpotensi likuifaksi ini disebabkan besarnya nilai tegangan. Kedalaman air tanah sangat dangkal yaitu 0,13 m, kondisi demikian sangat dipengaruhi oleh material pasir yang memiliki porositas untuk menyimpan air dengan baik.

Tabel 14. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-3 Daerah Petobo (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Lanau	6	0,000	0,106	0,00
1	2	Lanau	6	0,156	0,098	0,65
2	3	Lanau	15	0,157	0,209	1,37
3	4	Lanau	27	0,157	1,653	10,91
4	5	Lanau	34	0,155	0,121	0,81
5	5,1	Lanau	34	0,155	0,121	0,81
5,1	5,5	Pasir	34	0,152	0,016	0,11
5,5	6	Lanau	33	0,150	1,147	7,93
6	7	Lanau	33	0,150	1,147	7,93
7	8	Lanau	36	0,147	0,638	4,47
8	9	Pasir	55	0,143	0,339	2,44
9	10	Pasir	64	0,139	0,393	2,92
10	11	Pasir	65	0,135	0,376	2,88
11	12	Pasir	99	0,132	0,592	4,65
12	13	Pasir	67	0,128	0,345	2,78
13	14	Pasir		0,125	0,049	0,41
14	15	Pasir	34	0,122	0,297	2,52
15	16	Pasir	34	0,122	0,297	2,52
16	16,5	Pasir	36	0,119	0,307	2,67
16,5	16	Lanau	36	0,116	0,289	2,57
16	17	Lanau	34	0,114	0,254	2,30
17	18	Lanau	35	0,112	0,255	2,35
18	19	Lanau	35	0,112	0,255	2,35
19	19,5	Pasir	40	0,110	0,299	2,83
19,5	20	Lanau	33	0,107	0,219	2,12
20	21	Pasir	32	0,104	0,204	2,03
21	22	Pasir	32	0,104	0,204	2,03
22	23	Pasir	35	0,101	0,218	2,23
23	24	Pasir	33	0,098	0,197	2,08
24	25	Pasir	34	0,096	0,198	2,14
25	26	Pasir	32	0,093	0,180	2,01
26	27	Pasir	34	0,090	0,186	2,14
27	28	Pasir	34	0,087	0,181	2,15
28	29	Pasir	37	0,085	0,193	2,35
29	30	Pasir	31	0,082	0,158	1,99



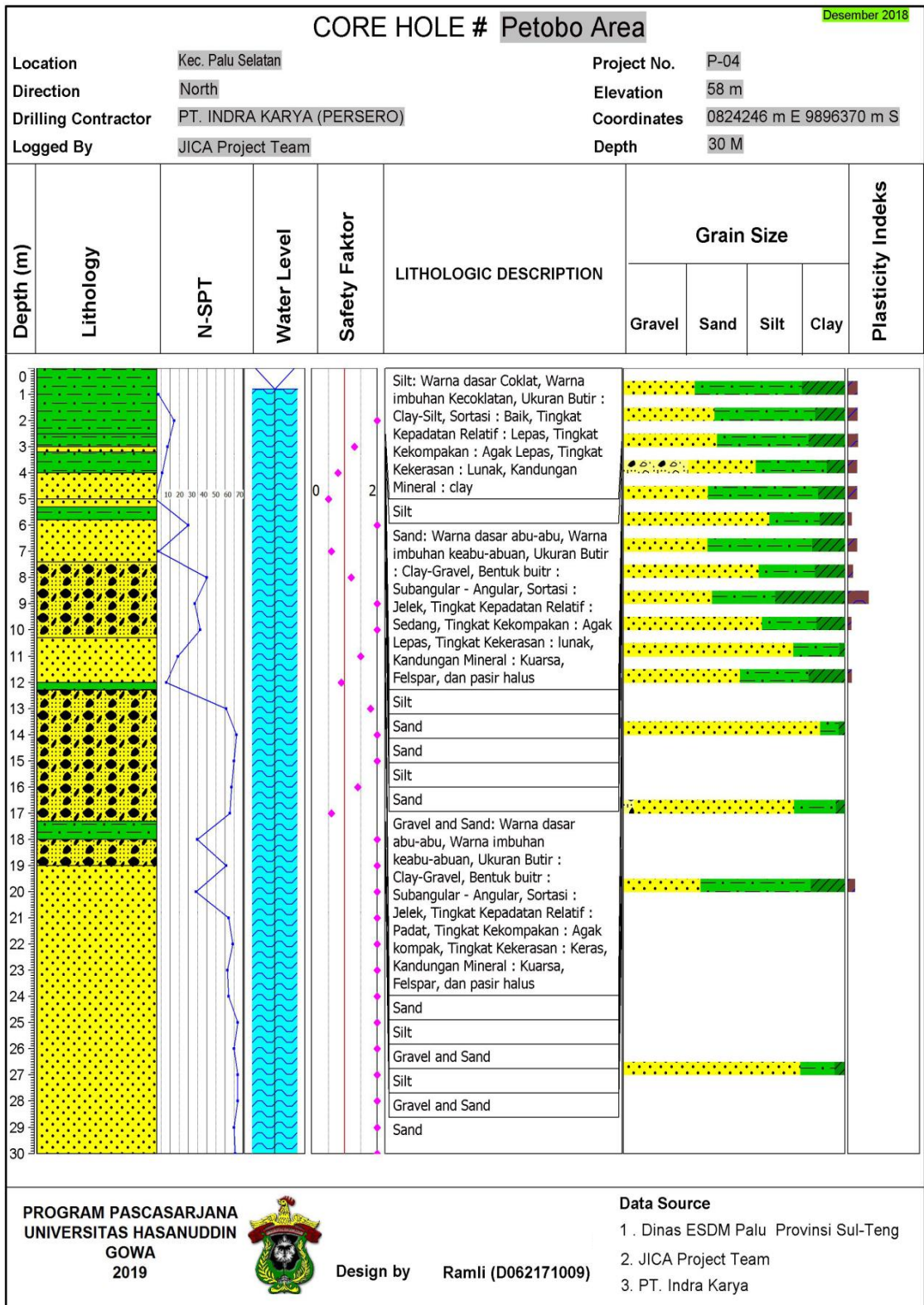
Gambar 34. Log bor titik pengeboran P-03 daerah Petobo.

4. Titik Bor P-04

Titik Bor P-04 terletak dibagian utara daerah Petobo yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0824246 m E 9896370 m S. Survei di lapangan bahwa lokasi titik pengobaran terletak di pinggir dari lokasi Petobo yang mengalami likuifaksi, penentuan titik bor tersebut bertujuan untuk mengetahui korelasi litologi dengan titik bor P-02. Hasil pengeboran berdasarkan log bor pada gambar 42. bahwa dijumpai tiga jenis litologi yakni kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pada meteran pertama sampai meteran ke-3 tersusun oleh litologi berupa lanau, dengan nilai N-SPT 5 - 17, dengan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kondisi demikian disebabkan oleh besarnya nilai plastisitas material yang mempengaruhi besarnya tegangan material. Kemudian pada meteran ke-3 sampai meteran ke-7.5 tersusun oleh litologi pasir dengan sisipan berupa lanau dengan ketebalan 0,80 m, nilai N-SPT dari masing-masing litologi yakni 2 – 8 untuk litologi pasir dan 28 untuk litologi lanau, dari faktor keamanan bahwa berpotensi terjadi likuifaksi. Pada meteran 7,5 sampai meteran ke-19 tersusun oleh litologi kerikil pasiran dengan sisipan berupa litologi pasir dan lanau, masing-masing memiliki ketebalan 1,70 m dan 0,70 m. Nilai N-SPT yang beragam dimana litologi kerikil pasiran memiliki faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi sementara sisipan pasir menunjukkan nilai N-SPT yang rendah dan berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman 19 m sampai kedalaman 30 m, tersusun oleh litologi pasir dengan nilai N-SPT yang sangat tinggi yaitu 34-66 dan tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kondisi air tanah sangat dangkal yaitu 0,80 m, dengan demikian bahwa material tersebut memiliki porositas yang baik.

Tabel 15. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-4 Daerah Petobo (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Lanau	5	0,000	0,093	0,00
1	2	Lanau	17	0,112	0,253	2,33
2	3	Lanau	12	0,130	0,164	1,30
3	3,2	Pasir	8	0,135	0,110	0,85
3,2	4	Lanau	3	0,135	0,061	0,47
4	5	Pasir	28	0,135	0,494	3,79
5	5,3	Pasir	5	0,133	0,073	0,57
5,3	5,8	Lanau	42	0,130	0,149	1,18
5,8	7	Pasir	33	0,127	0,485	3,95
7	7,4	Pasir	33	0,127	0,485	3,95
7,4	8	Kerikil Pasiran	37	0,124	0,764	6,38
8	9	Kerikil Pasiran	37	0,124	0,764	6,38
9	10	Kerikil Pasiran	37	0,124	0,764	6,38
10	10,3	Kerikil Pasiran	37	0,124	0,764	6,38
10,3	11	Pasir	20	0,122	0,176	1,50
11	12	Pasir	11	0,120	0,102	0,88
12	12,3	Lanau	57	0,117	0,210	1,85
12,3	13	Kerikil Pasiran	65	0,115	0,270	2,44
13	14	Kerikil Pasiran	63	0,112	0,219	2,03
14	15	Kerikil Pasiran	61	0,109	0,149	1,42
15	16	Kerikil Pasiran	61	0,109	0,149	1,42
16	17	Kerikil Pasiran	61	0,109	0,149	1,42
17	17,3	Kerikil Pasiran	60	0,107	0,060	0,58
17,3	18	Lanau	35	0,105	0,239	2,36
18	19	Kerikil Pasiran	57	0,102	4,493	45,49
19	20	Pasir	34	0,100	0,213	2,20
20	21	Pasir	59	0,098	1,684	17,82
21	22	Pasir	59	0,098	1,684	17,82
22	23	Pasir	58	0,093	0,548	6,08
23	23,2	Pasir	58	0,093	0,548	6,08
23,2	24	Pasir	59	0,091	0,515	5,86
24	25	Pasir	66	0,089	1,701	19,83
25	26	Pasir	63	0,086	0,556	6,65
26	27	Pasir	66	0,084	0,654	8,03
27	28	Pasir	66	0,082	0,543	6,86
28	29	Pasir	63	0,080	0,399	5,19
29	30	Pasir	64	0,077	0,390	5,22



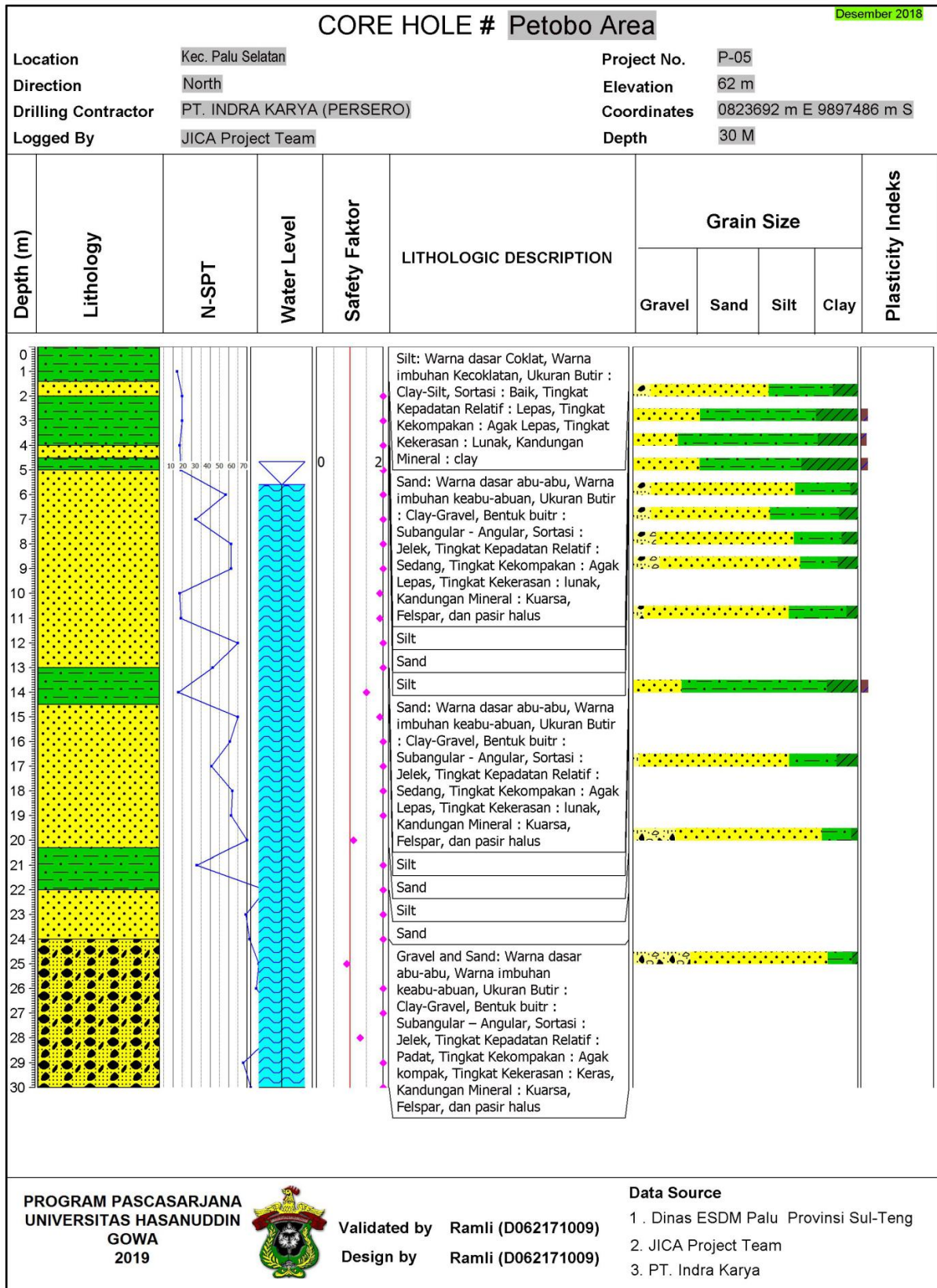
Gambar 35. Log bor titik pengeboran P-04 daerah Petobo

5. Titik Bor P-05

Titik Bor P-05 terletak dibagian utara daerah Petobo dengan jarak 1.2 Km. dari lokasi yang terdampak likuifaksi dengan titik koordinat 0823692 m E 9897486 m S. Penentuan titik bor tersebut bertujuan untuk mengetahui kondisi litologi bawah permukaan yang tidak mengalami likuifaksi, sehingga dapat dijadikan sebagai pembanding kondisi karakteristik litologi bawah permukaan daerah yang mengalami likuifaksi. Hasil pengeboran yang ditampilkan dalam log bor dan tabel, bahwa dijumpai tiga jenis litologi yang berbeda yakni lanau, pasir dan kerikil pasiran. Pada meteran pertama sampai dengan meteran ke-5 disusun oleh litologi lanau, berselingan dengan litologi pasir dengan ketebalan masing-masing adalah 0,60 m dan 0,50 m nilai N-SPT 17-21, dan faktor keamanan tidak berpotensi terjadi likuifaksi hal demikian disebabkan karena besarnya nilai tegangan, pada kondisi material yang tidak mendapat pengaruh air tanah. Kedalaman 5 m sampai dengan kedalaman 24 m tersusun oleh material pasir dengan sisipan perlapisan litologi berupa lanau pada ketebalan 1,70 m dan 1,50 m nilai N-SPT 19-70 dengan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kemudian kedalaman 25 m sampai dengan kedalaman 30 m tersusun oleh material kerikil pasiran dengan nilai N-SPT yaitu 72-90 dan faktor keamanan yang tidak berpotensi terjadi likuifaksi. Kondisi air tanah pada kedalaman 5,59 m mempengaruhi material tidak berpotensi terjadi likuifaksi, secara teori potensi terjadinya likuifaksi jika air tanah dibawah kedalaman 4 m.

Tabel 16. Evaluasi Geologi Teknik Pada Titik Bor P-5 Daerah Petobo (Sumber data; proyek pengeboran tim JICA, 2018).

Kedalaman		Litologi	N-SPT	CSR	CRR (7,5 Mw)	FK
0	1	Lanau	17	0,000	0,317	0,00
1	1,4	Lanau	17	0,000	0,317	0,00
1,4	2	Pasir	21	0,072	0,313	4,50
2	3	Lanau	21	0,071	0,264	3,86
3	4	Lanau	19	0,070	0,208	3,09
4	4,5	Pasir	20	0,068	0,199	3,02
4,5	5	Lanau	54	0,069	0,263	3,96
5	6	Lanau	54	0,069	0,263	3,96
6	7	Pasir	31	0,074	0,311	4,35
7	8	Pasir	58	0,078	0,265	3,50
8	9	Pasir	58	0,081	0,243	3,09
9	10	Pasir	19	0,084	0,154	1,90
10	11	Pasir	20	0,086	0,157	1,89
11	12	Pasir	63	0,087	0,236	2,80
12	13	Pasir	44	0,088	0,504	5,90
13	14,5	Lanau	18	0,089	0,132	1,54
14,5	15	Pasir	63	0,089	0,160	1,87
15	16	Pasir	57	0,089	0,760	8,88
16	17	Pasir	43	0,088	0,320	3,76
17	18	Pasir	59	0,087	1,300	15,44
18	19	Pasir	58	0,086	1,731	20,78
19	20,3	Pasir	70	0,085	0,086	1,05
20	21	Lanau	32	0,084	0,185	2,28
21	22	Lanau	84	0,083	0,232	2,89
22	23	Pasir	69	0,082	0,838	10,62
23	24	Kerikil Pasiran	72	0,080	0,699	9,03
24	25	Kerikil Pasiran	79	0,078	0,496	6,54
25	26	Kerikil Pasiran	77	0,077	0,650	8,78
26	27	Kerikil Pasiran	90	0,075	0,172	2,38
27	28	Kerikil Pasiran	87	0,073	0,089	1,27
28	29	Kerikil Pasiran	67	0,071	0,426	6,22
29	30	Kerikil Pasiran	73	0,069	0,573	8,60



Gambar 36. Log bor titik pengeboran P-05 daerah Petobo.

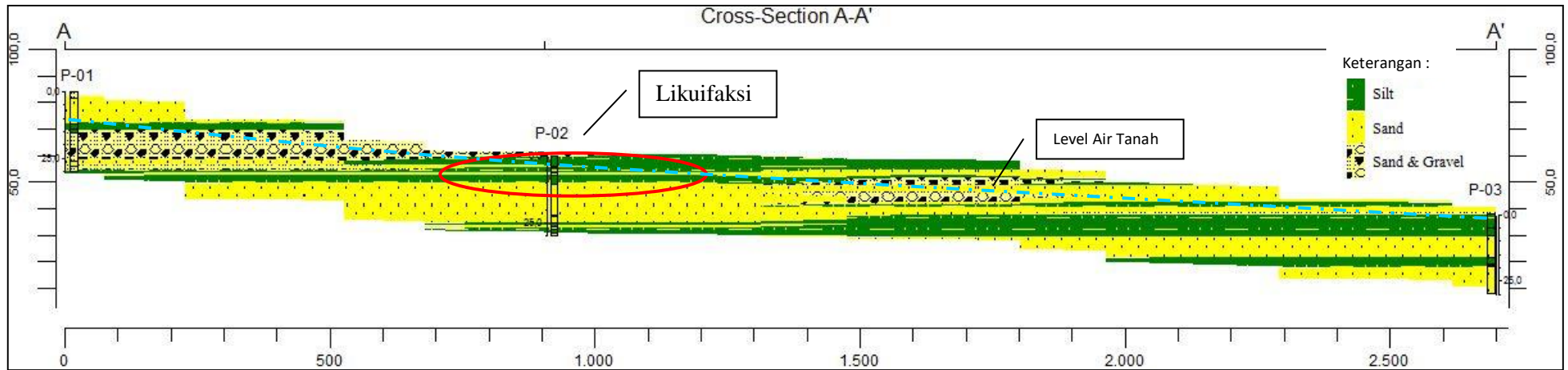
6. Penampang Sayatan Ttitik Bor

Gambaran penampang sayatan titik bor P-01, titik bor P-02 dan titik bor P-03 dengan menggunakan Program Rockworks 16, menggambarkan profil litologi bawah permukaan daerah Petobo dengan arah timur-barat pada gambar 44. Korelasi litologi antara tiga titik bor dengan jarak spasi yang berbeda, menampilkan profil litologi sebagai berikut, pada titik bor P-01 nampak adanya perbedaan ketinggian dengan titik bor P-02 sehingga korelasi antara kedua titik tidak selaras. Karakteristik litologi pada titik P-02 sangat mendukung tersimpanya air tanah dengan baik yakni disusun oleh litologi berupa lanau dan pasir, hasil uji geologi teknik di lapangan memiliki nilai N-SPT yaitu 3-7 dan faktor keamanan berpotensi terjadi likuifaksi. Titik bor P-02 merupakan bagian profil litologi yang mengalami likuifaksi yang menjadi sumber pemicu terjadinya longsor ke arah barat, kemudian titik bor P-03 merupakan batas yang mengalami pengaruh gerakan tanah, hal demikian disebabkan karena topografi yang datar .

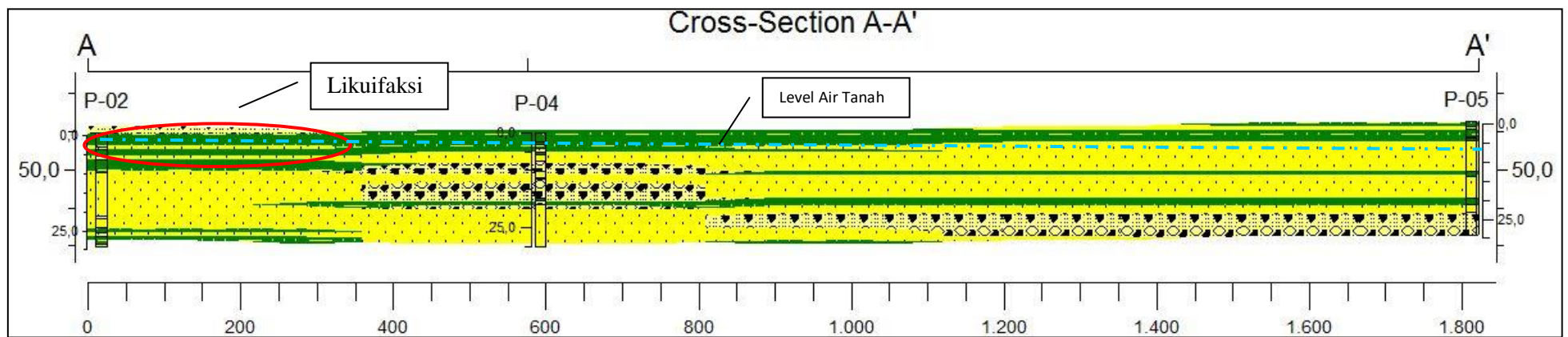
Penampang sayatan pada gambar 45, menggambarkan korelasi antara profil litologi daerah yang mengalami likuifaksi dengan profil litologi daerah yang tidak mengalami likuifaksi, dimana menghubungkan tiga titik bor, yaitu titik bor P-02, titik bor P-04 dan titik bor P-05. Penampang tersebut bagian gambaran antar litologi yang berarah barat-timur, sedangkan pada titik P-02 merupakan titik bor yang menggambarkan kondisi litologi yang mengalami likuifaksi, sementara pada titik bor P-04 menampilkan karakteristik litologi yang beragam dimana tersusun oleh litologi lanau yang plastis, pasir dan litologi kerikil pasiran. Litologi jenis lanau yang plastis pada meteran pertama sehingga tidak berpotensi terjadi

likuifaksi, sementara meteran ke-3 sampai dengan meteran ke-7 merupakan jenis litologi pasir dengan nilai N-SPT yaitu 3-12 sehingga berpotensi terjadi likuifaksi. Korelasi litologi kearah utara dengan jarak 1,2 Km yang disusun oleh material yang sama. Jenis litologi berupa pasir rentang terjadi likuifaksi akan tetapi dari hasil pengujian geologi teknik dilapangan memiliki nilai N-SPT yaitu 17 - 21 sehingga tidak berpotensi terjadi likuifaksi, kondisi tersebut dipengaruhi oleh air tanah pada kedalaman 5,59 m. dan mempengaruhi meningkatnya nilai tegangan pada litologi tersebut.

Kondisi litologi antara titik P-04 dan titik P-05 relatif sama, dengan melihat karakteristik litologi berupa lanau dan pasir pada meteran pertama samapai meteran ke-10, indikasi adanya potensi likuifaksi. Namun daerah ini tidak mengalami likuifaksi, karena dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan, dimana hilangnya pengaruh air tanah yang dapat mempengaruhi tegangan material.



Gambar 37. Penampang sayatan titik Bor P-01, P-02 & P-03 daerah Petobo.

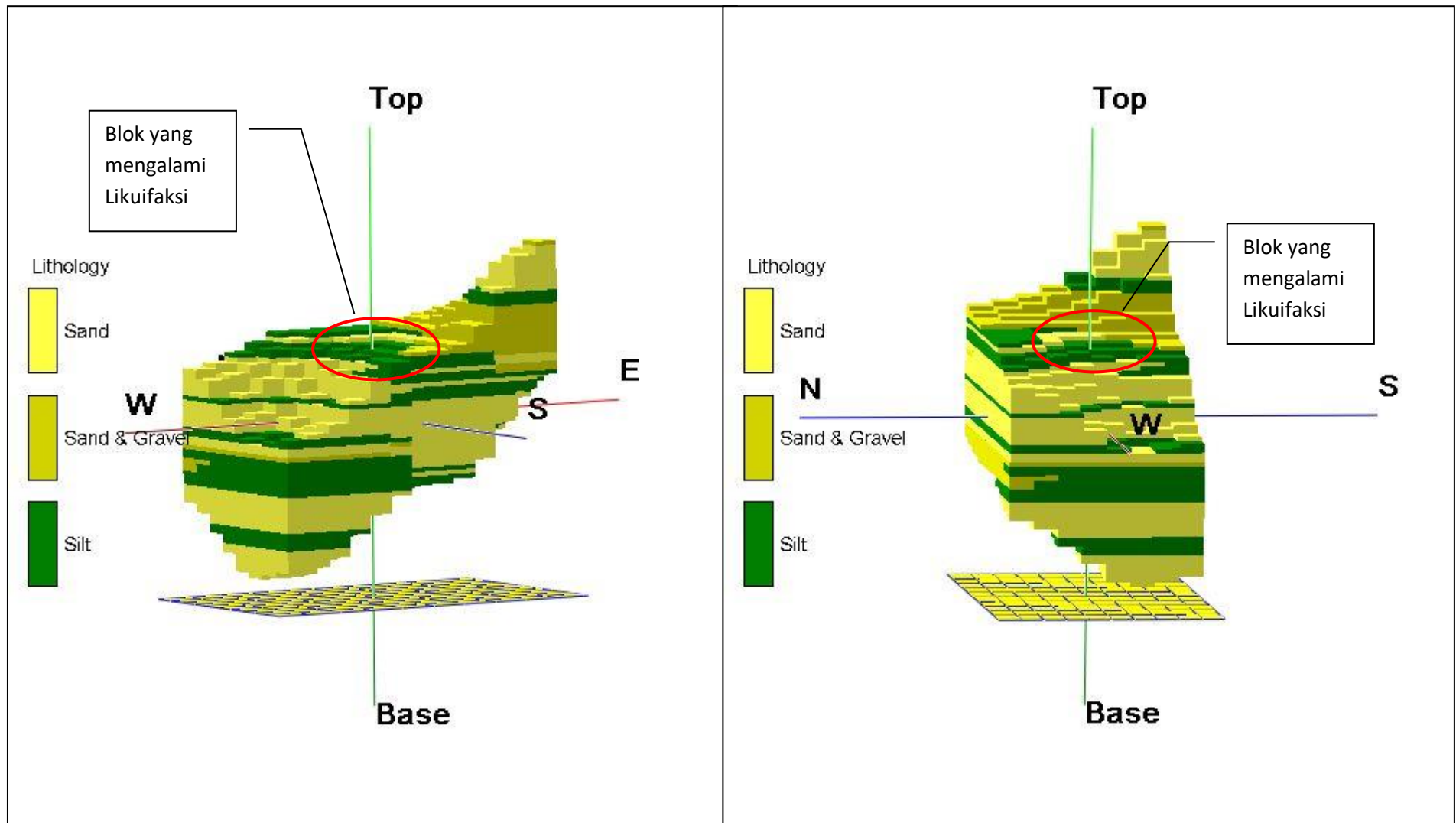


Gambar 38. Penampang sayatan titik Bor P-02, P-04 & P-05 daerah Petobo.

7. Model Litologi Bawah Permukaan Daerah Petobo

Model tiga dimensi menggambarkan korelasi hubungan antar blok litologi bawah permukaan dan memperlihatkan bagian yang mengalami likuifaksi dan bagian yang terdampak akibat pengaruh likuifaksi begitupula dengan daerah yang tidak mengalami likuifaksi.

Model blok ini memaparkan korelasi antar satuan litologi bawah permukaan, dimana nampak pada gambar 46. bahwa blok yang mengalami likuifaksi berada di blok bagian timur yang tersusun oleh litologi lanau dan pasir, blok bagian atas tersusun oleh litologi pasir dan kerikil pasiran, blok tersebut tidak mengalami likuifaksi disebabkan oleh besarnya nilai tegangan dimana tidak mendapat pengaruh air tanah. Blok tengah bagian timur yang mengalami pengaruh getaran yang tinggi sehingga mempengaruhi air tanah terdesak kepermukaan, sehingga kekuatan material hilang dan terjadi likuifaksi yang kemudian memicu blok tersebut mengalami longsor dan berdampak terhadap wilayah bagian barat yang memiliki kondisi topografi yang lebih rendah. Potensi gerakan tanah sangat besar dengan melihat perbedaan ketinggian topografi, material blok yang mengalami perilaku fluida akan mudah *mobile* menuju ke pedataran yang memiliki topografi rendah. Blok yang terdampak longsor merupakan blok yang relatif rendah, sehingga longsor berdampak pada wilayah tersebut. Hampan likuifaksi berimbas ke arah barat yang dikontrol oleh beda tinggi daerah penelitian.



Gambar 39. Pemodelan tiga dimensi (3D) korelasi antara litologi bawah permukaan daerah Petobo.

B. Analisis Hidrologi

Hidrologi salah satu faktor pengontrol utama terjadinya likuifaksi, hasil pengambilan data dilapangan dan beberapa data penelitian sebelumnya, akan dijabarkan bagaimana kondisi air tanah permukaan dan bawah permukaan, siklus air permukaan dan bawah permukaan akan mempengaruhi pola sebaran air tanah yang terdapat pada suatu wilayah, seperti pada Gambar 49. adalah Peta Geohidrologi yang merupakan bagian dari modifikasi peta Geohidrologi daerah Parigi dan Palu Provinsi Sulawesi Tengah, hal tersebut menggambarkan suatu hubungan perlapisan litologi batuan dengan tingkat produktivitas suatu akuifer. Akuifer produktivitas yang tinggi hingga produktivitas rendah berada pada litologi dengan material berupa endapan aluviun sungai dan pantai, terdiri dari pasir, lempung, kerikil dan kerakal hasil rombakan berumur lebih tua dengan kelulusan rendah sampai sedang. Sementara akuifer dengan produktivitas rendah sampai produktif kecil berada pada litologi endapan sedimen, teridiri dari konglomerat, batupasir, batulempung dan napal dengan selingan batugamping yang disebut Molasa Sulawesi Sarasin dan Sarasin dengan tingkat kelulusan sedang sampai rendah. Pada batuan terobosan dan metamorf termasuk daerah air tanah yang langka.

Hasil analisis kondisi Geohidrologi bahwa daerah Balaroa dan Petobo berada pada wilayah akuifer dengan produktivitas yang tinggi sampai dengan akuifer dengan produktifitas yang sedang, dengan kondisi demikian tingkat intesitas kejenuhan material sangat tinggi dengan tingkat kelulusan air rendah

hingga sedang. Wilayah tersebut dipengaruhi oleh bentuk morfologi berupa lembah (*graben*), yang merupakan tempat resapan terakumulasinya aliran air permukaan (*run off*). Nampak pada gambar 48, kondisi pola aliran air permukaan mengalir melalui lembah pegunungan menuju lembah-lembah yang terendah. Daerah akuifer produktifitas tinggi dijumpai beberapa titik mata air dengan volume debit mulai 10 liter/detik sampai 125 liter/detik.



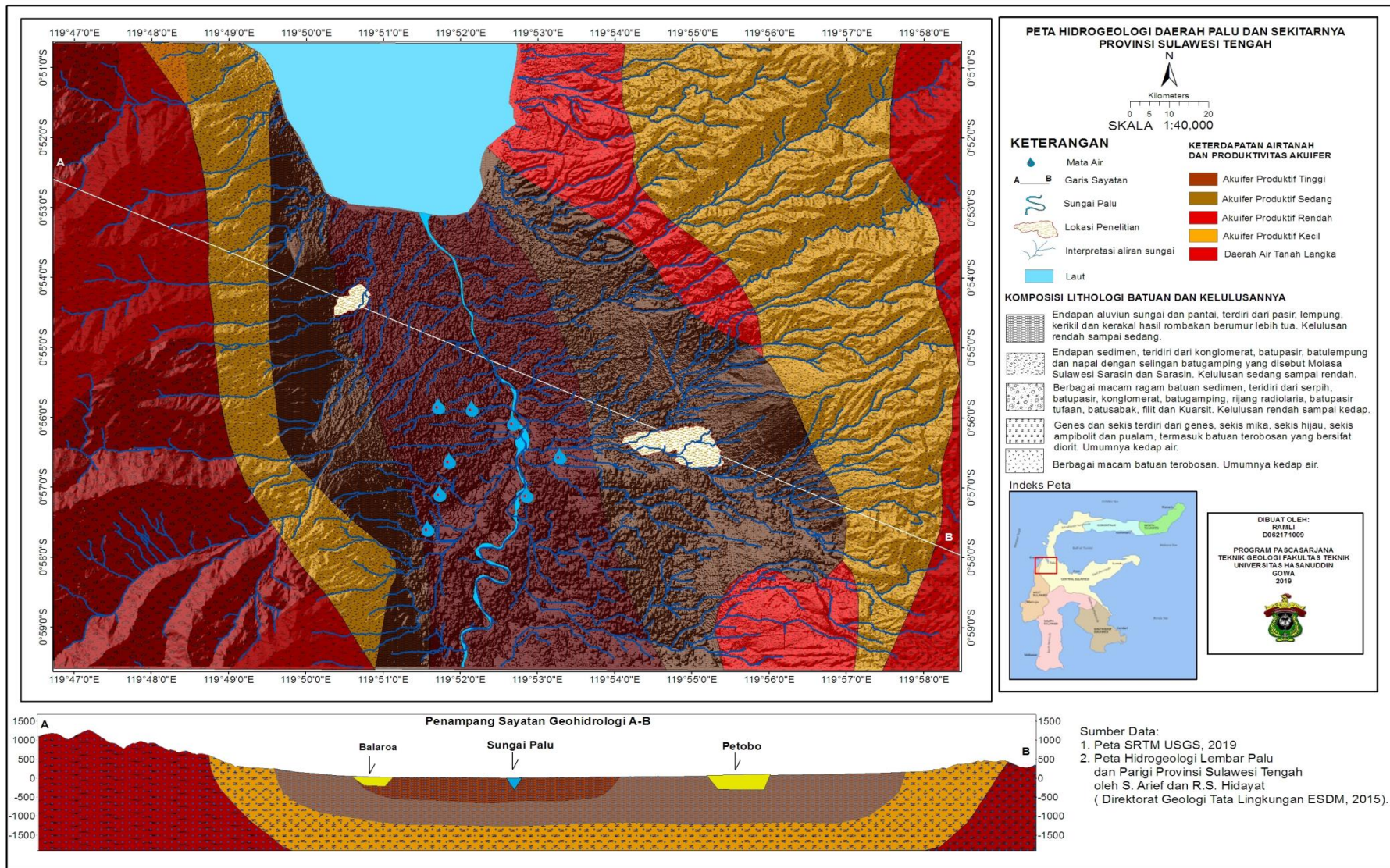
Gambar 40. Kondisi air permukaan Daerah Balaroa.

Hasil dari pengukuran kedalaman muka air tanah di beberapa titik sumur oleh penelitian sebelumnya (Widyaningrum & Buana, 2012) dan beberapa titik bor pada daerah penelitian, bahwa kedalaman muka air tanah mulai dari 0.13 meter sampai dengan kedalaman 20 meter dari permukaan tanah. Pada Gambar 50. terbagi atas lima kelas kedalaman air tanah antara lain kelas I kedalaman 0 sd. -4

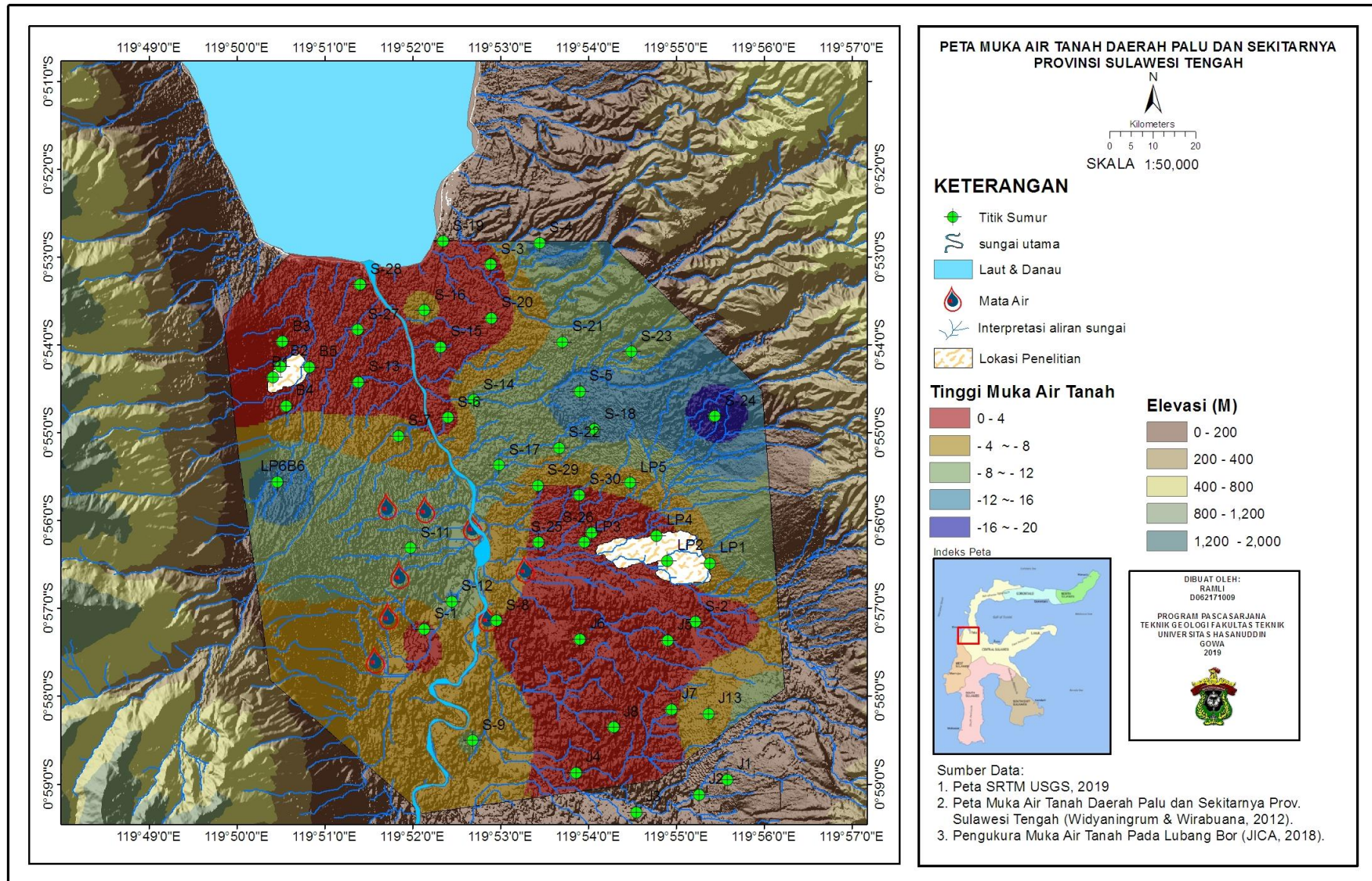
meter, kelas ke-2 antara kedalaman -4 sd. -8 meter, kelas ke-3 kedalaman -8 sd. 12 meter, kelas ke-4 antara kedalaman -8 sd. -12 meter, dan kelas ke-5 antara kedalaman -16 sd. -20 meter. Daerah Balaroa, Petobo dan Jono Oge kelihatan berada di kedalaman air tanah kelas satu dan kedua, yaitu antara kedalaman 0 - 4 meter dan 4 - 8 meter. Dalam teori Keith, dkk., 1999 bahwa kedalaman air tanah < -10 meter akan berpotensi terjadi likuifaksi. Kedalaman air tanah daerah Balaroa, Petobo dan Jono Oge sangat berpotensi mengontrol terjadinya likuifaksi.



Gambar 41. Kondisi kedalaman air tanah daerah Petobo.



Gambar 42. Peta Hidrogeologi Daerah Palu dan Sekitarnya



Gambar 42. Peta kadalaman air tanah dari permukaan tanah daerah Palu dan Sekitarnya.

Tabel 17. Kedalaman muka air tanah daerah palu dan sekitarnya (sumber data: Badan Geologi Kementerian ESDM 2012 & Pengeboran JICA 2018).

No.	Kode Sumur	Kedalaman Muka Air Tanah (m)	No.	Kode Sumur	Kedalaman Muka Air Tanah (m)
1	S-4	16	26	S-9	9
2	S-19	0.8	27	S-2	1
3	S-21	9	28	S-24	20
4	S-23	10	29	S-18	15
5	S-15	0.8	30	B1	1.95
6	S-16	6	31	B2	2.10
7	S-3	1.5	32	B3	0.3
8	S-28	1	33	B4	0.6
9	S-20	0.5	34	B5	0.55
10	S-14	10	35	B6	16.91
11	S-5	15	36	LP2	2.60
12	S-27	1.2	37	LP3	0.13
13	S-13	0.7	38	LP4	0.80
14	S-6	1.2	39	LP5	5.59
15	S-7	6	40	LP6	20
16	S-17	12	41	LP1	11.2
17	S-29	4	42	J1	14.08
18	S-22	9	43	J2	3.20
19	S-30	2.5	44	J3	0.70
20	S-11	12	45	J4	1.20
21	S-25	3	46	J5	1.95
22	S-26	0.5	47	J6	1.07
23	S-12	13	48	J7	3.71
24	S-1	1.8	49	J8	1.05
25	S-8	3.7	50	J13	10.66

C. Struktur Geologi

Struktur geologi suatu indikasi perubahan kenampakan arsitektur permukaan bumi yang merupakan dampak dari aktivitas tektonik, Daerah Palu merupakan kawasan yang dilewati jalur seasar aktif terpanjang kedua di Indonesia yaitu Sesar Palu Koro. Sesar Palu Koro diperkirakan menjadi jalur pemicu

aktifnya sesar lain jika terjadi gempa bumi dangkal dengan magnitudo diatas 7 Mw. Analisis struktur geologi pada daerah penelitian dilakukan dengan menggabungkan beberapa data struktur geologi oleh beberapa peneliti sebelumnya yaitu Soehaemi, dkk, 2000 dan Marjiyon, dkk, 2013, kemudian melakukan suatu korelasi beberapa pengambilan data dilapangan berupa pengukuran patahan permukaan (*surface repturre*), overlay data titik-titik gempa, dan penentuan anomali struktur dengan penarikan garis *lineament*.

Pada gambar 52 kelihatan bahwa ada beberapa jenis sesar aktif, diantaranya sesar mendatar (*strike slip fault*), sesar turun (*normal fault*), sesar naik (*thrust fault*), sesar diperkirakan (*inferred fault*) dan beberapa kelurusan geologi yang di indikasikan sebagai sesar yang belum mengalami pergeseran. Nampak sesar mendatar kearah utara dengan mekanisme pergerakan kearah kiri (*sinistral*). Terdapat sesar turun yang membentuk pola lembah berupa *graben*, hasil analisa sebelumnya oleh Marjiyono, 2013 bahwa beberapa indikasi sesar turun dan sesar mendatar lainnya. Sesar geser mendatar dengan arah mengiri sepanjang daerah donggala dengan jarak ± 100 Km dari kota Palu, dari survei dilapangan beberapa *surface rupture* yang dijumpai dengan pola arah yang sama, kemudian dilakukan *overlay* beberapa titik gempa, menjadi indikasi kuat adanya pecahan jalur sesar baru. Daerah sebelah timur daerah Donggala terdapat sesar geser mendatar Tambarama yang memanjang dari arah selatan ke utara daerah Tomoli, dari analisa dengan melakukan *overley* beberapa titik gempa, bahwa sebelum kejadian gempa dengan magnitudo 7.5 Mw, telah didahului oleh gempa *foreshock* disekitar jalur sesar Tambarama.

Tabel 18. Lokasi pengukuran pergeseran mengiri (*sinistral offset*) akibat gempa bumi tanggal 28 September 2018. Angka pada kolom offset dalam satuan cm. (Badan Geologi, 2018).

No.	Bujur	Lintang	Elevasi (m)	Offset	Lokasi
1	119.8458	-0.898464164	19.59240723	S 429	Jln Cemara Indah, Donggala Kodi, Ulujad
2	119.8462	-0.900084218	20.79406738	S 515	Jln Cemara Indah, Donggala Kodi, Ulujadi
3	119.8598	-0.955775259	34.25244141	S 246	Marawola
4	119.8599	-0.955886571	34.7331543	S 129	Marawola
5	119.9258	-0.955040501	84.00024414	S 74 V 40	Jono Oge, Sigi Biromaru
6	119.9179	-0.976053346	73.42578125	S 51	Sigi Biromaru
7	119.9122	-0.976574617	59.48681641	S 21	Sigi Biromaru
8	119.8482	-0.909611173	34.01208496	S 73 V 61	Tatanga
9	119.8476	-0.909571946	34.25244141	S 26 V 10	Tatanga
10	119.8558	-0.938788662	68.85961914	S 150	Marawola
11	119.9663	-1.347272163	279.6270752	S 300	Kulawi
12	119.9258	-0.954256877	80.87609863	S 11 V 10	Sigi Biromaru
13	119.9872	-1.442589322	568.7414551	S 35	Kulawi
14	119.8459	-0.909448061	35.93469238	S 25	Palu Barat
15	119.9867	-1.44136372	568.2607422	S 30	Kulawi
16	119.9257	-0.953602167	82.79870605	S 3	Sigi Biromaru
17	119.9257	-0.95448344	79.91467285	S 3	Sigi Biromaru
18	119.983	-1.427512458	594.9370117	S 105	Kulawi
19	119.9257	-0.954654096	99.38122559	S 11	Sigi Biromaru
20	119.9255	-0.954384869	88.56652832	S 2 WD 23	Sigi Biromaru
21	119.916	-0.971228387	71.26293945	S 115	Sigi Biromaru
22	119.9157	-0.97124096	70.54187012	S 15	Sigi Biromaru
23	119.8514	-0.9225576	60.251	S 509	Jln Padanjakaya, Tatanga

Kekuatan gempa 7,5 Mw di daerah Sirenja Kabupaten Donggala merupakan bagian dari gempa bumi yang dipicu oleh gempa bumi sebelumnya yang terjadi disekitaran jalur sesar Tambarama. Kekuatan gempa tersebut menjalar kearah selatan menuju jalur sesar Palu Koro, hal demikian ditandai dengan beberapa gempa susulan yang terjadi di daerah Palu, Sigi hingga daerah Kulawi.

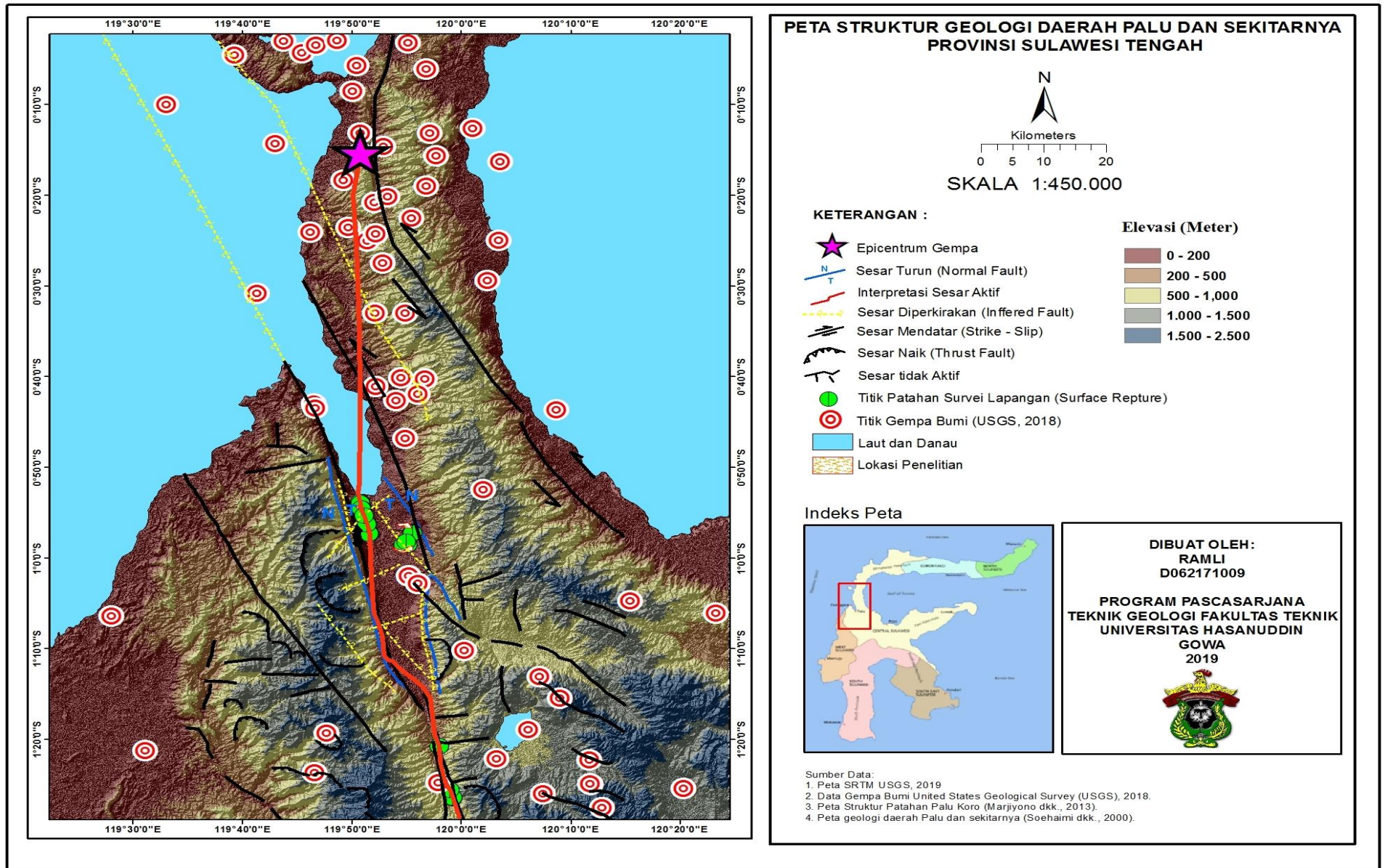
Indikasi dilapangan ditemukanya beberapa titik *surface repture* yang berada dijalur sesar Palu Koro.



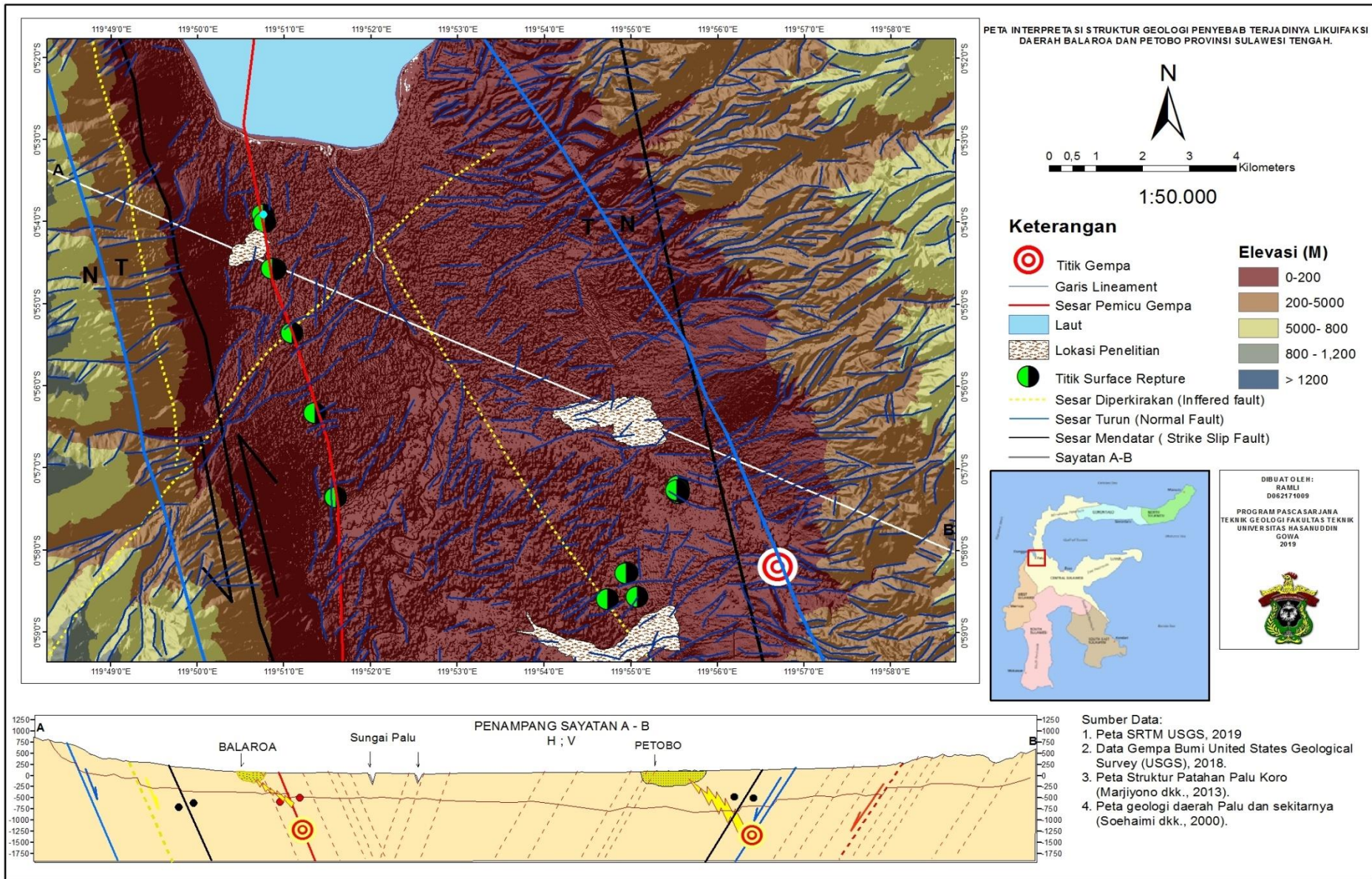
Gambar 44. Foto struktur geologi berupa sesar mendatar mengarah ke kiri (*sinistral*) Jl. Cemara Indah Kota Palu.

Beberapa data struktur geologi yang dijumpai dilapangan berupa *surface rupture*, dan analisa struktur geologi dengan menggunakan citra satelit berupa penarikan garis lineament, kemudian dikorelasikan dengan beberapa data struktur oleh peneliti terdahulu, serta *overlay* titi gempa bahwa daerah Balaroa sangat dikontrol oleh pengaruh sesar aktif yang merupakan bagian dari lintasan sesar Palu Koro, kekuatan gempa yang mempengaruhi daerah balaroa sangat besar dan menjadi pengotrol terjadinya likuifaksi yang sangat cepat. Kemudian daerah Petobo meskipun posisinya tidak seperti daerah Balaroa yang berada dijalur

lintasan Palu Koro akan tetapi Petobo berada dekat jalur sesar turun dan sesar mendatar dengan jarak kurang lebih 1 – 1,7 Km. melihat posisi jalur sesar yang berada dekat dengan Petobo, memungkinkan daya kekuatan gempa sangat mengontrol proses terjadinya likuifaksi, dengan melakukan *overlay* titik gempa dari data BMKG, bahwa sebelum gempa 7.5 Mw, diawali oleh dengan kekuatan gempa 3,7 Mw pada kedalaman 10 Km, yang terjadi pada pukul 14.01 Wita. Kondisi demikian bahwa daerah Petobo mengalami *aftershock* oleh getaran gempa yang berada tepat di posisi zona sesar. Material yang telah mengalami getaran sebelumnya memungkinkan adanya reaksi hingga terjadi rekahan mengakibatkan tekanan air tanah naik, dan tekanan air akan pecah dipermukaan setelah mendapatkan getaran yang lebih besar lagi pada saat terjadi gempa dengan kekuatan 7.5 Mw. indikator lain yang memperlihatkan besarnya kekuatan gempa dan pengaruh struktur di daerah Petobo yakni dijumpai beberapa patahan dipermukaan bumi (*surface rupture*) yang berjarak \pm 500 meter dari jalur sesar dan 1 Km dari lokasi terjadinya likuifaksi. Dari analisa garis kelurusan geologi (*lineament*) bahwa daerah Petobo yang terdampak likuifaksi di jumpai beberapa garis *lineament* yang di asumsikan bagian dari sesar atau patahan yang tidak aktif.



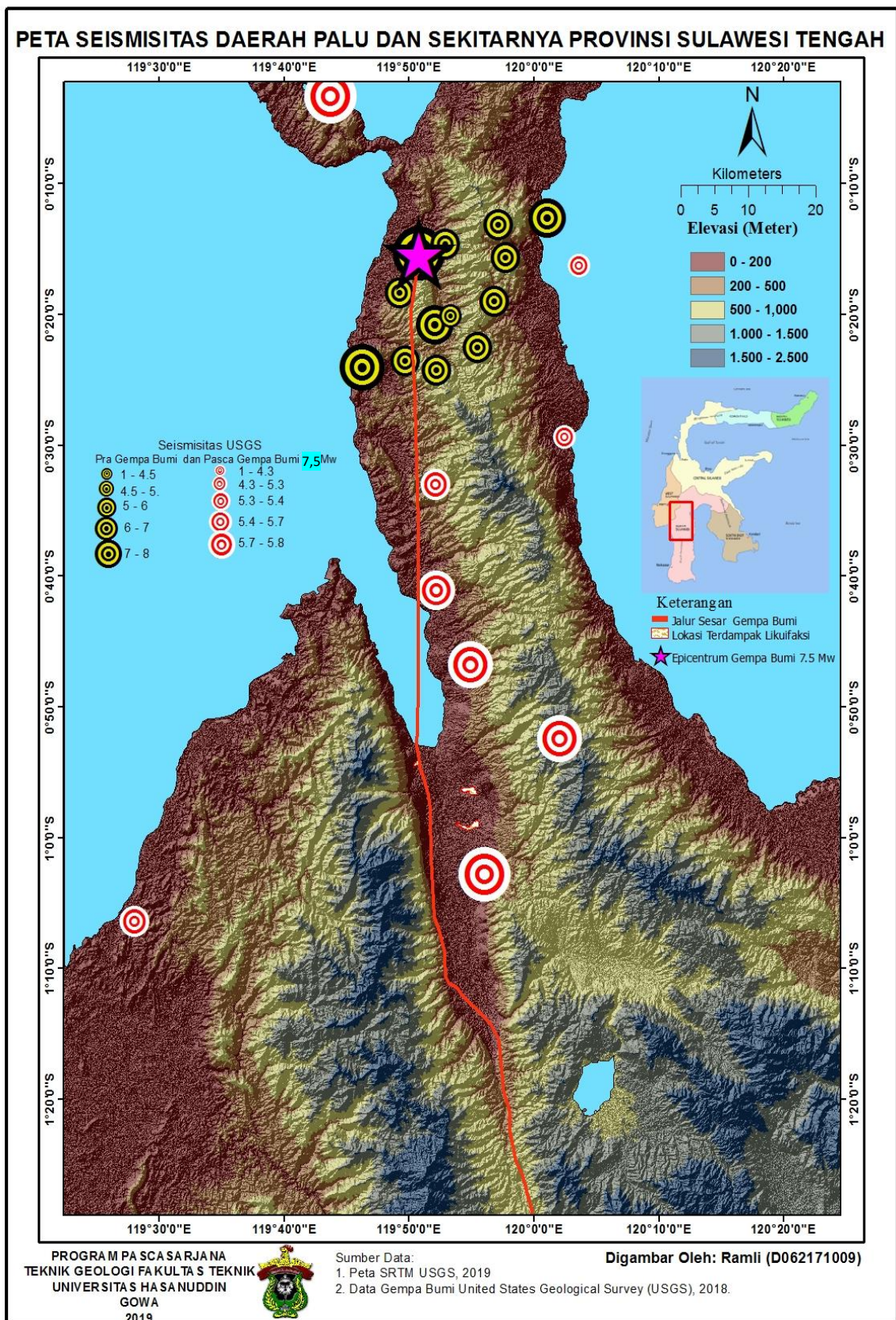
Gambar 45. Peta struktur geologi daerah Palu dan sekitarnya.



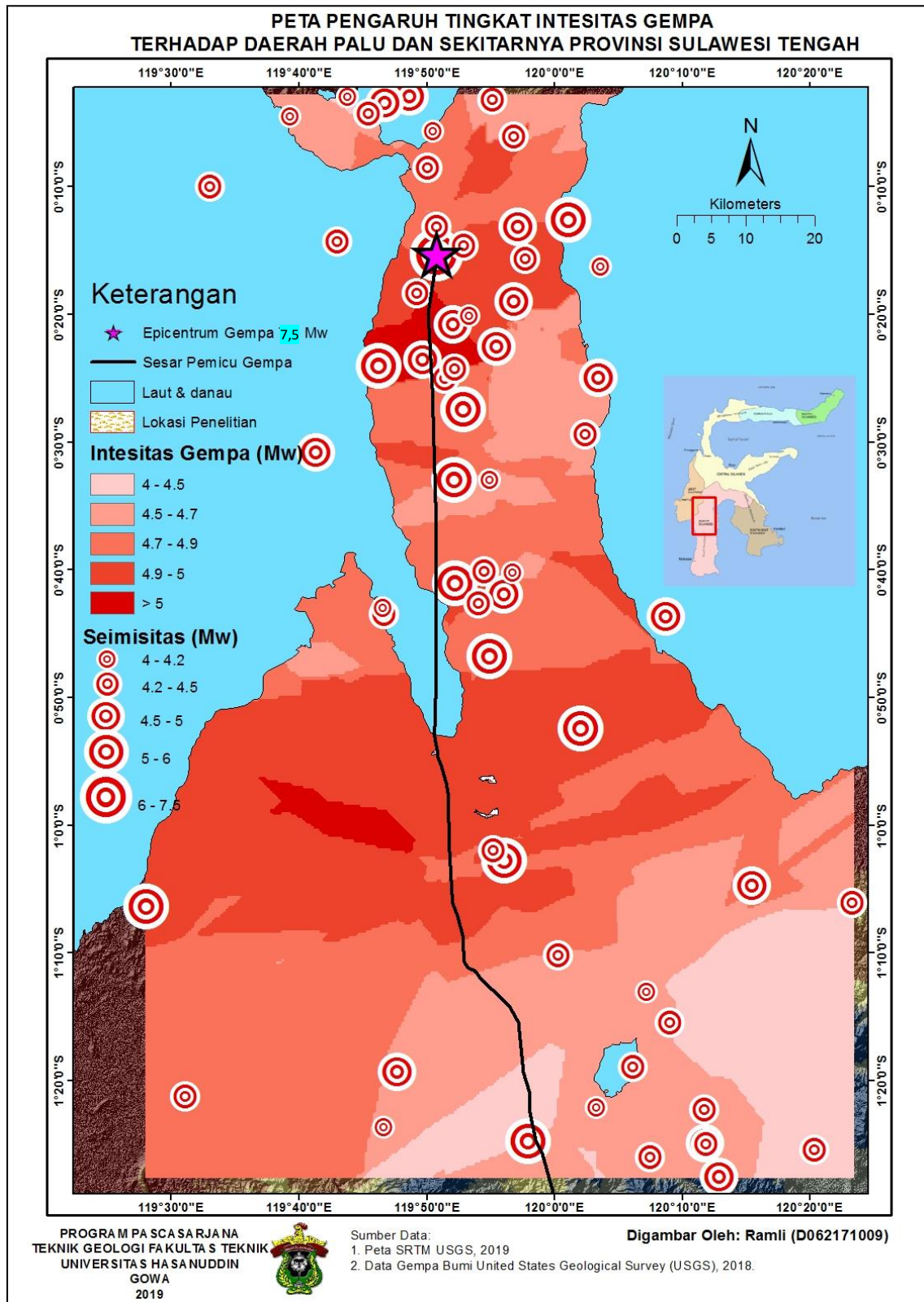
Gambar 46. Peta interpretasi geologi struktur penyebab likuifaksi daerah Palu dan sekitarnya.

D. Seismisitas

Seismisitas bagian daripada pola penyebaran titik gempa yang telah terjadi di daerah penelitian, menggambarkan tingkat intensitas magnetudo gempa bumi yang memicu terjadinya likuifaksi daerah Balaroa dan Petobo. Pada tgl 28 september telah terjadi gempa dengan kekuatan 7,5 Mw pada kedalaman 20 Km (USGS, 2018). Analisis peta seimisitas dengan menggunakan data gempa dari *United States Geological Survey* (USGS) . Sebelum terjadi gempa 7,5 Mw, dibagian utara Donggala telah diawali oleh beberapa gempa dengan magnitudo rata-rata 4 Mw dengan kedalaman 10 Km (USGS, 2018). secara teori kedalaman 10 Km sangat mempegaruhi getaran di permukaan bumi, gempa ini dipengaruhi oleh sesar Tambarama yang memanjang dari arah utara keselatan bagian timur daerah Donggala. Kejadian gempa yang berurutan dengan jeda waktu yang singkat mengakibatkan gempa berkuatan 7.5 Mw, yang mempengaruhi sesar-sesar aktif lainnya termasuk Sesar Palu Koro, hal demikian kelihatan beberapa gempa bumi susulan yang terjadi ke arah selatan Palu, Sigi dan Kulawi. Pada Gambar 55, tampak pengaruh tingkat kekuatan gempa yang mempengaruhi daerah penelitian, bahwa kekuatan gempa 7.5 Mw, memberikan kontribusi getaran yang cukup besar terhadap daerah Balaroa dan Petobo. Sementara ada beberapa zona daerah yang tidak besar pengaruh gempanya, suatu indikasi adanya kontrol oleh sesar yang aktif disekitar lokasi penelitian.



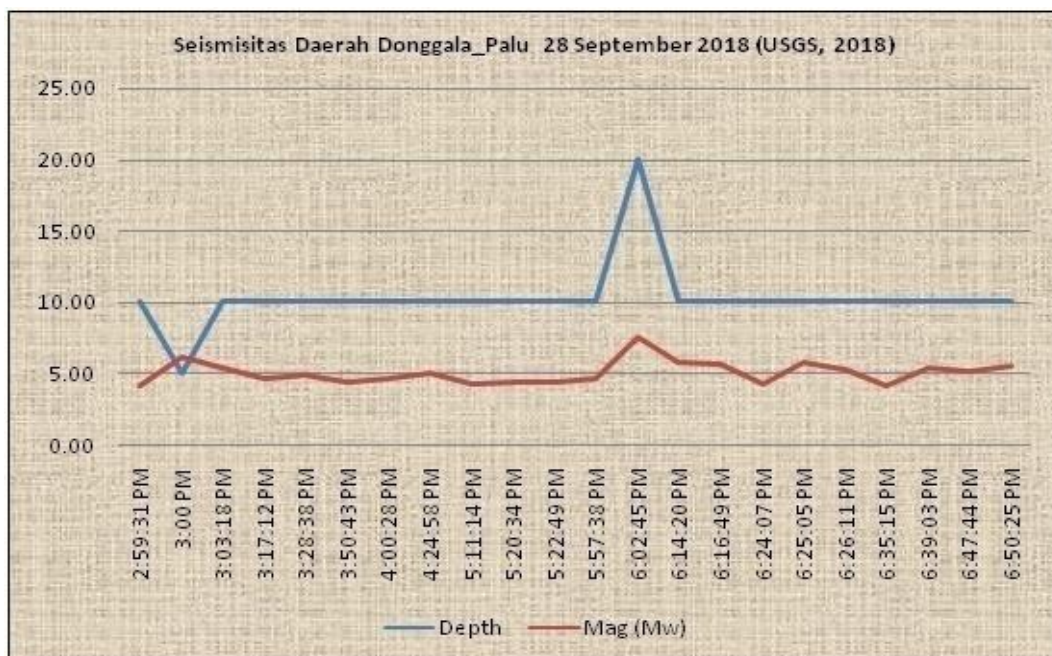
Gambar 47. Peta Seismisitas daerah Palu dan sekitarnya pertanggal 28 September 2018



Gambar 48. Peta tingkat intesitas pengaruh gempa terhadap daerah sekitarnya

Tabel 19. Data Seiminitas Gempa Bumi Palu 28 September 2018(USGS, 2018).

No.	Date	UTC	WITA	Latitude	Longitude	Depth	Mag (Mw)
1	9/28/2018	6:59:31 AM	2:59:31 PM(14:59:31)	-0.3355	119.8879	10	4.2
2	9/28/2018	7:00:00 AM	3:00 PM(15:00)	-0.4009	119.7705	4.99	6.1
3	9/28/2018	7:03:18 AM	3:03:18 PM(15:03:18)	-0.2102	120.0175	10	5.4
4	9/28/2018	7:17:12 AM	3:17:12 PM(15:17:12)	-0.219	119.9529	10	4.7
5	9/28/2018	7:28:38 AM	3:28:38 PM(15:28:38)	-0.3749	119.925	10	4.9
6	9/28/2018	7:50:43 AM	3:50:43 PM(15:50:43)	-0.2606	119.9617	10	4.5
7	9/28/2018	8:00:28 AM	4:00:28 PM(16:00:28)	-0.3928	119.8282	10	4.7
8	9/28/2018	8:24:58 AM	4:24:58 PM(16:24:58)	-0.3464	119.8682	10	5.1
9	9/28/2018	9:11:14 AM	5:11:14 PM(17:11:14)	-0.404	119.8705	10	4.3
10	9/28/2018	9:20:34 AM	5:20:34 PM(17:20:34)	-0.2441	119.8815	10	4.5
11	9/28/2018	9:22:49 AM	5:22:49 PM(17:22:49)	-0.306	119.8209	10	4.4
12	9/28/2018	9:57:38 AM	5:57:38 PM(17:57:38)	-0.3165	119.9473	10	4.7
13	9/28/2018	10:02:45 AM	6:02:45 PM(18:02:45)	-0.2559	119.8462	20	7.5
14	9/28/2018	10:14:20 AM	6:14:20 PM(18:14:20)	-0.0175	119.7549	10	5.8
15	9/28/2018	10:16:49 AM	6:16:49 PM(18:16:49)	-0.8748	120.0342	10	5.7
16	9/28/2018	10:24:07 AM	6:24:07 PM(18:24:07)	-0.4903	120.0401	10	4.3
17	9/28/2018	10:25:05 AM	6:25:05 PM(18:25:05)	-1.0465	119.9346	10	5.8
18	9/28/2018	10:26:11 AM	6:26:11 PM(18:26:11)	-1.1072	119.4677	10	5.3
19	9/28/2018	10:35:15 AM	6:35:15 PM(18:35:15)	-0.2715	120.0594	10	4.2
20	9/28/2018	10:39:03 AM	6:39:03 PM(18:39:03)	-0.6847	119.8697	10	5.4
21	9/28/2018	10:47:44 AM	6:47:44 PM(18:47:44)	-0.5499	119.8689	10	5.2
22	9/28/2018	10:50:25 AM	6:50:25 PM(18:50:25)	-0.7806	119.9147	10	5.6



Gambar 49. Grafik Seiminitas Daerah Donggala_Palu (USGS, 2018)

Grafik seismisitas daerah Donggala dan Palu menunjukkan pola intensitas magnitudo dan kedalaman gempa bumi, berdasarkan rentetan waktu terjadinya. Data dari USGS menunjukkan bahwa kekuatan megnitudo dan kedalaman gempa mayoritas sama. Analisa dari data USGS bahwa gempa lokal terjadi pada pukul 02:59 Wita dengan kekuatan 4.2 Mw pada kedalaman 10 Km, di ikuti oleh beberapa gempa susulan dengan kekuatan antara 4.5 Mw sampai dengan 6.1 Mw, hingga puncak gempa dengan kekuatan 7.5 Mw pada kedalaman 20 Km terjadi pada pukul 06:02 Wita. Beberapa menit kemudian gempa bumi merambat kearah selatan dan utara dengan kekuatan 4.3 Mw – 5.8 Mw dengan kedalaman yang sama yaitu 10 Km. Hal demikian menjadi suatu dasar bahwa gempa 7,5 Mw, memicu aktifnya Sesar Palu Koro kearah selatan yaitu daerah Palu, Balaroa, Petobo, Sigi Sampai Kulawi.

BAB V

PENUTUP

Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan menjadi suatu referensi bagi pemerintah dan masyarakat Daerah Palu setempat dalam membuat rancangan pengembangan wilayah dan pemukiman Kota Palu dan sekitarnya terkait pengaruh potensi terjadinya Likuifkasi, dan terkhusus bagi akademisi dan peneliti, menjadikan suatu hipotesis lebih lanjut dalam pengembangan penelitian potensi bencana alam di daerah Palu dan sekitarnya. Bab penutup akan menjabarkan hasil akhir penelitian ini berdasarkan hasil kegiatan survei dan pengambilan data lapangan serta data-data sekunder dari penelitian sebelumnya yang dikorelasikan dalam beberapa data terbaru, dalam satu kesatuan tulisan yaitu Tesis.

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pengolahan data primer dan data sekunder dalam investigasi penyebab terjadinya likuifaksi daerah Balaro dan Petobo Palu Provinsi Sulawesi Tengah, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengeboran dan uji N-SPT di Daerah Balaroo dan Petobo, telah didapatkan jenis litologi dengan nilai N-SPT sebagai berikut:

- a. Daerah Balaroo

Daerah Balaroo tersusun oleh litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Hasil uji geologi teknik berupa pengujian N-SPT dimana jenis litologi kerikil pasiran

memiliki nilai N-SPT 23 – 500, litologi pasir memiliki nilai N-SPT 1 – 132, dan jenis litologi lanau memiliki nilai N-SPT yaitu 3-41.

b. Daerah Petobo

Daerah petobo disusun oleh jenis litologi Kerikip pasiran, pasir dan lanau, jenis litologi kerikil pasiran memiliki N-SPT yaitu 27-90, jenis litologi pasir memiliki nilai N-SPT 3-99, dan jenis litologi lanau memiliki nilai N-SPT yaitu 3-84.

2. Berdasarkan hasil evaluasi faktor keamanan potensi likuifaksi Daerah Balaroa dan Petobo dengan skenario gempa 7.5 Mw sebagai berikut;

a. Daerah Balaroa

Pada titik bor B-01, berada di area yang mengalami likuifaksi, tersusun oleh jenis litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pada kedalaman (1-5) meter berupa litologi pasir, dengan faktor keamanan (FK) terjadi likuifaksi. Kemudian pada kedalaman (6 – 14) m berupa litologi pasir dengan sisipan kerikil pasiran dengan FK berada pada tahap kritis. Pada kedalaman (15-30) meter berupa litologi pasir dengan FK tidak terjadi likuifaksi.

Pada titik bor B-03, berada di luar area yang mengalami likuifaksi, tersusun oleh jenis litologi berupa kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pada kedalaman (1-13) meter, berupa litologi kerikil pasiran dengan FK tidak terjadi likuifaksi. kemudian kedalaman (14-16) meter berupa litolgi lanau dengan FK terjadi likuifaksi. Kedalaman (17-30) meter berupa litologi kerikil pasiran dan pasir dengan FK tidak terjadi likuifkasi.

b. Daerah Petobo

Pada titik bor P-01, berada di area yang mengalami likuifaksi, tersusun oleh jenis litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pada kedalaman (1-2,5) meter berupa litologi kerikil pasiran, dengan FK tidak terjadi likuifaksi. Kemudian pada kedalaman (3 – 13) m berupa litologi pasir dengan FK tidak terjadi likuifaksi. Pada kedalaman (14-30) meter berupa litologi kerikil pasiran dengan sisipan lanau dengan FK tidak terjadi likuifaksi. Karakteristik litologi berupa pasir dari kedalaman (3-13) meter, berpotensi terjadi likuifaksi, karena kondisi air tanah yang dalam sehingga hasil evaluasi FK tidak terjadi likuifaksi.

Pada titik bor P-05, berada di luar area yang mengalami likuifaksi, tersusun oleh jenis litologi berupa kerikil pasiran, pasir dan lanau. Pada kedalaman (1-6) meter, berupa lanau dengan sisipan litologi pasir dengan FK tidak terjadi likuifaksi. kemudian kedalaman (7-23) meter berupa litolgi pasir dengan sisipan lanau dengan FK tidak terjadi likuifaksi. Kedalaman (24-30) meter berupa litologi kerikil pasiran dengan FK tidak terjadi likuifkasi. Jenis litologi lanau yang tidak mengalami likuifaksi dipengaruhi oleh plastisitas dan kepadatan material.

3. Hubungan antara litologi daerah yang terdampak likuifaksi dengan daerah yang tidak mengalami likuifaksi.

a. Daerah Balaroa yang mengalami likuifaksi tersusun oleh litologi pasir, dengan ketebalan 14 m, sedangkan daerah Balaroa yang tidak mengalami

likuifaksi tersusun oleh litologi kerikil pasiran, litologi pasir dan lanau yang berada pada kedalaman > 14 m.

- b. Daerah Petobo yang mengalami likuifaksi tersusun oleh litologi pasir dan lanau dengan ketebalan 14 m, sedangkan daerah Petobo yang tidak mengalami likuifaksi tersusun oleh litologi kerikil pasiran, pasir dan lanau yang bersifat plastisitas dan padat .
4. Hasil analisis geologi teknik pada kedua lokasi penelitian, yang terdiri dari uji nilai N-SPT yang kemudian evaluasi faktor keamanan, menjadi acuan dalam mengetahui penyebab dasar terjadinya likuifaksi, sehingga perlu adanya analisis faktor pemicu lain terjadinya likuifaksi, yaitu kondisi hidrologi, struktur geologi dan intensitas seismisitas.
 - a. Kondisi hidrologi daerah penelitian, berdasarkan analisis kedalaman air tanah, bahwa Daerah Balaroa dan Petobo yang mengalami likuifaksi memiliki kedalaman air tanah (0-8) m. Sementara kedalaman air tanah yang tidak mengalami likuifaksi yaitu diatas kedalaman 8 meter.
 - b. Kondisi struktur geologi kedua daerah penelitian, yaitu Daerah Balaroa berada dijalur sesar aktif Palu Koro, sementara Daerah Petobo dipengaruhi oleh sesar datar lainnya yang berada di lintasan wilayah Petobo.
 - c. Pengaruh seismisitas kedua daerah penelitian, yaitu Daerah Balaroa dipengaruhi oleh gempa yang berada dibagian utara tepat dilintasan sesar Palu Koro. Sementara Daerah Petobo di pengaruhi oleh gempa bumi yang berada di bagian selatan Palu.

B. Rekomendasi

Kegiatan penyelidikan geologi teknik ini membutuhkan pengeboran lebih detail dengan spasi lebih rapat sehingga dapat menghasilkan pemodelan litologi lebih akurat. *Output* dari kesimpulan penelitian ini adalah salah satu upaya cepat yang dapat dilakukan pemerintah dalam mengantisipasi terjadinya likuifaksi dengan pembuatan saluran irigasi setiap daerah yang memiliki kedalaman air tanah dibawah 8 m.

Daftar Pustaka

- Amirulmukminin, R.P., 2008. Analisis Kemungkinan Likuifaksi Lapisan Pasir Pada Lokasi Pembangunan Dermaga Pasiran Sabang, Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala.
- ANONIM, 2010. Pengelolaan Kota dan Upaya Pengurangan Resiko Bencana di Kota Palu, BAPPENAS, Sumber Internet, diunduh November 2012.
- A.S.T.M., 1981. Annual Book of ASTM Standards 04.08., Philadelphia U.S.A.
- Bidang Seismologi Teknik Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2018. *Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempabumi Utara Donggala Sulteng*. Jakarta: Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika.
- Bowles, J.E., 1984. Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah, Terjemahan Loeh Hainim J.K., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Daryono, M. R., 2016. *Paleoseismology Tropis Indonesia: Dengan Studi Kasus Di Sesar Sumatra, Sesar Palukoro-Matano, Dan Sesar Lembang*. Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.
- Das, B.M., 1993. Principle of Soil Dynamic. USA: PWS-KENT Publishing Company.
- Firmansyah, J. Dan Irsyam, M., 1999, Development of Seismic hazard map for Indonesia, Prosiding Konferensi nasional Rekayasa Kegempaan di Indonesia, ITB, Indonesia.
- Hall, R. & Wilson, M.E.J., 2000. Neogene Sutures in Eastern Indonesia, Journal of Asian earth Sciences, 18, 781-808.
- Idriss, I. M., Boulanger, R. W., 2008. *Soil Liquefaction During Earthquakes*. EERI
- 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.
- Irsyam, M. dkk., 2017. Peta Sumber Dan Bahaya 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.

- Juang, C. H., Fang, S. Y., Li, D. L. (2008). Reliability Analysis Of Liquefaction Potential Of Soils Using Standard Penetration Test. Edited by Phoon, K. K, in Reliability-Based Design in Geotechnical Engineering. Kramer, S.L., 1996,
- Lonteng,C.V.D., Balamba,S., Monintja,S., Sarajar,A.N., 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di Pt. PLN (Persero) Uip Kit Sulmapa PLTU 2 Sulawesi Utara 2 X 25 Mw Power Plan, Univesitas Samratulangi Manado, Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.11.
- Massinai, M.F.I., Nugraha, A.D., Widiyantoro, S., 2016. Double-difference earthquake relocation using waveform cross-corelation on Palukorofault, Indonesia, *in preparation to be submitted to Geological Society, London.*
- Munirwan, R.P., 2005. Analisis Potensi Likuifaksi Pada Lapisan Pasir di Lokasi Pembangunan H2O2 Krueng Geukaeh Lhokseumawe, Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala.
- Muntohar, A.S, 2009. Evaluation of Peak Ground Acceleration Using CPT Data for Liquefaction Potential, The 4th Annual International Workshop and Expo on Sumatra Tsunami Disaster and Recovery
- Muntohar, A.S., 2010. Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi. Laporan Penelitian. Lembaga Pengembangan Pendidikan, Penelitian dan Masyarakat Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta
- Muntohar, A.S., 2014. Research on Earthquake Induced Liquefaction in Padang City and Yogyakarta Area, Jurnal Geoteknik HATTI IX (1), ISSN 0853-4810.
- Robertson, P.K., and Wride, B.H., 1989, Cyclic Liquefaction and the Evaluation Based on the SPT and CPT, in Proceedings edited by Youd and Idriss, 1988, p. 41 – 88.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971. Simplified procedure for evaluation soil liquefaction potential. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 97(SM9), 1249 – 1273.
- Sukamto, R.A.B, Sumadirdja, H; Suptandar, T; Hardjoprawiro, S dan Sudana, D, 1973. *Peta geologi tinjau lembar Palu, Sulawesi*, Pusat Penelitian dan Pengembangan (P3G), Bandung
- Sukamto, R.A.B, 1978. *The Structure of Sulawesi in the light of Plate Tectonics*, Proceedings of Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia, p. 121-141
- SNI 4153:2008. “Cara uji penetrasi lapangan dengan *SPT*”
- Supartoyo dan Surono, 2008. *Katalog Gempabumi Merusak Indonesia Tahun 1629 – 2006* (Edisi Keempat), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral: 159 hal.

- Sriyati, 2010, Kondisi Seismisitas dan dampaknya untuk Kota Palu, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tadulako, Palu.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, Journal of soil mechanics and foundation, Division, ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.
- Tsekhmistrenko, M. and Bruhat, L. 2018. *Palu 2018 – Science and surprise behind the earthquake and tsunami*, Blogs of the European Geosciences Union.
- Tsuchida, H., 1970, *Prediction and Countermeasure Against the Liquefaction in Sand Deposits*. Seminar in the Port and Harbor Research Institute.
- Van Zuidam, R.A. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, Smith Publisher, The Hague, Amsterdam.
- Widodo, Pawirodikromo., 2012. Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan., Penerbit Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Widyaningrum, R. dan Buana, T., 2012, Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Likuifaksi Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, Badan Geologi Kementerian ESDM, Indonesia.
- Wikipedia. (2018, 31 Desember). Kota Palu . Diperoleh 7 Januari 2019, dari https://id.wikipedia.org/wiki/Kota_Palu.
- Yoshimi, Y., and Tokimatsu, K., 1977. *Settlement of Building on Saturated Sand During Earthquake*, Journal of Soils and Foundations, vol. 17, no. 1.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, E., Finn, W. D. L., Harder Jr, L. F., Hynes, M. F., Ishihara, K., Koester, J., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F., Martin, R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe, K. H., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124(10), 817-833.
- Zeffitni, 2013. Potensi Airtanah di Cekungan Airtanah (Cat) Palu Berdasarkan Satuan Hidromorfologi Dan Hidrogeologi, UNTAD, Palu, Jurnal Geografi p.7-106.
- Zulfikar, 2008. Analisis Kemungkinan Likuifaksi Lapisan Pasir Pada Lokasi Pembangunan Dermaga Pasiran Sabang, Tugas Akhir Strata Satu Universitas Syiah Kuala.

LAMPIRAN 1

**PERHITUNGAN NILAI CSR,
CRR & FK DAERAH BALAROA**

Titik Pengukuran B-01

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,4 Mw) dan FK

Kedalaman		Litologi	a max	g m/s ²	s _v	s _v '	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β
0	1.00	Pasir	1.2	9.81	0	0	0	0	8	1.833	0.8	1.05	1	1	12.3	0	0	0.00
1	2.00	Pasir	1.2	9.81	35.1	17.1	0.905	0.148	7	1.601	0.8	1.05	1	1	9.4	28.5	1.53	0.84
2	3.00	Pasir	1.2	9.81	54.6	26.6	0.890	0.145	3	1.495	0.8	1.05	1	1	3.8	36.1	5.00	0.77
3	4.00	Pasir	1.2	9.81	74.1	36.1	0.875	0.143	5	1.403	0.8	1.05	1	1	5.9	32.8	4.87	0.80
4	5.00	Pasir	1.2	9.81	93.6	45.6	0.860	0.140	4	1.321	0.8	1.05	1	1	4.4	24.4	4.23	0.87
5	6.00	Pasir	1.2	9.81	113.1	55.1	0.845	0.138	10	1.249	0.8	1.05	1	1	10.5	26.2	4.41	0.86
6	7.00	Pasir	1.2	9.81	113.1	55.1	0.845	0.138	11	1.249	0.8	1.05	1	1	11.5	27.2	4.50	0.85
7	7.50	Pasir	1.2	9.81	132.6	64.6	0.830	0.135	12	1.184	0.8	1.05	1	1	11.9	27.1	4.49	0.85
7.5	7.00	Pasir	1.2	9.81	132.6	64.6	0.830	0.135	13	1.184	0.8	1.05	1	1	12.9	28.1	4.57	0.84
7	8.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	152.6	74.6	0.815	0.133	68	1.122	0.8	1.05	1	1	64.1	12.5	1.72	0.95
8	9.00	Pasir	1.2	9.81	172.4	84.4	0.800	0.130	12	1.068	0.8	1.05	1	1	10.8	22.0	3.92	0.89
9	10.00	Pasir	1.2	9.81	191.9	93.9	0.785	0.128	16	1.020	0.8	1.05	1	1	13.7		0.00	1.00
10	11.00	Pasir	1.2	9.81	211.4	103.4	0.770	0.125	14	0.976	0.8	1.05	1	1	11.5		0.00	1.00
11	12.00	Pasir	1.2	9.81	230.9	112.9	0.755	0.123	21	0.936	0.8	1.05	1	1	16.5	20.5	0.00	1.00
12	13.00	Pasir	1.2	9.81	250.4	122.4	0.740	0.120	24	0.899	0.8	1.05	1	1	18.1		0.00	1.00
13	14.00	Pasir	1.2	9.81	269.9	131.9	0.725	0.118	33	0.865	0.8	1.05	1	1	24.0		0.00	1.00
14	15.00	Pasir	1.2	9.81	269.9	131.9	0.725	0.118	34	0.865	0.8	1.05	1	1	24.7		0.00	1.00
15	15.30	Pasir	1.2	9.81	289.4	141.4	0.710	0.116	13	0.833	0.8	1.05	1	1	9.1		0.00	1.00
15	15.50	Lanau	1.2	9.81	308.5	150.5	0.695	0.113	12	0.805	0.8	1.05	1	1	8.1	22.9	4.04	0.88
15.5	16.00	Pasir	1.2	9.81	328.0	160.0	0.680	0.111	42	0.777	0.8	1.05	1	1	27.4		0.00	1.00
16	17.00	Pasir	1.2	9.81	328.0	160.0	0.680	0.111	42	0.777	0.8	1.05	1	1	27.4		0.00	1.00
17	16.50	Pasir	1.2	9.81	347.5	169.5	0.665	0.108	51	0.751	0.8	1.05	1	1	32.2		0.00	1.00
18	17.00	Pasir	1.2	9.81	367.0	179.0	0.650	0.106	46	0.727	0.8	1.05	1	1	28.1	24.9	4.28	0.87
19	17.50	Pasir	1.2	9.81	386.5	188.5	0.635	0.103	26	0.705	0.8	1.05	1	1	15.4		0.00	1.00
20	18.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	198.0	0.620	0.096	23	0.684	0.8	1.05	1	1	13.2		0.00	1.00
21	18.50	Pasir	1.2	9.81	386.5	207.5	0.605	0.090	50	0.664	0.8	1.05	1	1	27.9		0.00	1.00
22	19.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	217.0	0.590	0.084	40	0.645	0.8	1.05	1	1	21.7	13.7	2.10	0.94
23	19.50	Pasir	1.2	9.81	386.5	226.5	0.575	0.078	37	0.627	0.8	1.05	1	1	19.5		0.00	1.00
24	20.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	236.0	0.560	0.073	37	0.610	0.8	1.05	1	1	19.0		0.00	1.00
25	20.50	Pasir	1.2	9.81	386.5	245.5	0.545	0.068	34	0.594	0.8	1.05	1	1	17.0		0.00	1.00
26	21.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	255.0	0.530	0.064	39	0.579	0.8	1.05	1	1	19.0		0.00	1.00
27	21.50	Pasir	1.2	9.81	386.5	264.5	0.515	0.060	45	0.565	0.8	1.05	1	1	21.3	14.1	2.22	0.94
28	22.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	274.0	0.500	0.056	42	0.551	0.8	1.05	1	1	19.4		0.00	1.00
29	30.00	Pasir	1.2	9.81	386.5	283.5	0.485	0.053	49	0.538	0.8	1.05	1	1	22.1		0.00	1.00

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,45Mw)	FK
0.0	0.049	1.0346	0.051	0
9.4	0.108	1.0346	0.112	0.7
7.9	0.095	1.0346	0.098	0.7
9.6	0.110	1.0346	0.113	0.8
8.1	0.097	1.0346	0.100	0.7
13.4	0.144	1.0346	0.149	1.0
14.3	0.153	1.0346	0.158	1.1
14.6	0.156	1.0346	0.162	1.2
15.4	0.164	1.0346	0.170	1.2
62.4	0.422	1.0346	0.436	3.2
13.5	0.145	1.0346	0.150	1.1
13.7	0.147	1.0346	0.152	1.2
11.5	0.126	1.0346	0.131	1.0
16.5	0.176	1.0346	0.182	1.4
18.1	0.193	1.0346	0.200	1.6
24.0	0.273	1.0346	0.282	2.3
24.7	0.286	1.0346	0.296	2.4
9.1	0.105	1.0346	0.109	0.9
11.2	0.124	1.0346	0.128	1.1
27.4	0.350	1.0346	0.363	3.2
27.4	0.350	1.0346	0.363	3.2
32.2	0.786	1.0346	0.813	7.3
28.6	0.393	1.0346	0.406	3.7
15.4	0.164	1.0346	0.170	1.6
13.2	0.143	1.0346	0.147	1.5
27.9	0.365	1.0346	0.378	4.1
22.5	0.249	1.0346	0.257	3.0
19.5	0.209	1.0346	0.216	2.7
19.0	0.203	1.0346	0.210	2.8
17.0	0.180	1.0346	0.187	2.6
19.0	0.203	1.0346	0.210	3.2
22.2	0.245	1.0346	0.254	4.1
19.4	0.208	1.0346	0.216	3.7
22.1	0.244	1.0346	0.252	4.6

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR/CRR\ 7,5\ Mw) * MSF$

2. $CSR = 0,65 ({}^a\ max/g) * (\sigma_o/\sigma_o') * rd$

3. $CRR_{7,5} = (1/(34-(N1)60cs) + (N1)60cs) / 135 + 50 / (10 * (N1)60cs + 45) 2 - 1 / 200$

4. $N1\ (60)cs = \alpha + \beta\ (N1)60$

5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

$CRR\ 7.4\ Mw = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

Titik Pengeboran B-02

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,4 Mw) dan FK

Kedalaman		Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β
0	1.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	0	0	0	0	500	1.833	0.8	1.05	1	1	770.0		0	0.00
1	2.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	34.2	34.2	0.905	0.072	500	1.421	0.8	1.05	1	1	596.6		0.00	1.00
2	3.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	53.2	46.2	0.890	0.081	500	1.316	0.8	1.05	1	1	552.9		0.00	1.00
3	3.10	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	53.2	46.2	0.890	0.081	500	1.316	0.8	1.05	1	1	552.9		0.00	1.00
3.1	4.00	Pasir	1.2	9.81	72.6	55.6	0.875	0.091	6	1.245	0.8	1.05	1	1	6.3	38.6	5.12	0.75
4	5.00	Pasir	1.2	9.81	92.1	65.1	0.860	0.097	0	1.181	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
5	6.00	Pasir	1.2	9.81	111.6	74.6	0.845	0.101	0	1.122	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
6	6.80	Pasir	1.2	9.81	131.1	84.1	0.830	0.103	30	1.069	0.8	1.05	1	1	27.0	29.9	4.70	0.83
6.8	7.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	152.1	95.1	0.815	0.104	41	1.014	0.8	1.05	1	1	34.9	17.3	3.08	0.92
7	8.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	152.1	95.1	0.815	0.104	41	1.014	0.8	1.05	1	1	34.9	17.3	3.08	0.92
8	9.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	173.1	106.1	0.800	0.104	50	0.964	0.8	1.05	1	1	40.5	28.3	4.59	0.84
9	10.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	194.1	117.1	0.785	0.103	50	0.919	0.8	1.05	1	1	38.6	27.1	4.49	0.85
10	11.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	215.1	128.1	0.770	0.103	50	0.878	0.8	1.05	1	1	36.9	42.8	5.24	0.71
11	12.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	236.1	139.1	0.755	0.102	49	0.840	0.8	1.05	1	1	34.6		0.00	1.00
12	13.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	257.1	150.1	0.740	0.101	33	0.806	0.8	1.05	1	1	22.3	25.2	0.00	1.00
13	14.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	278.1	161.1	0.725	0.099	36	0.774	0.8	1.05	1	1	23.4		0.00	1.00
14	15.30	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	299.1	172.1	0.710	0.098	500	0.745	0.8	1.05	1	1	312.8		0.00	1.00
15	15.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	320.1	183.1	0.695	0.097	65	0.717	0.8	1.05	1	1	39.2	43.2	5.25	0.71
16	16.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	341.1	194.1	0.680	0.095	74	0.692	0.8	1.05	1	1	43.0		0.00	1.00
17	16.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	362.1	205.1	0.665	0.093	50	0.669	0.8	1.05	1	1	28.1		0.00	1.00
18	17.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	383.1	216.1	0.650	0.092	65	0.646	0.8	1.05	1	1	35.3	14.0	2.19	0.94
19	17.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	404.1	227.1	0.635	0.090	72	0.626	0.8	1.05	1	1	37.9		0.00	1.00
20	18.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	425.1	238.1	0.620	0.088	74	0.606	0.8	1.05	1	1	37.7		0.00	1.00
21	18.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	446.1	249.1	0.605	0.086	71	0.588	0.8	1.05	1	1	35.1	26.4	4.43	0.85
22	19.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	467.1	260.1	0.590	0.084	69	0.571	0.8	1.05	1	1	33.1		0.00	1.00
23	19.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	488.1	271.1	0.575	0.082	75	0.555	0.8	1.05	1	1	35.0		0.00	1.00
24	20.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	509.1	282.1	0.560	0.080	75	0.540	0.8	1.05	1	1	34.0		0.00	1.00
25	20.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	528.9	291.9	0.545	0.078	69	0.527	0.8	1.05	1	1	30.5		0.00	1.00
26	21.00	Pasir	1.2	9.81	548.4	301.4	0.530	0.077	72	0.515	0.8	1.05	1	1	31.1		0.00	1.00
27	21.50	Pasir	1.2	9.81	567.9	310.9	0.515	0.075	69	0.503	0.8	1.05	1	1	29.2	23.9	4.17	0.87
28	22.00	Pasir	1.2	9.81	587.4	320.4	0.500	0.073	74	0.493	0.8	1.05	1	1	30.6		0.00	1.00
29	30.00	Pasir	1.2	9.81	606.9	329.9	0.485	0.071	75	0.482	0.8	1.05	1	1	30.4		0.00	1.00

Sumber : Pengeloran Proyek Tim JICA, 2018

(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5Mw)	FK
0.0	0.049	1.0346	0.051	#DIV/0!
596.6	4.413	1.0346	4.565	61.3
552.9	4.089	1.0346	4.230	50.2
552.9	4.089	1.0346	4.230	50.2
9.8	0.112	1.0346	0.115	1.2
0.0	0.049	1.0346	0.051	
0.0	0.049	1.0346	0.051	
27.0	0.338	1.0346	0.349	3.3
35.1	1.128	1.0346	1.167	10.9
35.1	1.128	1.0346	1.167	10.9
38.6	0.499	1.0346	0.517	4.8
37.3	0.578	1.0346	0.598	5.6
31.4	0.615	1.0346	0.636	6.0
34.6	1.949	1.0346	2.016	19.1
22.3	0.247	1.0346	0.255	2.5
23.4	0.263	1.0346	0.273	2.6
312.8	2.308	1.0346	2.388	23.5
32.9	1.164	1.0346	1.204	12.0
43.0	0.203	1.0346	0.210	2.1
28.1	0.372	1.0346	0.385	4.0
35.3	1.028	1.0346	1.064	11.2
37.9	0.535	1.0346	0.554	6.0
37.7	0.545	1.0346	0.564	6.2
34.4	2.776	1.0346	2.872	32.2
33.1	1.357	1.0346	1.404	16.1
35.0	1.291	1.0346	1.335	15.7
34.0	346.393	1.0346	358.374	4312.4
30.5	0.510	1.0346	0.528	6.5
31.1	0.576	1.0346	0.596	7.5
29.6	0.445	1.0346	0.460	5.9
30.6	0.518	1.0346	0.536	7.1
30.4	0.496	1.0346	0.513	7.0

Rumus-Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR/CRR\ 7,5\ Mw) * MSF$
2. $CSR = 0,65 ({}^a\ max/g) * (\sigma_o/\sigma_o') * rd$
3. $CRR_{7,5} = (1/(34-(N1)60cs) + (N1)60cs) / 135 + 50 / (10 * (N1)60cs + 45) 2 - 1/200$
4. $N1\ (60)cs = \alpha + \beta\ (N1)60$
5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$$

$$CRR\ 7.4\ Mw = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$$

Titik Penggeboran B-03

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,4 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β	(N1)60cs	
0	1.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	0	0	0	150	1.833	0.8	1.05	1	1	231.0		0	1.00	231.0	
1	2.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	37.8	19.8	0.905	0.137	150	1.569	0.8	1.05	1	1	197.7	22.7	4.02	0.88	178.4
2	3.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	58.8	30.8	0.890	0.135	150	1.453	0.8	1.05	1	1	183.1	21.2	3.81	0.89	167.2
3	4.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	79.8	41.8	0.875	0.133	500	1.353	0.8	1.05	1	1	568.2	21.3	3.82	0.89	510.4
4	5.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	100.8	52.8	0.860	0.131		1.266	0.8	1.05	1	1	0.0	17.3	3.09	0.92	3.1
5	6.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	121.8	63.8	0.845	0.128		1.189	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00	0.0
6	7.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	142.8	74.8	0.830	0.126		1.121	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00	0.0
7	8.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	163.8	85.8	0.815	0.124		1.060	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00	0.0
8	9.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	184.8	96.8	0.800	0.121	61	1.006	0.8	1.05	1	1	51.5		0.00	1.00	51.5
9	10.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	205.8	107.8	0.785	0.119	56	0.957	0.8	1.05	1	1	45.0		0.00	1.00	45.0
10	11.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	226.8	118.8	0.770	0.117	150	0.912	0.8	1.05	1	1	115.0		0.00	1.00	115.0
11	12.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	247.8	129.8	0.755	0.115	44	0.872	0.8	1.05	1	1	32.2	27.0	4.48	1.00	36.7
12	13.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	268.8	140.8	0.740	0.112	150	0.835	0.8	1.05	1	1	105.2		0.00	1.00	105.2
13	14.00	Lanau	1.2	9.81	289.8	151.8	0.725	0.110	6	0.801	0.8	1.05	1	1	4.0	26.9	4.47	0.85	7.9
14	15.40	Lanau	1.2	9.81	310.8	162.8	0.710	0.108	6	0.769	0.8	1.05	1	1	3.9	34.1	4.93	0.79	8.0
15.4	15.00	Lanau	1.2	9.81	330.4	172.4	0.695	0.106	10	0.744	0.8	1.05	1	1	6.2		0.00	1.00	6.2
15	16.00	Lanau	1.2	9.81	330.4	172.4	0.695	0.106	10	0.744	0.8	1.05	1	1	6.2		0.00	1.00	6.2
16	17.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	347.9	179.9	0.680	0.105	41	0.725	0.8	1.05	1	1	25.0		0.00	1.00	25.0
17	17.30	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	347.9	179.9	0.680	0.105	41	0.725	0.8	1.05	1	1	25.0		0.00	1.00	25.0
17	18.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	367.2	189.2	0.665	0.103	150	0.703	0.8	1.05	1	1	88.6		0.00	1.00	88.6
18	19.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	388.2	200.2	0.650	0.100	150	0.679	0.8	1.05	1	1	85.5		0.00	1.00	85.5
19	20.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	409.2	211.2	0.635	0.098	150	0.656	0.8	1.05	1	1	82.7		0.00	1.00	82.7
20	21.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	430.2	222.2	0.620	0.095	300	0.635	0.8	1.05	1	1	160.0		0.00	1.00	160.0
21	22.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	451.2	233.2	0.605	0.093	120	0.615	0.8	1.05	1	1	62.0		0.00	1.00	62.0
22	23.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	472.2	244.2	0.590	0.091	115	0.596	0.8	1.05	1	1	57.6		0.00	1.00	57.6
23	24.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	472.2	244.2	0.590	0.091	116	0.596	0.8	1.05	1	1	58.1		0.00	1.00	58.1
24	24.20	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	493.2	255.2	0.575	0.088	120	0.579	0.8	1.05	1	1	58.3		0.00	1.00	58.3
24.2	25.00	Pasir	1.2	9.81	513.3	265.3	0.560	0.086	17	0.563	0.8	1.05	1	1	8.0	39.3	5.14	0.74	11.1
25	26.00	Pasir	1.2	9.81	513.3	265.3	0.560	0.086	18	0.563	0.8	1.05	1	1	8.5	40.3	5.17	0.73	11.4
26	26.30	Pasir	1.2	9.81	532.8	274.8	0.545	0.084	35	0.550	0.8	1.05	1	1	16.2	57.9	5.49	0.55	14.4
26.3	27.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	553.0	285.0	0.530	0.082	100	0.536	0.8	1.05	1	1	45.0		0.00	1.00	45.0
27	28.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	574.0	296.0	0.515	0.079	150	0.522	0.8	1.05	1	1	65.7		0.00	1.00	65.7
28	29.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	595.0	307.0	0.500	0.077	300	0.508	0.8	1.05	1	1	128.0		0.00	1.00	128.0
29	30.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	616.0	318.0	0.485	0.075	200	0.495	0.8	1.05	1	1	83.2		0.00	1.00	83.2

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5 Mw)	FK
1.701	1.0346	1.760	#DIV/0!
1.309	1.0346	1.355	9.5
1.226	1.0346	1.268	9.1
3.774	1.0346	3.905	28.4
0.059	1.0346	0.061	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.320	1.0346	0.331	2.6
0.238	1.0346	0.246	2.0
0.834	1.0346	0.863	7.1
0.638	1.0346	0.660	5.6
0.760	1.0346	0.786	6.8
0.095	1.0346	0.098	0.9
0.096	1.0346	0.099	0.9
0.082	1.0346	0.084	0.8
0.082	1.0346	0.084	0.8
0.291	1.0346	0.301	2.8
0.291	1.0346	0.301	2.8
0.633	1.0346	0.655	6.2
0.609	1.0346	0.630	6.1
0.587	1.0346	0.607	6.0
1.172	1.0346	1.213	12.3
0.419	1.0346	0.433	4.5
0.379	1.0346	0.393	4.2
0.384	1.0346	0.397	4.2
0.386	1.0346	0.399	4.4
0.123	1.0346	0.127	1.4
0.126	1.0346	0.130	1.5
0.154	1.0346	0.159	1.8
0.238	1.0346	0.246	2.9
0.450	1.0346	0.466	5.7
0.933	1.0346	0.965	12.1
0.591	1.0346	0.611	7.9

Rumus-Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR/CRR\ 7,5\ Mw) * MSF$
2. $CSR = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_v / \sigma_v') * r_d$
3. $CRR_{7,5} = (1 / (34 - (N1)_{60cs}) + (N1)_{60cs}) / 135 + 50 / (10 * (N1)_{60cs} + 45) - 1 / 200$
4. $(N1)_{60cs} = \alpha + \beta (N1)_{60}$
5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$

$CRR\ 7.4\ Mw = CRR_{7.5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$

Titik Pengeboran B-04

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,4 Mw) dan FK

Kedalaman		Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)/60	FC (%)	α	β
0	1.00	Pasir	1.2	9.81	0	0	0	0	3	1.833	0.8	1.05	1	1	4.6	0	0	0.00
1	2.00	Pasir	1.2	9.81	35.1	17.1	0.905	0.148	7	1.601	0.8	1.05	1	1	9.4	50.9	1.69	0.63
2	3.00	Pasir	1.2	9.81	54.6	26.6	0.890	0.145	3	1.495	0.8	1.05	1	1	3.8	30.8	5.00	0.82
3	4.00	Pasir	1.2	9.81	74.1	36.1	0.875	0.143	5	1.403	0.8	1.05	1	1	5.9	66.9	5.57	0.44
4	5.00	Pasir	1.2	9.81	93.6	45.6	0.860	0.140	6	1.321	0.8	1.05	1	1	6.7	58.5	5.50	0.54
5	6.00	Pasir	1.2	9.81	113.1	55.1	0.845	0.138	11	1.249	0.8	1.05	1	1	11.5	48.8	5.37	0.65
6	7.50	Pasir	1.2	9.81	132.6	64.6	0.830	0.135	13	1.184	0.8	1.05	1	1	12.9	48.3	5.36	0.65
7	8.00	Pasir	1.2	9.81	152.1	74.1	0.815	0.133	141	1.125	0.8	1.05	1	1	133.2		0.00	1.00
8	9.00	Pasir	1.2	9.81	171.6	83.6	0.800	0.131	90	1.072	0.8	1.05	1	1	81.0	25.1	4.30	0.86
9	10.00	Pasir	1.2	9.81	191.1	93.1	0.785	0.128	61	1.024	0.8	1.05	1	1	52.4		0.00	1.00
10	11.00	Pasir	1.2	9.81	210.6	102.6	0.770	0.126	50	0.979	0.8	1.05	1	1	41.1	14.7	2.41	0.65
11	12.00	Pasir	1.2	9.81	230.1	112.1	0.755	0.123	69	0.939	0.8	1.05	1	1	54.4		0.00	1.00
12	13.00	Pasir	1.2	9.81	249.6	121.6	0.740	0.121	84	0.902	0.8	1.05	1	1	63.6	23.6	4.14	0.65
13	14.00	Pasir	1.2	9.81	269.1	131.1	0.725	0.118	70	0.867	0.8	1.05	1	1	51.0		0.00	1.00
14	14.40	Pasir	1.2	9.81	289.2	141.2	0.710	0.116	135	0.833	0.8	1.05	1	1	94.5	17.8	3.20	0.65
14.4	15.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	310.2	152.2	0.695	0.113		0.799	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
15	15.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	310.2	152.2	0.695	0.113		0.799	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
16	16.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	331.2	163.2	0.680	0.110		0.768	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
17	16.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	352.2	174.2	0.665	0.107		0.739	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
18	17.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	373.2	185.2	0.650	0.104		0.712	0.8	1.05	1	1	0.0	11.0	1.20	0.95
19	17.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	394.2	196.2	0.635	0.101		0.687	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
20	18.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	415.2	207.2	0.620	0.099		0.664	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
21	18.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	436.2	218.2	0.605	0.096		0.642	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
22	19.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	457.2	229.2	0.590	0.094		0.622	0.8	1.05	1	1	0.0	32.7	4.86	0.80
23	19.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	478.2	240.2	0.575	0.091		0.603	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
24	20.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	499.2	251.2	0.560	0.088		0.585	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
25	20.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	520.2	262.2	0.545	0.086		0.568	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
26	21.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	541.2	273.2	0.530	0.083		0.552	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	1.00
27	21.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	562.2	284.2	0.515	0.081	75	0.537	0.8	1.05	1	1	33.8	16.9	2.99	0.92
28	22.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	583.2	295.2	0.500	0.079	120	0.523	0.8	1.05	1	1	52.7		0.00	1.00
29	30.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	604.2	306.2	0.485	0.076	30	0.509	0.8	1.05	1	1	12.8	19.8	3.59	0.90

Titik Pengeboran B-05

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,4 Mw) dan FK

Kedalaman		Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α
0	1.00	Tanah	1.2	9.81	0	0	0	0	3	1.833	0.8	1.05	1	1	4.6	0	0
1	2.00	Lanau	1.2	9.81	29.0	16.5	0.905	0.126	4	1.608	0.8	1.05	1	1	5.4	85.4	1.73
2	3.00	Pasir	1.2	9.81	48.1	25.6	0.890	0.133	7	1.506	0.8	1.05	1	1	8.9	31.1	1.56
3	4.00	Lanau	1.2	9.81	66.0	33.5	0.875	0.137	3	1.427	0.8	1.05	1	1	3.6	69.4	1.72
4	5.00	Lanau	1.2	9.81	83.5	41.0	0.860	0.139	10	1.360	0.8	1.05	1	1	11.4	86.3	1.73
5	6.00	Lanau	1.2	9.81	101.0	48.5	0.845	0.140	13	1.298	0.8	1.05	1	1	14.2	86.4	1.73
6	7.00	Lanau	1.2	9.81	101.0	48.5	0.845	0.140	14	1.298	0.8	1.05	1	1	15.3	87.4	1.74
7	7.40	Lanau	1.2	9.81	118.5	56.0	0.830	0.140	19	1.242	0.8	1.05	1	1	19.8	84.1	1.73
7.4	8.00	Pasir	1.2	9.81	136.8	64.3	0.815	0.138	16	1.186	0.8	1.05	1	1	15.9	68.7	1.72
8	8.40	Pasir	1.2	9.81	136.8	64.3	0.815	0.138	16	1.186	0.8	1.05	1	1	15.9	68.7	1.72
8.9	9.00	Lanau	1.2	9.81	155.5	73.0	0.800	0.135	14	1.131	0.8	1.05	1	1	13.3	54.3	1.70
9	10.00	Lanau	1.2	9.81	173.0	80.5	0.785	0.134	18	1.089	0.8	1.05	1	1	16.5	90.0	1.74
10	11.00	Pasir	1.2	9.81	193.3	90.8	0.770	0.130	50	1.035	0.8	1.05	1	1	43.5		0.00
11	12.00	Pasir	1.2	9.81	214.3	101.8	0.755	0.126	57	0.983	0.8	1.05	1	1	47.1	82.8	1.73
12	13.00	Pasir	1.2	9.81	235.3	112.8	0.740	0.123	43	0.936	0.8	1.05	1	1	33.8		0.00
13	14.00	Pasir	1.2	9.81	256.3	123.8	0.725	0.119	40	0.893	0.8	1.05	1	1	30.0		0.00
14	15.00	Pasir	1.2	9.81	277.3	134.8	0.710	0.116	37	0.855	0.8	1.05	1	1	26.6		0.00
15	16.00	Lanau	1.2	9.81	298.3	145.8	0.695	0.113	28	0.819	0.8	1.05	1	1	19.3	38.9	1.63
16	17.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	319.3	156.8	0.680	0.110	39	0.786	0.8	1.05	1	1	25.7		0.00
17	18.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	340.3	167.8	0.665	0.107	31	0.756	0.8	1.05	1	1	19.7		0.00
18	19.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	361.3	178.8	0.650	0.104	21	0.728	0.8	1.05	1	1	12.8		0.00
19	20.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	382.3	189.8	0.635	0.102	32	0.702	0.8	1.05	1	1	18.9	89.9	1.74
20	21.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	403.3	200.8	0.620	0.099	38	0.677	0.8	1.05	1	1	21.6		0.00
21	22.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	424.3	211.8	0.605	0.096	47	0.655	0.8	1.05	1	1	25.9		0.00
22	23.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	445.3	222.8	0.590	0.094	46	0.634	0.8	1.05	1	1	24.5		0.00
23	24.00	Kerikil Pasirai	1.2	9.81	466.3	233.8	0.575	0.091	35	0.614	0.8	1.05	1	1	18.0	88.9	1.74
24	25.00	Pasir	1.2	9.81	486.1	243.6	0.560	0.089	48	0.597	0.8	1.05	1	1	24.1		0.00
25	26.00	Lanau	1.2	9.81	504.0	251.5	0.545	0.087	36	0.584	0.8	1.05	1	1	17.7		0.00
26	27.00	Pasir	1.2	9.81	523.1	260.6	0.530	0.085	22	0.570	0.8	1.05	1	1	10.5		0.00
27	28.00	Lanau	1.2	9.81	541.0	268.5	0.515	0.082	29	0.559	0.8	1.05	1	1	13.6	90.1	1.74
28	29.00	Lanau	1.2	9.81	558.5	276.0	0.500	0.080	32	0.548	0.8	1.05	1	1	14.7		0.00
29	30.00	Lanau	1.2	9.81	576.0	283.5	0.485	0.078	45	0.538	0.8	1.05	1	1	20.3		0.00

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

β	(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5 Mw)	FK
0.00	0.0	0.049	1.0346	0.051	#DIV/0!
0.20	2.8	0.057	1.0346	0.059	0.5
0.82	8.8	0.103	1.0346	0.106	0.8
0.41	3.2	0.060	1.0346	0.062	0.4
0.19	3.9	0.064	1.0346	0.066	0.5
0.19	4.4	0.068	1.0346	0.070	0.5
0.17	4.4	0.068	1.0346	0.070	0.5
0.22	6.1	0.080	1.0346	0.083	0.6
0.42	8.4	0.100	1.0346	0.103	0.7
0.42	8.4	0.100	1.0346	0.103	0.7
0.59	9.5	0.109	1.0346	0.113	0.8
0.14	4.0	0.065	1.0346	0.067	0.5
1.00	43.5	0.212	1.0346	0.219	1.6
1.00	48.8	0.289	1.0346	0.299	2.3
1.00	33.8	5.535	1.0346	5.726	45.1
1.00	30.0	0.469	1.0346	0.485	3.9
1.00	26.6	0.327	1.0346	0.338	2.8
0.75	16.0	0.170	1.0346	0.176	1.5
1.00	25.7	0.307	1.0346	0.318	2.8
1.00	19.7	0.211	1.0346	0.219	2.0
1.00	12.8	0.139	1.0346	0.144	1.3
0.14	4.3	0.067	1.0346	0.070	0.7
1.00	21.6	0.237	1.0346	0.245	2.4
1.00	25.9	0.310	1.0346	0.320	3.2
1.00	24.5	0.282	1.0346	0.292	3.0
0.15	4.5	0.068	1.0346	0.071	0.7
1.00	24.1	0.275	1.0346	0.284	3.1
1.00	17.7	0.188	1.0346	0.195	2.2
1.00	10.5	0.118	1.0346	0.122	1.4
0.13	3.6	0.062	1.0346	0.064	0.8
0.00	0.0	0.049	1.0346	0.051	0.6
0.00	0.0	0.049	1.0346	0.051	0.6

Rumus-Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR/CRR_{7,5\text{ Mw}}) * MSF$

2. $CSR = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{vo}') * rd$

3. $CRR_{7,5} = (1/(34-(N1)60cs)+(N1)60cs)/135+50 / (10*(N1)60cs+45]2-1/200$

4. $N1 (60)cs = \alpha + \beta (N1)60$

5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

$CRR_{7.4\text{ Mw}} = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

LAMPIRAN 2

**PERHITUNGAN NILAI CSR,
CRR & FK DAERAH PETOBO**

Titik Pengeboran Daerah Petobo P-01

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,5 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	a max	g m/s2	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β	(N1)60cs
0	1.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	0	0	0	4	1.833	0.8	1.05	1	1	6.2	0	0	1.20	7.4
1	2.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	34.2	34.2	0.905	27	1.421	0.8	1.05	1	1	32.2	11.1	1.24	0.95	70.6
2	2.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	34.2	34.2	0.905	27	1.421	0.8	1.05	1	1	32.2	11.1	1.24	0.95	70.6
2.5	3.00	Pasir	1.2	9.81	52.8	52.8	0.890	52	1.266	0.8	1.05	1	1	55.3	21.1	5.00	0.89	325.8
3	4.00	Pasir	1.2	9.81	70.3	70.3	0.875	54	1.148	0.8	1.05	1	1	52.1	19.4	3.52	0.90	230.1
4	5.00	Pasir	1.2	9.81	87.8	87.8	0.860	58	1.050	0.8	1.05	1	1	51.2	27.4	4.51	0.85	274.1
5	6.00	Pasir	1.2	9.81	105.3	105.3	0.845	53	0.968	0.8	1.05	1	1	43.1	23.3	4.09	0.88	214.2
6	7.00	Pasir	1.2	9.81	122.8	122.8	0.830	55	0.897	0.8	1.05	1	1	41.5	21.9	3.92	0.89	199.1
7	8.00	Pasir	1.2	9.81	140.3	140.3	0.815		0.836	0.8	1.05	1	1		0.0	#DIV/0!	0.99	
8	9.00	Pasir	1.2	9.81	157.8	157.8	0.800		0.783	0.8	1.05	1	1		0.0	#DIV/0!	0.99	
9	10.00	Pasir	1.2	9.81	175.3	175.3	0.785		0.737	0.8	1.05	1	1		0.0	0.00	1.22	
10	11.00	Pasir	1.2	9.81	192.8	192.8	0.770		0.695	0.8	1.05	1	1		48.7	0.00	1.20	
11	12.00	Pasir	1.2	9.81	192.8	192.8	0.770		0.695	0.8	1.05	1	1		48.7	0.00	1.20	
12	12.20	Pasir	1.2	9.81	210.3	204.5	0.755		0.670	0.8	1.05	1	1		47.4	0.00	0.66	
12.2	13.00	Pasir	1.2	9.81	227.8	212.0	0.740		0.655	0.8	1.05	1	1			0.00	1.20	
13	14.00	Lanau	1.2	9.81	245.3	219.5	0.725		0.640	0.8	1.05	1	1		35.7	0.00	1.20	
14	14.30	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	263.8	228.0	0.710		0.624	0.8	1.05	1	1			0.00	1.20	
14.3	15.00	Lanau	1.2	9.81	245.3	219.5	0.725		0.640	0.8	1.05	1	1		35.7	0.00	1.20	
15	15.50	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	282.4	236.6	0.695		0.609	0.8	1.05	1	1			#DIV/0!	0.99	
15.5	16.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	303.4	247.6	0.680	64	0.591	0.8	1.05	1	1	31.8	31.4	0.00	1.20	38.1
16	17.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	324.4	258.6	0.665	52	0.573	0.8	1.05	1	1	25.0		0.00	1.20	30.1
17	18.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	345.4	269.6	0.650	54	0.557	0.8	1.05	1	1	25.3	25.7	4.36	0.86	131.9
18	19.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	366.4	280.6	0.635	57	0.542	0.8	1.05	1	1	25.9		0.00	1.20	31.1
19	20.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	387.4	291.6	0.620	59	0.527	0.8	1.05	1	1	26.1		0.00	1.20	31.4
20	21.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	408.4	302.6	0.605	55	0.513	0.8	1.05	1	1	23.7	21.4	0.00	1.20	28.5
21	22.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	429.4	313.6	0.590	53	0.500	0.8	1.05	1	1	22.3		#DIV/0!	0.99	#DIV/0!
22	23.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	450.4	324.6	0.575	51	0.488	0.8	1.05	1	1	20.9		0.00	1.20	25.1
23	24.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	471.4	335.6	0.560	59	0.476	0.8	1.05	1	1	23.6		0.00	1.20	28.3
24	25.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	471.4	335.6	0.560	59	0.476	0.8	1.05	1	1	23.6		0.00	1.20	28.3
25	26.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	471.4	335.6	0.560	59	0.476	0.8	1.05	1	1	23.6		0.00	1.20	28.3
26	26.30	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	492.4	346.6	0.545	51	0.465	0.8	1.05	1	1	19.9		0.00	1.20	23.9
26.3	27.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	492.4	346.6	0.545	51	0.465	0.8	1.05	1	1	19.9		0.00	1.20	23.9
27	28.00	Pasir	1.2	9.81	512.6	356.8	0.530	11	0.455	0.8	1.05	1	1	4.2	48.0	0.00	1.20	5.0
28	28.20	Pasir	1.2	9.81	532.1	366.3	0.515	39	0.446	0.8	1.05	1	1	14.6		#DIV/0!	0.99	#DIV/0!
28.2	29.00	Pasir	1.2	9.81	552.5	376.7	0.500	56	0.436	0.8	1.05	1	1	20.5		0.00	1.20	24.6
29	30.00	Kerikil Pasiran	1.2	9.81	573.5	387.7	0.485	58	0.427	0.8	1.05	1	1	20.8	20.5	0.00	1.20	25.0

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5 Mw)	FK
0.081	1.0346	0.084	#DIV/0!
0.795	1.0346	0.822	11.4
0.795	1.0346	0.822	11.4
0.358	1.0346	0.370	5.2
0.326	1.0346	0.337	4.8
0.316	1.0346	0.327	4.8
0.204	1.0346	0.211	3.1
0.168	1.0346	0.174	2.6
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.049	1.0346	0.051	
0.676	1.0346	0.700	10.6
0.293	1.0346	0.303	4.6
0.297	1.0346	0.308	4.6
0.312	1.0346	0.323	4.9
0.316	1.0346	0.327	5.0
0.269	1.0346	0.278	4.3
0.246	1.0346	0.254	4.0
0.227	1.0346	0.235	3.7
0.266	1.0346	0.276	4.4
0.266	1.0346	0.276	4.4
0.266	1.0346	0.276	4.4
0.214	1.0346	0.222	3.6
0.214	1.0346	0.222	3.6
0.066	1.0346	0.069	1.1
0.156	1.0346	0.161	2.7
0.222	1.0346	0.230	3.9
0.226	1.0346	0.233	4.1

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR / CRR_{7,5 \text{ Mw}}) * MSF$
2. $CSR = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_v / \sigma'_v) * r_d$
3. $CRR_{7,5} = (1 / (34 - (N1)_{60cs}) + (N1)_{60cs}) / (135 + 50 / (10 * (N1)_{60cs} + 45)) - 1 / 200$
4. $(N1)_{60cs} = \alpha + \beta (N1)_{60}$
5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$

$CRR_{7.4 \text{ Mw}} = CRR_{7.5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$

Titik Pengukuran Daerah Petobo P-02

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,5 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ'_v	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β	(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)
0	1.00 Lanau	1.2	9.81	0	0	-	0	3	1.833	0.8	1.05	1	1	4.6	0	0	1.20	5.5	0.069
1	2.00 Lanau	1.2	9.81	27.9	27.9	0.905	0.072	3	1.482	0.8	1.05	1	1	3.7	53.8	5.44	0.60	22.6	0.063
2	3.00 Lanau	1.2	9.81	43.4	41.4	0.890	0.074	5	1.356	0.8	1.05	1	1	5.7	53.3	5.00	0.60	31.9	0.077
3	3.60 Lanau	1.2	9.81	43.4	41.4	0.890	0.074	5	1.356	0.8	1.05	1	1	5.7	53.3	5.00	0.60	31.9	0.077
3.6	4.00 Pasir	1.2	9.81	59.7	47.7	0.875	0.087	4	1.305	0.8	1.05	1	1	4.4	43.9	5.27	0.70	26.1	0.068
4	4.50 Pasir	1.2	9.81	59.7	47.7	0.875	0.087	4	1.305	0.8	1.05	1	1	4.4	43.9	5.27	0.70	26.1	0.068
4.5	5.00 Lanau	1.2	9.81	78.6	56.6	0.860	0.095	7	1.238	0.8	1.05	1	1	7.3	78.1	5.63	0.30	43.2	0.090
5	6.00 Lanau	1.2	9.81	78.6	56.6	0.860	0.095	7	1.238	0.8	1.05	1	1	7.3	78.1	5.63	0.30	43.2	0.090
6	7.00 Pasir	1.2	9.81	96.1	64.1	0.845	0.101	5	1.187	0.8	1.05	1	1	5.0	58.2	5.49	0.55	30.1	0.072
7	7.20 Pasir	1.2	9.81	115.2	73.2	0.830	0.104	3	1.130	0.8	1.05	1	1	2.8	70.6	5.60	0.40	17.1	0.057
7.2	8.00 Lanau	1.2	9.81	133.5	81.5	0.815	0.106	4	1.083	0.8	1.05	1	1	3.6	79.5	5.64	0.28	21.6	0.062
8	9.00 Lanau	1.2	9.81	133.5	81.5	0.815	0.106	4	1.083	0.8	1.05	1	1	3.6	79.5	5.64	0.28	21.6	0.062
9	10.00 Lanau	1.2	9.81	151.0	89.0	0.800	0.108	5	1.044	0.8	1.05	1	1	4.4	81.5	5.65	0.25	25.9	0.068
10	10.40 Lanau	1.2	9.81	168.5	96.5	0.785	0.109	7	1.007	0.8	1.05	1	1	5.9	76.3	5.63	1.22	40.5	0.079
10.4	11.00 Pasir	1.2	9.81	186.8	104.8	0.770	0.109	50	0.970	0.8	1.05	1	1	40.7	27.9	4.56	1.20	234.5	0.148
11	12.00 Pasir	1.2	9.81	186.8	104.8	0.770	0.109	50	0.970	0.8	1.05	1	1	40.7	27.9	4.56	1.20	234.5	0.148
12	13.00 Pasir	1.2	9.81	206.3	114.3	0.755	0.108	48	0.930	0.8	1.05	1	1	37.5	33.6	4.91	0.80	214.0	0.559
13	14.00 Pasir	1.2	9.81	225.8	123.8	0.740	0.107	50	0.893	0.8	1.05	1	1	37.5		0.00	1.00	37.5	0.557
14	15.00 Pasir	1.2	9.81	245.3	133.3	0.725	0.106	35	0.860	0.8	1.05	1	1	25.3		0.00	1.00	25.3	0.297
15	16.00 Pasir	1.2	9.81	264.8	142.8	0.710	0.105	43	0.828	0.8	1.05	1	1	29.9		0.00	1.00	29.9	0.462
16	17.00 Pasir	1.2	9.81	284.3	152.3	0.695	0.103	42	0.799	0.8	1.05	1	1	28.2	30.6	4.74	0.82	156.9	0.377
17	18.00 Pasir	1.2	9.81	303.8	161.8	0.680	0.101	20	0.772	0.8	1.05	1	1	13.0		0.00	1.00	13.0	0.140
18	19.00 Pasir	1.2	9.81	323.3	171.3	0.665	0.100	34	0.747	0.8	1.05	1	1	21.3		0.00	1.00	21.3	0.233
19	20.00 Pasir	1.2	9.81	342.8	180.8	0.650	0.098	44	0.723	0.8	1.05	1	1	26.7		0.00	1.00	26.7	0.331
20	21.00 Pasir	1.2	9.81	362.3	190.3	0.635	0.096	34	0.701	0.8	1.05	1	1	20.0		0.00	1.00	20.0	0.215
21	22.00 Pasir	1.2	9.81	381.8	199.8	0.620	0.094	45	0.680	0.8	1.05	1	1	25.7	26.9	4.47	0.85	136.7	0.306
22	22.50 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	401.3	209.3	0.605	0.092	47	0.660	0.8	1.05	1	1	26.0		0.00	1.00	26.0	0.314
22.5	23.00 Pasir	1.2	9.81	421.6	219.6	0.590	0.090	42	0.640	0.8	1.05	1	1	22.6		0.00	1.00	22.6	0.250
23	24.00 Pasir	1.2	9.81	441.1	229.1	0.575	0.088	50	0.622	0.8	1.05	1	1	26.1		0.00	1.00	26.1	0.316
24	25.00 Pasir	1.2	9.81	460.6	238.6	0.560	0.086	50	0.606	0.8	1.05	1	1	25.4		0.00	1.00	25.4	0.301
25	26.00 Lanau	1.2	9.81	478.5	246.5	0.545	0.084	25	0.592	0.8	1.05	1	1	12.4		0.00	1.00	12.4	0.135
26	26.30 Lanau	1.2	9.81	478.5	246.5	0.545	0.084	25	0.592	0.8	1.05	1	1	12.4		0.00	1.00	12.4	0.135
26.3	27.00 Pasir	1.2	9.81	497.0	255.0	0.530	0.082	50	0.579	0.8	1.05	1	1	24.3	31.4	4.79	0.81	136.4	0.279
27	27.30 Pasir	1.2	9.81	497.0	255.0	0.530	0.082	50	0.579	0.8	1.05	1	1	24.3	31.4	4.79	0.81	136.4	0.279
27.3	28.00 Lanau	1.2	9.81	515.5	263.5	0.515	0.080	50	0.566	0.8	1.05	1	1	23.8		0.00	1.00	23.8	0.270
28	29.00 Lanau	1.2	9.81	515.5	263.5	0.515	0.080	50	0.566	0.8	1.05	1	1	23.8		0.00	1.00	23.8	0.270
29	29.10 Lanau	1.2	9.81	533.0	271.0	0.500	0.078	42	0.555	0.8	1.05	1	1	19.6		0.00	1.00	19.6	0.210
29.1	30.00 Pasir	1.2	9.81	551.9	279.9	0.485	0.076	81	0.543	0.8	1.05	1	1	36.9		0.00	1.00	36.9	0.611

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

MSF	CRR (7,5 Mw)	FK
1.0346	0.072	#DIV/0!
1.0346	0.065	0.9
1.0346	0.080	1.1
1.0346	0.080	1.1
1.0346	0.070	0.8
1.0346	0.070	0.8
1.0346	0.093	1.0
1.0346	0.093	1.0
1.0346	0.074	0.7
1.0346	0.059	0.6
1.0346	0.065	0.6
1.0346	0.065	0.6
1.0346	0.070	0.6
1.0346	0.082	0.8
1.0346	0.153	1.4
1.0346	0.153	1.4
1.0346	0.578	5.3
1.0346	0.576	5.4
1.0346	0.308	2.9
1.0346	0.478	4.6
1.0346	0.390	3.8
1.0346	0.145	1.4
1.0346	0.241	2.4
1.0346	0.342	3.5
1.0346	0.223	2.3
1.0346	0.317	3.4
1.0346	0.325	3.5
1.0346	0.259	2.9
1.0346	0.327	3.7
1.0346	0.311	3.6
1.0346	0.140	1.7
1.0346	0.140	1.7
1.0346	0.289	3.5
1.0346	0.289	3.5
1.0346	0.279	3.5
1.0346	0.279	3.5
1.0346	0.218	2.8
1.0346	0.632	8.3

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR / CRR_{7,5 Mw}) \cdot MSF$

2. $CSR = 0,65 \cdot (\max/g) \cdot (\sigma_v / \sigma_{vo}') \cdot r_d$

3. $CRR_{7,5} = (1 / (34 - (N1)_{60cs}) + (N1)_{60cs}) / 135 + 50 / (10 \cdot (N1)_{60cs} + 45)^{2-1/200}$

4. $N1_{(60)cs} = \alpha + \beta (N1)_{60}$

5. $(N1)_{60} = N_M \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} \cdot MSF \cdot K_\sigma \cdot K_\alpha$

$CRR_{7.4 Mw} = CRR_{7.5} \cdot MSF \cdot K_\sigma \cdot K_\alpha$

Titik Pengeboran Daerah Petobo P-03

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,5 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β	(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)	MSF
0	1.00 Lanau	1.2	9.81	0	0	-	0	6	1.833	0.8	1.05	1	1	9.2	0	0	1.20	11.1	0.106	1.0346
1	2.00 Lanau	1.2	9.81	31.0	14.3	0.905	0.156	6	1.635	0.8	1.05	1	1	8.2	72.5	5.61	0.37	49.3	0.098	1.0346
2	3.00 Lanau	1.2	9.81	48.5	21.8	0.890	0.157	15	1.547	0.8	1.05	1	1	19.5	88.7	5.67	0.15	113.6	0.209	1.0346
3	4.00 Lanau	1.2	9.81	66.0	29.3	0.875	0.157	27	1.468	0.8	1.05	1	1	33.3	80.7	5.65	0.26	196.7	1.653	1.0346
4	5.00 Lanau	1.2	9.81	83.5	36.8	0.860	0.155	34	1.397	0.8	1.05	1	1	39.9	80.2	5.64	0.27	235.9	0.121	1.0346
5	5.10 Lanau	1.2	9.81	83.5	36.8	0.860	0.155	34	1.397	0.8	1.05	1	1	39.9	80.2	5.64	0.27	235.9	0.121	1.0346
5.1	5.50 Pasir	1.2	9.81	101.8	45.1	0.845	0.152	34	1.325	0.8	1.05	1	1	37.9	82.9	5.65	0.23	222.9	0.016	1.0346
5.5	6.00 Lanau	1.2	9.81	119.3	52.6	0.830	0.150	33	1.267	0.8	1.05	1	1	35.1		0.00	0.99	34.8	1.147	1.0346
6	7.00 Lanau	1.2	9.81	119.3	52.6	0.830	0.150	33	1.267	0.8	1.05	1	1	35.1		0.00	0.99	34.8	1.147	1.0346
7	8.00 Lanau	1.2	9.81	136.8	60.1	0.815	0.147	36	1.214	0.8	1.05	1	1	36.7	80.2	5.64	0.27	217.1	0.638	1.0346
8	9.00 Pasir	1.2	9.81	155.9	69.2	0.800	0.143	55	1.154	0.8	1.05	1	1	53.3		0.00	0.99	52.8	0.339	1.0346
9	10.00 Pasir	1.2	9.81	175.4	78.7	0.785	0.139	64	1.099	0.8	1.05	1	1	59.1	5.7	0.02	0.98	58.6	0.393	1.0346
10	11.00 Pasir	1.2	9.81	194.9	88.2	0.770	0.135	65	1.048	0.8	1.05	1	1	57.2		0.00	0.99	56.6	0.376	1.0346
11	12.00 Pasir	1.2	9.81	214.4	97.7	0.755	0.132	99	1.002	0.8	1.05	1	1	83.3	7.9	0.27	0.97	103.1	0.592	1.0346
12	13.00 Pasir	1.2	9.81	233.9	107.2	0.740	0.128	67	0.959	0.8	1.05	1	1	54.0		0.00	0.99	53.5	0.345	1.0346
13	14.00 Pasir	1.2	9.81	253.4	116.7	0.725	0.125		0.920	0.8	1.05	1	1	0.0		0.00	0.99	0.0	0.049	1.0346
14	15.00 Pasir	1.2	9.81	272.9	126.2	0.710	0.122	34	0.885	0.8	1.05	1	1	25.3	78.0	5.63	0.30	150.0	0.297	1.0346
15	16.00 Pasir	1.2	9.81	272.9	126.2	0.710	0.122	34	0.885	0.8	1.05	1	1	25.3	78.0	5.63	0.30	150.0	0.297	1.0346
16	16.50 Pasir	1.2	9.81	292.4	135.7	0.695	0.119	36	0.851	0.8	1.05	1	1	25.7		0.00	0.99	25.5	0.307	1.0346
16.5	16.00 Lanau	1.2	9.81	311.3	144.6	0.680	0.116	36	0.823	0.8	1.05	1	1	24.9		0.00	0.99	24.6	0.289	1.0346
16	17.00 Lanau	1.2	9.81	328.8	152.1	0.665	0.114	34	0.800	0.8	1.05	1	1	22.8	84.0	5.66	0.22	134.3	0.254	1.0346
17	18.00 Lanau	1.2	9.81	346.3	159.6	0.650	0.112	35	0.778	0.8	1.05	1	1	22.9		0.00	0.99	22.6	0.255	1.0346
18	19.00 Lanau	1.2	9.81	346.3	159.6	0.650	0.112	35	0.778	0.8	1.05	1	1	22.9		0.00	0.99	22.6	0.255	1.0346
19	19.50 Pasir	1.2	9.81	364.8	168.1	0.635	0.110	40	0.755	0.8	1.05	1	1	25.4		0.00	0.99	25.1	0.299	1.0346
19.5	20.00 Lanau	1.2	9.81	383.9	177.2	0.620	0.107	33	0.732	0.8	1.05	1	1	20.3	77.9	5.63	0.30	120.4	0.219	1.0346
20	21.00 Pasir	1.2	9.81	403.4	186.7	0.605	0.104	32	0.709	0.8	1.05	1	1	19.1		0.00	0.99	18.9	0.204	1.0346
21	22.00 Pasir	1.2	9.81	403.4	186.7	0.605	0.104	32	0.709	0.8	1.05	1	1	19.1		0.00	0.99	18.9	0.204	1.0346
22	23.00 Pasir	1.2	9.81	422.9	196.2	0.590	0.101	35	0.687	0.8	1.05	1	1	20.2		0.00	0.99	20.0	0.218	1.0346
23	24.00 Pasir	1.2	9.81	442.4	205.7	0.575	0.098	33	0.667	0.8	1.05	1	1	18.5	76.5	5.63	0.32	110.0	0.197	1.0346
24	25.00 Pasir	1.2	9.81	461.9	215.2	0.560	0.096	34	0.648	0.8	1.05	1	1	18.5		0.00	0.99	18.3	0.198	1.0346
25	26.00 Pasir	1.2	9.81	481.4	224.7	0.545	0.093	32	0.630	0.8	1.05	1	1	16.9		0.00	0.99	16.8	0.180	1.0346
26	27.00 Pasir	1.2	9.81	500.9	234.2	0.530	0.090	34	0.613	0.8	1.05	1	1	17.5	83.6	5.66	0.22	103.0	0.186	1.0346
27	28.00 Pasir	1.2	9.81	520.4	243.7	0.515	0.087	34	0.597	0.8	1.05	1	1	17.1		0.00	0.99	16.9	0.181	1.0346
28	29.00 Pasir	1.2	9.81	539.9	253.2	0.500	0.085	37	0.582	0.8	1.05	1	1	18.1		0.00	0.99	17.9	0.193	1.0346
29	29.00 Pasir	1.2	9.81	559.4	262.7	0.485	0.082	31	0.567	0.8	1.05	1	1	14.8	69.2	5.59	0.41	88.6	0.158	1.0346

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

CRR (7,4 Mw)	FK
0.110	#DIV/0!
0.101	0.6
0.216	1.4
1.710	10.9
0.125	0.8
0.125	0.8
0.017	0.1
1.187	7.9
1.187	7.9
0.660	4.5
0.350	2.4
0.406	2.9
0.389	2.9
0.612	4.6
0.357	2.8
0.051	0.4
0.307	2.5
0.307	2.5
0.318	2.7
0.299	2.6
0.263	2.3
0.264	2.4
0.264	2.4
0.310	2.8
0.227	2.1
0.211	2.0
0.211	2.0
0.226	2.2
0.204	2.1
0.204	2.1
0.186	2.0
0.193	2.1
0.188	2.1
0.199	2.4
0.163	2.0

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR/CRR\ 7,5\ Mw) * MSF$

2. $CSR = 0,65 (a\ max/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{vo}') * rd$

3. $CRR_{7,5} = (1/(34-(N1)_{60cs})+(N1)_{60cs})/135+50 / (10*(N1)_{60cs}+45]2-1/200$

4. $N1\ (60)cs = \alpha + \beta\ (N1)_{60}$

5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

$CRR\ 7.4\ Mw = CRR_{7.5} * MSF * K\sigma * K\alpha$

Titik Pengeboran Daerah Petobo P-04

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,5 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β	(N1)60cs
0	1.00 Lanau	1.2	9.81	0	0	0	0	5	1.833	0.8	1.05	1	1	7.7	0	0	1.00	7.7
1	2.00 Lanau	1.2	9.81	27.9	17.9	0.905	0.112	17	1.591	0.8	1.05	1	1	22.7	59.0	5.50	0.54	137.3
2	3.00 Lanau	1.2	9.81	44.0	24.0	0.890	0.130	12	1.523	0.8	1.05	1	1	15.3	57.9	5.49	0.55	92.7
3	3.20 Pasir	1.2	9.81	61.9	31.9	0.875	0.135	8	1.442	0.8	1.05	1	1	9.7	40.3	5.17	0.73	57.2
3.2	4.00 Lanau	1.2	9.81	81.0	41.0	0.860	0.135	3	1.360	0.8	1.05	1	1	3.4	61.9	5.53	0.50	20.7
4	5.00 Pasir	1.2	9.81	99.5	49.5	0.845	0.135	28	1.291	0.8	1.05	1	1	30.4	34.1	4.94	0.79	173.8
5	5.30 Pasir	1.2	9.81	119.0	59.0	0.830	0.133	5	1.221	0.8	1.05	1	1	5.1	62.2	5.53	0.50	30.9
5.3	5.80 Lanau	1.2	9.81	139.1	69.1	0.815	0.130	42	1.155	0.8	1.05	1	1	40.8	39.0	5.13	0.75	239.5
5.8	7.00 Pasir	1.2	9.81	160.1	80.1	0.800	0.127	33	1.091	0.8	1.05	1	1	30.2	60.0	5.51	0.53	182.6
7	7.40 Pasir	1.2	9.81	160.1	80.1	0.800	0.127	33	1.091	0.8	1.05	1	1	30.2	60.0	5.51	0.53	182.6
7.4	8.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	181.1	91.1	0.785	0.124	37	1.033	0.8	1.05	1	1	32.1	37.4	5.08	0.76	187.4
8	9.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	181.1	91.1	0.785	0.124	37	1.033	0.8	1.05	1	1	32.1	37.4	5.08	0.76	187.4
9	10.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	181.1	91.1	0.785	0.124	37	1.033	0.8	1.05	1	1	32.1	37.4	5.08	0.76	187.4
10	10.30 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	181.1	91.1	0.785	0.124	37	1.033	0.8	1.05	1	1	32.1	37.4	5.08	0.76	187.4
10.3	11.00 Pasir	1.2	9.81	201.4	101.4	0.770	0.122	20	0.985	0.8	1.05	1	1	16.5	23.4	4.11	0.88	82.5
11	12.00 Pasir	1.2	9.81	220.9	110.9	0.755	0.120	11	0.944	0.8	1.05	1	1	8.7	47.4	5.34	0.66	52.4
12	12.30 Lanau	1.2	9.81	240.5	120.5	0.740	0.117	57	0.906	0.8	1.05	1	1	43.4		0.00	0.99	42.9
12.3	13.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	261.5	131.5	0.725	0.115	65	0.866	0.8	1.05	1	1	47.3	11.2	1.28	0.95	105.6
13	14.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	282.5	142.5	0.710	0.112	63	0.829	0.8	1.05	1	1	43.9		0.00	0.99	43.4
14	15.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	303.5	153.5	0.695	0.109	61	0.796	0.8	1.05	1	1	40.8		0.00	0.99	40.4
15	16.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	303.5	153.5	0.695	0.109	61	0.796	0.8	1.05	1	1	40.8		0.00	0.99	40.4
16	17.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	303.5	153.5	0.695	0.109	61	0.796	0.8	1.05	1	1	40.8		0.00	0.99	40.4
17	17.30 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	324.5	164.5	0.680	0.107	60	0.765	0.8	1.05	1	1	38.5	23.0	4.05	0.88	190.1
17.3	18.00 Lanau	1.2	9.81	343.8	173.8	0.665	0.105	35	0.740	0.8	1.05	1	1	21.8		0.00	0.99	21.5
18	19.00 Kerikil Pasiran	1.2	9.81	364.1	184.1	0.650	0.102	57	0.715	0.8	1.05	1	1	34.2		0.00	0.99	33.9
19	20.00 Pasir	1.2	9.81	383.9	193.9	0.635	0.100	34	0.693	0.8	1.05	1	1	19.8	65.3	5.56	0.46	119.1
20	21.00 Pasir	1.2	9.81	403.4	203.4	0.620	0.098	59	0.672	0.8	1.05	1	1	33.3		0.00	0.99	33.0
21	22.00 Pasir	1.2	9.81	403.4	203.4	0.620	0.098	59	0.672	0.8	1.05	1	1	33.3		0.00	0.99	33.0
22	23.00 Pasir	1.2	9.81	442.4	222.4	0.590	0.093	58	0.634	0.8	1.05	1	1	30.9		0.00	0.99	30.6
23	23.20 Pasir	1.2	9.81	442.4	222.4	0.590	0.093	58	0.634	0.8	1.05	1	1	30.9		0.00	0.99	30.6
23.2	24.00 Pasir	1.2	9.81	461.9	231.9	0.575	0.091	59	0.617	0.8	1.05	1	1	30.6		0.00	0.99	30.3
24	25.00 Pasir	1.2	9.81	481.4	241.4	0.560	0.089	66	0.601	0.8	1.05	1	1	33.3		0.00	0.99	33.0
25	26.00 Pasir	1.2	9.81	500.9	250.9	0.545	0.086	63	0.585	0.8	1.05	1	1	31.0		0.00	0.99	30.7
26	27.00 Pasir	1.2	9.81	520.4	260.4	0.530	0.084	66	0.571	0.8	1.05	1	1	31.6	20.1	3.64	0.90	143.6
27	28.00 Pasir	1.2	9.81	539.9	269.9	0.515	0.082	66	0.557	0.8	1.05	1	1	30.9		0.00	0.99	30.6
28	29.00 Pasir	1.2	9.81	559.4	279.4	0.500	0.080	63	0.543	0.8	1.05	1	1	28.8		0.00	0.99	28.5
29	30.00 Pasir	1.2	9.81	578.9	288.9	0.485	0.077	64	0.531	0.8	1.05	1	1	28.5		0.00	0.99	28.2

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5Mw)	FK
0.093	1.0346	0.097	#DIV/0!
0.253	1.0346	0.261	2.3
0.164	1.0346	0.169	1.3
0.110	1.0346	0.114	0.8
0.061	1.0346	0.063	0.5
0.494	1.0346	0.512	3.8
0.073	1.0346	0.076	0.6
0.149	1.0346	0.154	1.2
0.485	1.0346	0.502	3.9
0.485	1.0346	0.502	3.9
0.764	1.0346	0.791	6.4
0.764	1.0346	0.791	6.4
0.764	1.0346	0.791	6.4
0.764	1.0346	0.791	6.4
0.176	1.0346	0.182	1.5
0.102	1.0346	0.106	0.9
0.210	1.0346	0.217	1.8
0.270	1.0346	0.279	2.4
0.219	1.0346	0.227	2.0
0.149	1.0346	0.155	1.4
0.149	1.0346	0.155	1.4
0.149	1.0346	0.155	1.4
0.060	1.0346	0.062	0.6
0.239	1.0346	0.247	2.4
4.493	1.0346	4.649	45.5
0.213	1.0346	0.220	2.2
1.684	1.0346	1.742	17.8
1.684	1.0346	1.742	17.8
0.548	1.0346	0.567	6.1
0.548	1.0346	0.567	6.1
0.515	1.0346	0.533	5.9
1.701	1.0346	1.760	19.8
0.556	1.0346	0.575	6.7
0.654	1.0346	0.676	8.0
0.543	1.0346	0.562	6.9
0.399	1.0346	0.413	5.2
0.390	1.0346	0.403	5.2

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR / CRR_{7,5 Mw}) * MSF$
2. $CSR = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) * rd$
3. $CRR_{7,5} = (1 / (34 - (N1)_{60cs}) + (N1)_{60cs}) / 135 + 50 / (10 * (N1)_{60cs} + 45) - 1 / 200$
4. $(N1)_{60cs} = \alpha + \beta (N1)_{60}$
5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha}$

$CRR_{7.4 Mw} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha}$

Titik Pengeboran Daerah Petobo P-05

Tabel Perhitungan Nilai CSR, CRR (7,5 Mw) dan FK

Kedalaman	Litologi	No.	a max	g m/s ²	σ_v	σ_v'	rd	CSR	Nm	CN	CE	CB	CR	CS	(N1)60	FC (%)	α	β
0	1 Lanau	1	1.2	9.81	0	0	-	0	17	1.833	0.8	1.05	1	1	26.2	0	0	1.00
1	1.40 Lanau	1	1.2	9.81	0	0	-	0	17	1.833	0.8	1.05	1	1	26.2	0	0	1.00
1.4	2.00 Pasir	2	1.2	9.81	28.7	28.7	0.905	0.072	21	1.474	0.8	1.05	1	1	26.0	39.7	5.15	0.74
2	3.00 Lanau	3	1.2	9.81	44.6	44.6	0.890	0.071	21	1.329	0.8	1.05	1	1	23.5	70.3	5.59	0.40
3	4.00 Lanau	4	1.2	9.81	60.1	60.1	0.875	0.070	19	1.214	0.8	1.05	1	1	19.4	80.2	5.64	0.27
4	4.50 Pasir	5	1.2	9.81	76.6	76.6	0.860	0.068	20	1.110	0.8	1.05	1	1	18.7	70.5	5.59	0.40
4.5	5.00 Lanau	6	1.2	9.81	93.7	91.6	0.845	0.069	54	1.031	0.8	1.05	1	1	46.8	28.1	4.57	0.84
5	6.00 Lanau	6	1.2	9.81	93.7	91.6	0.845	0.069	54	1.031	0.8	1.05	1	1	46.8	28.1	4.57	0.84
6	7.00 Pasir	7	1.2	9.81	111.2	99.1	0.830	0.074	31	0.995	0.8	1.05	1	1	25.9	39.2	5.14	0.74
7	8.00 Pasir	8	1.2	9.81	128.7	106.6	0.815	0.078	58	0.962	0.8	1.05	1	1	46.9	28.6	4.61	0.84
8	9.00 Pasir	9	1.2	9.81	146.2	114.1	0.800	0.081	58	0.931	0.8	1.05	1	1	45.3	25.9	4.38	0.86
9	10.00 Pasir	10	1.2	9.81	163.7	121.6	0.785	0.084	19	0.902	0.8	1.05	1	1	14.4		0.00	0.99
10	11.00 Pasir	11	1.2	9.81	181.2	129.1	0.770	0.086	20	0.874	0.8	1.05	1	1	14.7	30.8	4.75	0.82
11	12.00 Pasir	12	1.2	9.81	198.7	136.6	0.755	0.087	63	0.848	0.8	1.05	1	1	44.9		0.00	0.99
12	13.00 Pasir	13	1.2	9.81	216.2	144.1	0.740	0.088	44	0.824	0.8	1.05	1	1	30.5		0.00	0.99
13	14.50 Lanau	14	1.2	9.81	233.7	151.6	0.725	0.089	18	0.801	0.8	1.05	1	1	12.1	78.5	5.64	0.29
14.5	15.00 Pasir	15	1.2	9.81	251.8	159.7	0.710	0.089	63	0.778	0.8	1.05	1	1	41.2		0.00	0.99
15	16.00 Pasir	16	1.2	9.81	271.3	169.2	0.695	0.089	57	0.752	0.8	1.05	1	1	36.0		0.00	0.99
16	17.00 Pasir	17	1.2	9.81	290.8	178.7	0.680	0.088	43	0.728	0.8	1.05	1	1	26.3	30.6	4.75	0.82
17	18.00 Pasir	18	1.2	9.81	310.3	188.2	0.665	0.087	59	0.705	0.8	1.05	1	1	35.0		0.00	0.99
18	19.00 Pasir	19	1.2	9.81	329.8	197.7	0.650	0.086	58	0.684	0.8	1.05	1	1	33.3		0.00	0.99
19	20.30 Pasir	20	1.2	9.81	349.3	207.2	0.635	0.085	70	0.664	0.8	1.05	1	1	39.0	16.0	2.78	0.93
20	21.00 Lanau	21	1.2	9.81	367.8	215.7	0.620	0.084	32	0.647	0.8	1.05	1	1	17.4		0.00	0.99
21	22.00 Lanau	22	1.2	9.81	385.3	223.2	0.605	0.083	84	0.633	0.8	1.05	1	1	44.7		0.00	0.99
22	23.00 Pasir	23	1.2	9.81	404.4	232.3	0.590	0.082	69	0.616	0.8	1.05	1	1	35.7		0.00	0.99
23	24.00 Kerikil Pasiran	24	1.2	9.81	423.9	241.8	0.575	0.080	72	0.600	0.8	1.05	1	1	36.3		0.00	0.99
24	25.00 Kerikil Pasiran	25	1.2	9.81	444.6	252.5	0.560	0.078	79	0.583	0.8	1.05	1	1	38.7	13.5	2.05	0.94
25	26.00 Kerikil Pasiran	26	1.2	9.81	465.6	263.5	0.545	0.077	77	0.566	0.8	1.05	1	1	36.6		0.00	0.99
26	27.00 Kerikil Pasiran	27	1.2	9.81	486.6	274.5	0.530	0.075	90	0.550	0.8	1.05	1	1	41.6		0.00	0.99
27	28.00 Kerikil Pasiran	28	1.2	9.81	507.6	285.5	0.515	0.073	87	0.535	0.8	1.05	1	1	39.1		0.00	0.99
28	29.00 Kerikil Pasiran	29	1.2	9.81	528.6	296.5	0.500	0.071	67	0.521	0.8	1.05	1	1	29.3		0.00	0.99
29	30.00 Kerikil Pasiran	30	1.2	9.81	549.6	307.5	0.485	0.069	73	0.507	0.8	1.05	1	1	31.1		0.00	0.99

Sumber : Pengeboran Proyek Tim JICA, 2018

(N1)60cs	CRR (7,5 Mw)	MSF	CRR (7,5 Mw)	FK
26.2	0.317	1.0346	0.328	0
26.2	0.317	1.0346	0.328	0
153.2	0.313	1.0346	0.324	4.5
140.6	0.264	1.0346	0.273	3.9
114.6	0.208	1.0346	0.215	3.1
111.8	0.199	1.0346	0.206	3.0
253.0	0.263	1.0346	0.272	4.0
253.0	0.263	1.0346	0.272	4.0
152.4	0.311	1.0346	0.322	4.3
255.3	0.265	1.0346	0.274	3.5
237.4	0.243	1.0346	0.251	3.1
14.2	0.154	1.0346	0.159	1.9
81.9	0.157	1.0346	0.162	1.9
44.5	0.236	1.0346	0.244	2.8
30.2	0.504	1.0346	0.521	5.9
71.8	0.132	1.0346	0.137	1.5
40.7	0.160	1.0346	0.166	1.9
35.6	0.760	1.0346	0.786	8.9
146.4	0.320	1.0346	0.331	3.8
34.6	1.300	1.0346	1.345	15.4
33.0	1.731	1.0346	1.791	20.8
144.5	0.086	1.0346	0.089	1.1
17.2	0.185	1.0346	0.192	2.3
44.2	0.232	1.0346	0.240	2.9
35.4	0.838	1.0346	0.867	10.6
35.9	0.699	1.0346	0.724	9.0
115.7	0.496	1.0346	0.513	6.5
36.2	0.650	1.0346	0.672	8.8
41.2	0.172	1.0346	0.177	2.4
38.7	0.089	1.0346	0.092	1.3
29.0	0.426	1.0346	0.441	6.2
30.8	0.573	1.0346	0.592	8.6

Rumus Perhitungan Faktor Keamanan

1. $FK = (CSR / CRR_{7,5 Mw}) * MSF$

2. $CSR = 0,65 (a_{max}/g) * (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') * rd$

3. $CRR_{7,5} = (1 / (34 - (N1)_{60cs}) + (N1)_{60cs}) / 135 + 50 / (10 * (N1)_{60cs} + 45) - 1 / 200$

4. $N1 (60)_{cs} = \alpha + \beta (N1)_{60}$

5. $(N1)_{60} = N_M * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$

Rumus Perhitungan Koreksi Gempa

$CRR_{MW} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha}$

$CRR_{7.4 Mw} = CRR_{7.5} * MSF * K_{\sigma} * K_{\alpha}$

LAMPIRAN 3

DATA HASIL UJI LABORATORIUM

PT. INDRA KARYA

DAERAH BALAROA

SUMMARY OF SOIL TEST														
PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 1	B - 1	B - 1	B - 1	B - 1	B - 1	B - 1	B - 1	
DEPTH (m)						1.50 - 2.0	2.50 - 3.00	3.50 - 4.00	4.50 - 5.00	5.50 - 6.00	6.50 - 7.00	7.50 - 8.00	8.50 - 9.00	11.50 - 12.00
PROPERTIES	Natural Water Content (%)				7,24	9,58	16,56	12,03	17,09	15,07	8,82	10,52	15,20	
	Specific gravity of soil G_s				2,707	2,710	2,692	2,689	2,698	2,749	2,715	2,757	2,674	
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part (%)				15,46	4,14	6,61	7,07	8,99	5,39	57,40	3,74	7,30
		Sand part (%)				56,09	59,77	60,60	68,50	64,76	67,47	30,10	74,28	72,19
		Silt part (%)				24,88	29,29	23,40	16,00	21,16	19,31	9,27	17,44	14,00
		Clay part (%)				3,57	6,80	9,39	8,44	5,09	7,83	3,22	4,53	6,51
CONSISTENCY	Liquid limit LL (%)													
	Plastic limit PL (%)													
	Plasticity index PI (%)				NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS
	Flow index													
	Unified Classification													

SUMMARY OF SOIL TEST

SUMMARY OF SOIL TEST														
PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 1	B - 1	B - 1	B - 1					
DEPTH (m)						15.50 - 16.00	18.50 - 19.00	22.50 - 23.00	27.50 - 28.00					
PROPERTIES	Natural Water Content (%)				20,95	8,72	10,10	11,98						
	Specific gravity of soil G_s				2,697	2,691	2,712	2,703						
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part (%)				4,65	1,17	18,45	15,48					
		Sand part (%)				72,47	73,90	67,88	70,47					
		Silt part (%)				16,56	15,86	10,49	10,77					
		Clay part (%)				6,31	9,08	3,18	3,28					
CONSISTENCY	Liquid limit LL (%)													
	Plastic limit PL (%)													
	Plasticity index PI (%)				NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS						
	Flow index													
	Unified Classification													

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE											
LOCATION		BALAROA											
SAMPLE No						B - 2	B - 2						
DEPTH (m)						21.50 - 22.00	27.50 - 28.00						
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				14,31	12,18						
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,702	2,718						
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			14,32	12,98						
		Sand part	(%)			59,25	63,10						
		Silt part	(%)			24,17	21,48						
		Clay part	(%)			2,26	2,44						
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)											
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)											
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)			NON PLASTIS	NON PLASTIS							
	Flow index												
Unified Classification													

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 2	B - 2	B - 2	B - 2	B - 2	B - 2	B - 2	B - 2	
DEPTH (m)						3.50 - 4.00	6.50 - 7.00	7.50 - 8.00	8.50 - 9.00	9.50 - 10.00	10.50 - 11.00	12.50 13.00	15.50 16.00	18.50 - 19.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				16,60	14,54	16,34	15,43	16,20	16,88	9,35	14,59	17,20
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,708	2,701	2,697	2,720	2,725	2,718	2,715	2,734	2,695
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	17,98	15,30	18,56	18,69	11,65	13,23	22,14	24,34
		Sand part	(%)			61,39	52,10	67,39	53,14	54,21	45,52	61,59	34,69	61,69
		Silt part	(%)			32,46	23,01	15,62	21,44	20,51	32,41	23,19	28,27	11,09
		Clay part	(%)			6,16	6,90	1,69	6,87	6,59	10,42	1,99	14,89	2,88
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)											23,15	
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)											18,18	
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)			NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	4,97	NON PLASTIS
	Flow index												13,13	
Unified Classification													CL - ML	

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 3	B - 3	B - 3	B - 3	B - 3	B - 3	B - 3	B - 3	
DEPTH (m)						0.50 - 1.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	8.50 - 9.00	9.50 - 10.00	11.50 - 12.00	13.50 - 14.00	14.50 - 15.00	24.50 - 25.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				32,36	12,24	8,25	7,86	9,46	8,64	16,20	15,93	13,96
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,567	2,674	2,694	2,737	2,714	2,701	2,705	2,700	2,696
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	14,02	31,10	39,15	33,54	23,30	11,69	11,88	11,68
		Sand part	(%)			42,44	63,27	47,69	39,55	49,12	49,72	61,37	54,05	49,02
		Silt part	(%)			20,41	15,52	14,16	16,71	14,27	20,54	19,22	22,00	25,26
		Clay part	(%)			37,15	7,19	7,05	4,60	3,07	6,44	7,72	12,07	14,04
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				42,54								
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				22,80								
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				19,73	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS
	Flow index					14,25								
	Unified Classification					CL								

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 3								
DEPTH (m)						25.50 - 26.00								
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				32,36								
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,695								
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			3,60								
		Sand part	(%)			38,50								
		Silt part	(%)			32,86								
		Clay part	(%)			25,05								
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				25,43								
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				18,71								
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				6,72								
	Flow index					12,51								
	Unified Classification					CL - ML								

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE											
LOCATION		BALAROA											
SAMPLE No						B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4		
DEPTH (m)						12.50 - 13.00	14.50 - 15.00	18.50 - 19.00	22.50 - 23.00	27.50 - 28.00	29.50 - 30.00		
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				12,28	8,58	0,69	0,67	9,32	5,75		
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,716	2,745	2,756	2,759	2,719	2,720		
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			13,95	20,37	20,89	27,66	26,37	24,26		
		Sand part	(%)			62,43	61,79	68,12	39,66	56,75	55,90		
		Silt part	(%)			19,12	13,92	7,98	19,02	14,16	15,65		
		Clay part	(%)			4,51	3,91	3,01	13,65	2,73	4,19		
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)											
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)											
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS		
	Flow index												
	Unified Classification												

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		BALAROA												
SAMPLE No						B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4	B - 4
DEPTH (m)						0.50 - 1.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.00	4.50 - 5.00	5.50 - 6.00	6.50 - 7.00	8.50 - 9.00	10.50 - 11.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				21,72	21,28	23,06	50,94	51,29	27,91	26,65	14,15	9,87
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,685	2,696	2,719	2,634	2,619	2,714	2,718	2,762	2,715
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,00	14,74
		Sand part	(%)			36,84	49,14	69,25	33,10	41,49	51,23	51,71	61,88	70,57
		Silt part	(%)			50,00	40,99	26,32	47,27	37,90	38,65	39,24	16,79	10,38
		Clay part	(%)			13,16	9,86	4,43	19,63	20,62	10,12	9,05	8,33	4,31
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)							44,54	42,32	29,02	26,83		
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)							24,31	23,61	21,93	19,89		
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	20,23	18,71	7,09	6,94	NON PLASTIS	NON PLASTIS
	Flow index								14,26	14,16	12,16	12,58		
	Unified Classification								CL	CL	SC	SC - SM		

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE																	
LOCATION		BALAROA																	
SAMPLE No		B - 5			B - 5			B - 5			B - 5								
DEPTH (m)		9.50 - 10.00			11.50 - 12.00			15.50 - 16.00			19.50 - 20.00			23.50 - 24.00			27.50 - 28.00		
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)	17,52	13,23	16,67	36,96	19,24	27,43											
	Specific gravity of soil	G _s	2,691	2,711	2,732	2,701	2,706	2,689											
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00										
		Sand part	(%)	10,05	16,06	61,06	10,11	11,14	9,85										
		Silt part	(%)	40,47	42,08	27,73	30,00	41,34	40,84										
		Clay part	(%)	49,48	40,73	11,21	59,89	47,52	49,30										
CONSISTENCY	Liquid limit	LL (%)	45,07	46,44	Non Plastic	51,27	46,58	47,05											
	Plastic limit	PL (%)	22,45	22,99		27,93	23,09	23,61											
	Plasticity index	PI (%)	22,62	23,45		23,34	23,49	23,43											
	Flow index		14,52	14,64		15,15	14,51	14,71											
	Unified Classification		CL	CL		CH	CL	CL											

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE																										
LOCATION		BALAROA																										
SAMPLE No		B - 5			B - 5			B - 5			B - 5			B - 5														
DEPTH (m)		0.50 - 1.00			1.50 - 2.00			2.50 - 3.00			3.50 - 4.00			4.50 - 5.00			5.50 - 6.00			6.50 - 7.00			7.50 - 8.00			8.50 - 9.00		
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)	30,01	32,04	19,19	30,31	30,62	24,49	26,93	23,97	16,72																	
	Specific gravity of soil	G _s	2,616	2,618	2,721	2,698	2,621	2,623	2,626	2,672	2,729																	
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00																
		Sand part	(%)	13,67	14,56	68,92	30,61	13,74	13,61	14,80	31,35	45,73																
		Silt part	(%)	39,66	41,01	18,04	33,78	40,50	42,75	41,96	31,53	29,64																
		Clay part	(%)	46,67	44,42	13,05	35,61	45,75	43,64	42,19	37,12	24,63																
CONSISTENCY	Liquid limit	LL (%)	46,95	44,90	NON PLASTIS	32,57	44,40	46,49	44,53	32,23																		
	Plastic limit	PL (%)	23,46	22,08		20,42	20,28	22,86	22,44	20,05																		
	Plasticity index	PI (%)	23,49	22,83		12,14	24,12	23,63	22,09	12,18																		
	Flow index		14,64	14,24		13,16	14,48	14,53	14,34	13,11																		
	Unified Classification		CL	CL		CL	CL	CL	CL	CL	CL																	

LAMPIRAN 4

DATA HASIL UJI LABORATORIUM

PT. INDRA KARYA

DAERAH PETOBO

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	
DEPTH (m)						0.50 - 1.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.00	4.50 - 5.00	5.50 - 6.00	6.50 - 7.00	10.50 - 11.00	11.50 - 12.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				10,21	1,54	1,53	5,89	11,25	3,42	7,38	3,03	4,55
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,622	2,712	2,684	2,682	2,629	2,704	2,701	2,691	2,688
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			32,70	43,59	13,59	7,11	19,57	17,64	16,90	0,00	0,00
		Sand part	(%)			28,24	45,33	65,29	73,46	53,08	59,07	61,17	51,30	52,61
		Silt part	(%)			23,70	9,33	15,22	13,16	15,85	16,37	13,16	39,36	38,49
		Clay part	(%)			15,37	1,76	5,90	6,28	11,51	6,92	8,77	9,34	8,90
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				38,17				34,75			27,72	25,66
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				22,44				21,39			21,38	20,70
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				15,72	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	13,35	NON PLASTIS	NON PLASTIS	6,33	4,96
	Flow index					13,37				11,61			12,52	14,35
	Unified Classification					GM				SC			SC - SM	SC - SM

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1	LP - 1		
DEPTH (m)						13.50 - 14.00	16.50 - 17.00	18.50 - 19.00	21.50 - 22.00	26.50 - 27.00	29.50 - 30.00	33.50 - 34.00		
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				1,63	11,09	9,42	9,16	16,30	11,63	7,96		
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,678	2,685	2,689	2,697	2,677	2,741	2,682		
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			9,70	6,32	0,00	13,49	0,00	7,12	7,83		
		Sand part	(%)			54,63	62,25	74,29	65,11	52,03	72,41	60,85		
		Silt part	(%)			25,69	23,84	14,67	14,75	37,13	17,14	23,08		
		Clay part	(%)			9,98	7,59	11,03	6,65	10,85	3,33	8,24		
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				21,91								
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				16,25								
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				5,66	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS		
	Flow index					12,10								
	Unified Classification					SC - SM								

Lampiran Hasil Uji Laboratorium Daerah Petobo

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2		
DEPTH (m)						9.50 - 10.00	10.50 - 11.00	11.50 - 12.00	15.50 - 16.00	20.50 - 21.00	26.50 - 27.00	30.50 - 31.00		
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				20,26	21,19	17,92	14,57	16,60	17,88	10,83		
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,686	2,678	2,665	2,674	2,672	2,658	2,653		
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Sand part	(%)			23,72	72,05	66,41	69,42	73,09	68,60	58,85		
		Silt part	(%)			42,48	21,01	23,89	18,43	17,81	19,11	31,18		
		Clay part	(%)			33,80	6,93	9,70	12,15	9,10	12,28	9,97		
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i>	(%)			34,89								
	Plastic limit	<i>PL</i>	(%)			21,45								
	Plasticity index	<i>PI</i>	(%)			13,44	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS	NON PLASTIS		
	Flow index					13,49								
	Unified Classification					CL								

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2	LP - 2
DEPTH (m)						0.50 - 1.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.00	4.50 - 5.00	5.50 - 6.00	6.50 - 7.00	7.50 - 8.00	8.50 - 9.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				18,10	32,24	18,57	17,72	27,62	15,83	26,02	19,66	21,45
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,676	2,654	2,670	2,674	2,680	2,670	2,669	2,668	2,673
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	15,99	6,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Sand part	(%)			25,45	30,22	40,17	56,14	21,87	41,84	29,39	20,49	18,46
		Silt part	(%)			41,94	27,70	23,46	38,33	38,51	31,95	42,93	53,15	56,58
		Clay part	(%)			32,62	26,09	29,86	5,52	39,62	26,22	27,68	26,36	24,96
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i>	(%)			34,47	28,72	32,66	24,07	41,05	32,45	30,34	28,45	26,58
	Plastic limit	<i>PL</i>	(%)			21,38	19,97	21,31	17,06	25,42	20,71	20,12	19,40	18,69
	Plasticity index	<i>PI</i>	(%)			13,09	8,75	11,34	7,00	15,63	11,74	10,22	9,05	7,89
	Flow index					13,65	11,93	13,35	12,42	14,22	13,54	13,03	12,70	12,45
	Unified Classification					CL	CL	CL	SC	CL	CL	CL	CL	CL

Lampiran Hasil Uji Laboratorium Daerah Petobo

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	
DEPTH (m)						0.50 - 1.00	1.50 - 2.00	2.50 - 3.00	3.50 - 4.00	4.50 - 5.00	5.50 - 6.00	7.50 - 8.00	9.50 - 10.00	11.50 - 12.00
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				26,89	40,54	36,98	32,85	29,68	26,79	21,07	5,11	3,92
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,674	2,672	2,680	2,677	2,675	2,679	2,675	2,648	2,647
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Sand part	(%)			3,49	27,51	11,28	19,26	19,76	17,07	19,80	94,32	92,14
		Silt part	(%)			43,33	58,79	68,97	58,56	50,57	55,05	68,80	4,40	5,57
		Clay part	(%)			53,18	13,70	19,75	22,18	29,67	27,89	11,40	1,27	2,30
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				58,23	34,45	35,17	42,51	40,16	38,15	31,98		
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				25,70	21,59	21,63	20,15	20,01	20,97	20,72		
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				32,53	12,86	13,54	22,37	20,16	17,17	11,26	NON PLASTIS	NON PLASTIS
	Flow index					15,57	13,41	13,54	14,29	14,02	13,52	13,21		
	Unified Classification					CH	CL	CL	CL	CL	CL	CL		

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE												
LOCATION		PETOBO												
SAMPLE No						LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3	LP - 3			
DEPTH (m)						14.50 - 15.00	17.50 - 18.00	20.50 - 21.00	23.50 - 24.00	26.50 - 27.00	29.50 - 30.00			
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)				22,10	30,74	21,49	20,55	25,22	23,29			
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>				2,672	2,683	2,674	2,669	2,677	2,671			
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		Sand part	(%)			22,03	16,00	22,08	23,45	16,35	30,77			
		Silt part	(%)			64,71	55,92	59,69	60,61	59,47	57,88			
		Clay part	(%)			13,26	28,08	18,23	15,94	24,18	11,35			
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)				33,77	38,14	33,88	33,55	38,35	30,14			
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)				21,98	21,02	22,00	22,01	21,07	19,98			
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)				11,78	17,11	11,87	11,54	17,28	10,15			
	Flow index					13,45	13,80	13,47	13,30	13,78	13,10			
	Unified Classification					CL	CL	CL	CL	CL	CL			

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE										
LOCATION		PETOBO										
SAMPLE No		LP - 4										
DEPTH (m)		0.50 - 1.00 1.50 - 2.00 2.50 - 3.00 3.50 - 4.00 4.50 - 5.00 5.50 - 6.00 6.50 - 7.00 7.50 - 8.00 8.50 - 9.00										
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)	25.26	29.71	27.85	21.46	37.45	21.65	31.09	20.69	20.40	
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>	2.665	2.657	2.653	2.662	2.658	2.659	2.657	2.662	2.692	
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)	0.00	0.00	0.00	29.05	0.00	0.00	0.00	0.00	
		Sand part	(%)	32.00	41.00	42.12	30.69	38.06	65.92	37.84	60.98	39.99
		Silt part	(%)	48.54	45.45	41.35	32.15	49.83	22.69	47.32	25.38	28.63
		Clay part	(%)	19.46	13.55	16.53	8.10	12.11	11.39	14.84	13.64	31.38
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)	32.03	31.49	31.63	31.31	30.68	22.99	30.60	23.50	62.03	
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)	18.93	18.40	17.92	18.84	18.02	17.77	17.99	16.71	33.02	
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)	13.10	13.09	13.71	12.47	12.66	5.22	12.61	6.79	29.01	
	Flow index		13.22	13.22	13.01	13.26	13.10	12.28	13.13	12.08	16.24	
	Unified Classification		CL	CL	CL	CL	CL	SC - SM	CL	SC - SM	MH	

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE										
LOCATION		PETOBO										
SAMPLE No		LP - 4										
DEPTH (m)		9.50 - 10.00 10.50 - 11.00 11.50 - 12.00 13.50 - 14.00 16.50 - 17.00 19.50 - 20.00 26.50 - 27.00										
PROPERTIES	Natural Water Content	(%)	17.91	17.43	26.54	11.22	11.73	23.77	13.11			
	Specific gravity of soil	<i>G_s</i>	2.660	2.651	2.660	2.649	2.662	2.696	2.651			
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part	(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	4.62	0.00	0.00		
		Sand part	(%)	62.57	76.61	52.64	88.79	72.41	34.68	79.87		
		Silt part	(%)	24.59	20.87	30.95	8.36	18.82	49.89	15.57		
		Clay part	(%)	12.84	2.52	16.41	2.85	4.15	15.43	4.56		
CONSISTENCY	Liquid limit	<i>LL</i> (%)	22.66		22.96			28.62				
	Plastic limit	<i>PL</i> (%)	18.15		17.83			18.73				
	Plasticity index	<i>PI</i> (%)	4.51	NON PLASTIS	5.13	NON PLASTIS	NON PLASTIS	9.89	NON PLASTIS			
	Flow index		12.28		12.36			12.80				
	Unified Classification		SC - SM		SC - SM			CL				

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE																		
LOCATION		PETOBO																		
SAMPLE No		LP - 5		LP - 5		LP - 5		LP - 5		LP - 5		LP - 5								
DEPTH (m)		1.50 - 2.00		2.50 - 3.00		3.50 - 4.00		4.50 - 5.00		5.50 - 6.00		6.50 - 7.00		7.50 - 8.00		8.50 - 9.00		10.50 - 11.00		
PROPERTIES	Natural Water Content (%)	9,13		11,38		22,27		18,55		4,91		13,48		11,60		11,37		25,59		
	Specific gravity of soil G_s	2,665		2,663		2,648		2,642		2,648		2,646		2,642		2,644		2,636		
GRAIN SIZE A	Proportion	Gravel part (%)	7,63		0,00		0,00		0,00		7,78		7,78		10,01		11,69		4,74	
		Sand part (%)	52,69		29,74		19,81		29,55		64,13		53,03		61,34		62,43		64,51	
		Silt part (%)	28,52		51,60		62,39		45,32		24,68		30,70		21,36		16,74		25,68	
		Clay part (%)	11,16		18,66		17,80		25,13		3,42		8,49		7,29		9,14		5,07	
CONSISTENCY	Liquid limit LL (%)	30,17		27,73		29,86		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		
	Plastic limit PL (%)	20,85		20,30		20,67		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		
	Plasticity index PI (%)	9,33		7,43		9,19		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		
	Flow index	13,03		8,50		8,09		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		
	Unified Classification	CL		CL		CL		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS		

SUMMARY OF SOIL TEST

PROJECT		BORING SURVEY FOR BASIC RESPONSE PLAN FOR CENTRAL SULAWESI EARTHQUAKE																		
LOCATION		PETOBO																		
SAMPLE No		LP - 5		LP - 5		LP - 5		LP - 5												
DEPTH (m)		13.50 - 14.00		16.50 - 17.00		19.50 - 20.00		24.50 - 25.00												
PROPERTIES	Natural Water Content (%)	31,65		18,89		9,43		6,88												
	Specific gravity of soil G_s	2,620		2,640		2,652		2,656												
GRAIN SIZE	Proportion	Gravel part (%)	0,00		2,64		18,78		25,33											
		Sand part (%)	21,46		66,75		65,19		61,16											
		Silt part (%)	64,67		21,02		13,09		10,81											
		Clay part (%)	13,87		9,59		2,94		2,70											
CONSISTENCY	Liquid limit LL (%)	32,44		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS												
	Plastic limit PL (%)	22,61		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS												
	Plasticity index PI (%)	9,83		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS												
	Flow index	8,98		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS												
	Unified Classification	CL		NON PLASTIS		NON PLASTIS		NON PLASTIS												

LAMPIRAN 5
FOTO CORE PEMBORAN
DAERAH BALAROA

FOTO CORE B-01



15 - 1



BOTTOM



14 - 0



TOP



Lampiran Foto Core Penaeboran daerah Balaroa

FOTO CORE B-01



30 - 16



BOTTOM



29 - 15



TOP



FOTO CORE B-02

14 - 0



TOP



15 - 1



BOTTOM

Lampiran Foto Core Peneboran daerah Balaroa

FOTO CORE B-02

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM

FOTO CORE B-03

14 - 0



TOP



15 - 1



BOTTOM

Lampiran Foto Core Penaeboran daerah Balaroa

FOTO CORE B-03

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM



Lampiran Foto Core Penaeboran daerah Balaroa

FOTO CORE B-04

14 - 0



TOP



15 - 1



BOTTOM

Lampiran Foto Core Penaebaran daerah Balaroa

FOTO CORE B-04

29 - 15



TOP



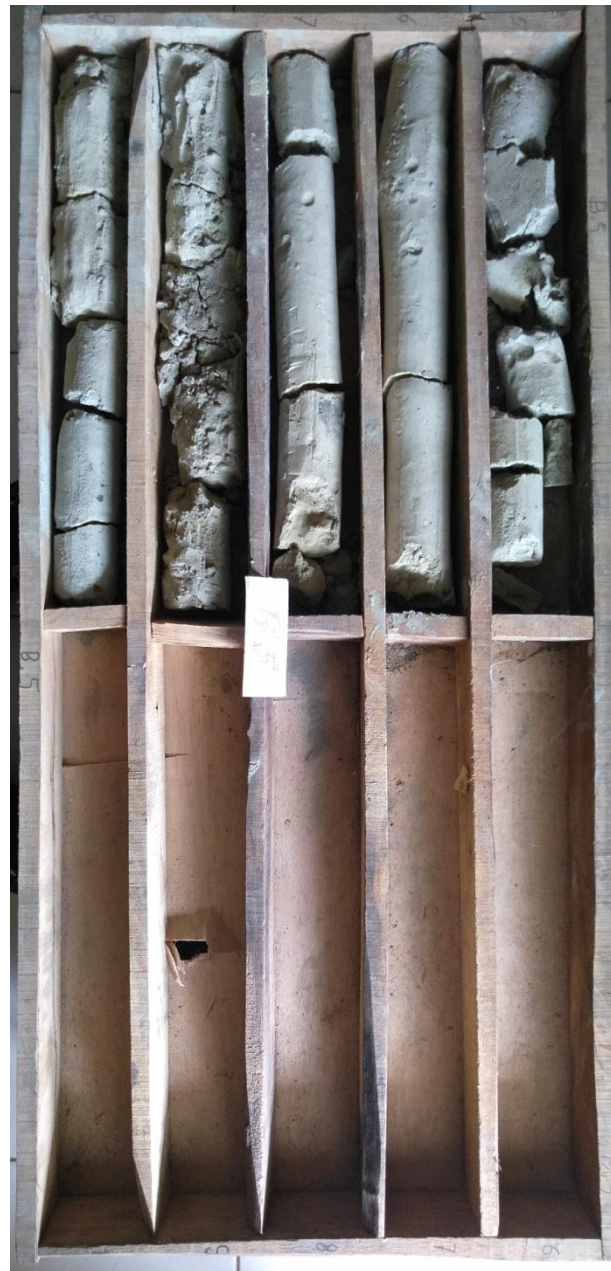
30 - 16



BOTTOM

FOTO CORE B-05

14 - 0



15 - 1



BOTTOM

Lampiran Foto Core Pengeboran daerah Balaroa

FOTO CORE B-05

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM

LAMPIRAN 6
FOTO CORE PEMBORAN
DAERAH PETOBO

FOTO CORE P-01

14 - 0

← TOP



15 - 1

← BOTTOM

Lampiran Foto Core Pengeboran daerah Petobo

FOTO CORE P-01

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM

FOTO CORE P-02

14 - 0



15 - 1

BOTTOM



Lampiran Foto Core Pengeboran daerah Petobo



FOTO CORE P-02

29 - 15



30 - 16



BOTTOM



FOTO CORE P-03



30 - 16



BOTTOM

29 - 15

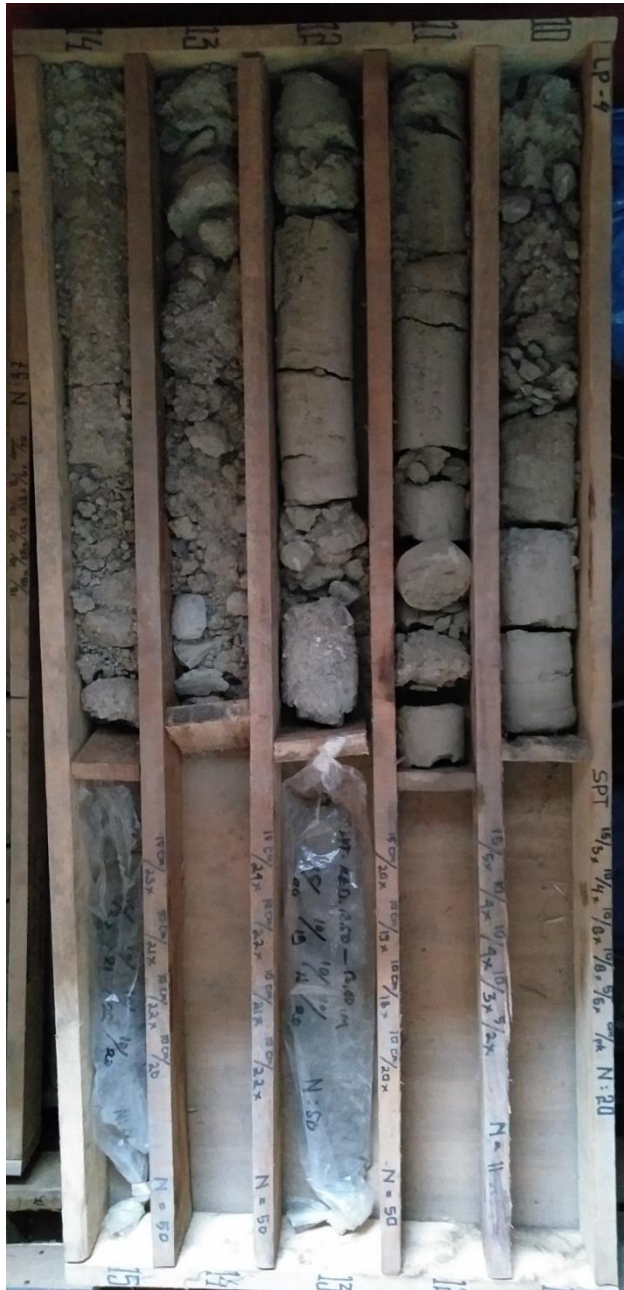


TOP



FOTO CORE P-04

14 - 0



15 - 1



BOTTOM



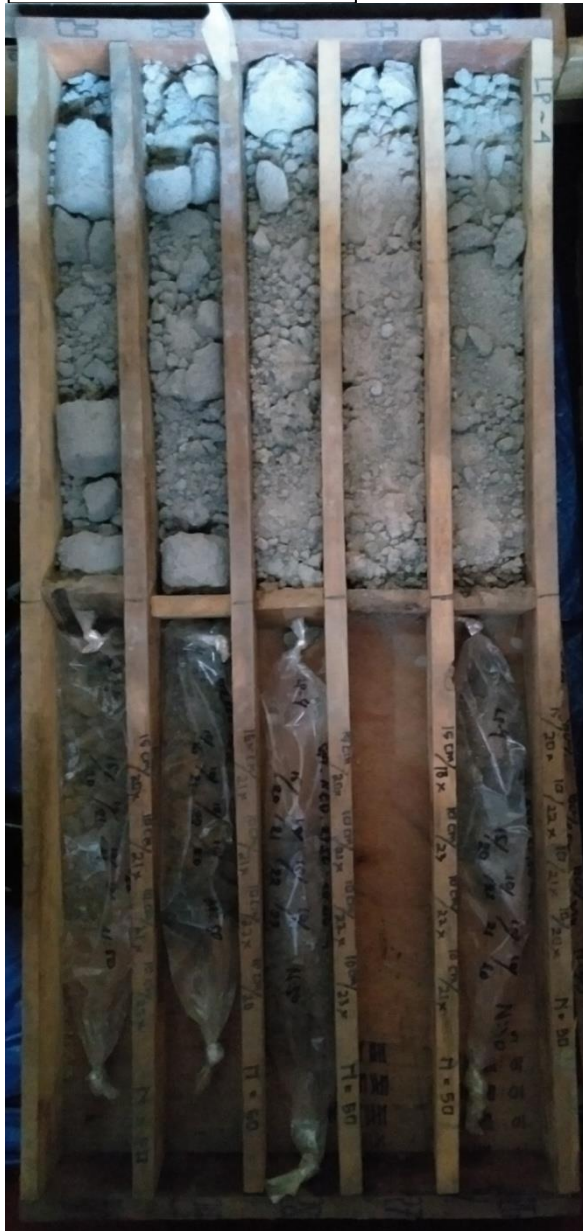
Lampiran Foto Core Pengeboran daerah Petobo

FOTO CORE P-04

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM

FOTO CORE P-05

14 - 0



15 - 1



BOTTOM

Lampiran Foto Core Peneboran daerah Petobo

FOTO CORE P-05

29 - 15



TOP



30 - 16



BOTTOM



LAMPIRAN 7

SURVEI LAPANGAN

DAERAH BALAROA

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaroa



Foto bentang alam daerah Balaroa



Foto bentang alam daerah Balaroa

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaro



Bongkahan batuan Granodiorite



Bongkahan batuan *Slate*

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaro



Foto lithologi Pasir halus



Foto lithologi Pasir & Gravel

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaro



Foto lithologi Clay



Foto Aliran air permukaan di Daerah Balaroa

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaro



Foto tumpukan material likuifaksi & *landslide*



Foto tumpukan material likuifaksi & *landslide*

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Balaro



Foto Lokasi yang mengalami *Subsidance* dampak Likuifkasi



Foto Lokasi yang mengalami *Subsidance* dampak Likuifkasi



LAMPIRAN 8

SURVEI LAPANGAN

DAERAH PETOBO

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Foto bentang alam Daerah Petonbo



Foto bentang alam Daerah Petobo

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Foto Lithologi Silt



Foto Lithologi Pasir & Gravel

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Foto Lithologi Pasir Lepas



Foto Tanggul (Saluran Irigasi) Daerah

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Foto Lokasi yang mengalami *Subsidence* dampak Likuifkasi



Foto Lokasi yang mengalami *Subsidence* dampak Likuifkasi

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Foto Kondisi kedalaman Air Tanah Daerah Petobo



Foto Kondisi kedalaman Air Tanah Daerah Petobo

Lampiran Foto Survei Lapangan Daerah Petobo



Bongkahan batuan Sekis



Bongkahan batuan Granodiorite