

## TUGAS AKHIR

# **ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI BERDASARKAN DATA *INSITU TEST* MENGUNAKAN METODE PROBABILITAS ( *ANALYSIS OF LIQUIFACTION POTENTIAL DUE TO EARTHQUAKE BASED ON INSITU TEST USING PROBABILITY METHOD* )**

**(Studi Kasus Pembangunan *New Yogyakarta Internasional Airport (NYIA)* di  
Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo )**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**AHMAD LATIFUL ANSORI**

**16511254**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2020**

## TUGAS AKHIR

# ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI BERDASARKAN DATA *INSITU TEST* MENGGUNAKAN METODE PROBABILITAS ( *ANALYSIS OF LIQUIFACTION POTENTIAL DUE TO EARTHQUAKE BASED ON INSITU TEST USING PROBABILITY METHOD* )

(Studi Kasus Pembangunan New Yogyakarta Internasional Airport (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo )

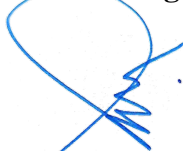
Disusun oleh :

**Ahmad Latiful Ansori**  
**16511254**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

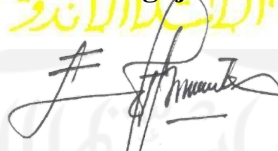
Diuji pada tanggal 27 April 2021  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



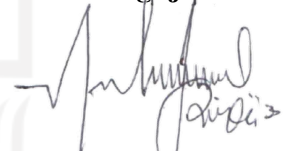
Hanindya Kusuma A, S.T., M.T.  
NIK : 045110407

Penguji I



Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.  
NIK : 855110101

Penguji II



Muhammad Rifqi A, S.T., M.Eng.  
NIK : 135111101

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.  
NIK : 885110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Maret 2021

Yang membuat pernyataan,



**Ahmad Latiful Ansori**

**NIM : 16511254**

## **DEDIKASI**

### *Bismillahirrahmanirrahim*

Dengan menyebut asma Allah tuhan maha agung dengan  
kebesaran rahmatNya

Diri yang lahir dari darah kedua orang tua yang dengan penuh  
kasih sayang mendukung asa walaupun dirundung duka dan  
derita

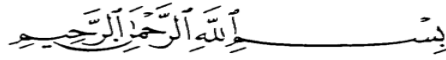
Mengucap syukur Alhamdulillah untuk segala usaha dan apa  
yang hendak kembali di usahakan

Terimakasih banyak, Bapak Ibu untuk proses yang cukup  
panjang ini

Untai kalimat dalam lembaran naskah ini, ku dedikasikan untuk  
kalian sang guru besar yang sudi ikhlas mendermakan toganya

**Rabbighfir li wa li wālidayya warham humā kamā rabbayānī  
shaghīrā.**

## KATA PENGANTAR



*Assalamu 'alaikum Wr. Wb*

*Alhamdulillah* rabbil 'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikut beliau hingga yaumul akhir.

Atas kelancaran selama menyusun tugas akhir ini, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Hanindya Kusuma Artati, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, atas bimbingan dan nasehat serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama menyusun tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Musta'adi dan Ibu Siti Munasaroh, kedua orang tua yang telah bekerja keras dan dengan dukungan, motivasi serta nasehatnya sehingga penulis bisa mengenyam pendidikan tinggi sampai saat ini.
4. Frihtian Norma, S.Pt., yang telah memberikan dukungan semangat dan motivasinya sehingga bisa sampai pada titik ini.
5. Keluarga, Semua pihak dan juga teman-teman Teknik Sipil 2016 yang telah memberikan support hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, dan akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

*Wassalamu 'alaikum Wr. Wb*

Yogyakarta, Maret 2021  
Penulis,

Ahmad Latiful Ansori  
16 511 254

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Umum	4
2.2 Analisis Potensi Likuifaksi	5
2.2.1 Metode Deterministik	5
2.2.2 SPT ( <i>Standar Penetration</i> ) dan CPT ( <i>Cone Penetration Test</i> )	8
2.3.3 Metode Probabilitas	10
2.3 Keaslian Penelitian	11
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	
3.1 Gempa Bumi	15
3.2 Likuifaksi	17
3.3 Kerangka Korelasi Pada Analisis Potensi Likuifaksi	18
3.3.1 Perhitungan Tekanan Siklik yang Diinduksi oleh Gempa Bumi	18
3.3.2 Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Data <i>Insitu Test</i>	23

3.3.3 Koreksi overburden dengan data <i>In situ Test</i>	25
3.3.4 <i>Magnitude Scalling Factor</i> ( MSF )	27
3.3.5 <i>Overburden Correction Factor</i> , $K\sigma$	28
3.4 Analisis dengan Model probabilitas	29
3.4.1 Analisis Probabilitas dengan Metode Haidar dan Tang (1979)	29
3.4.2 Analisis Probabilitas dengan Metode Hwang dkk (2004)	31
3.4.3 Analisis Probabilitas dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)	32
3.4.4 Analisis Probabilitas dengan Metode Juang dkk (2008)	33
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	
4.1 Gambaran Umum Penelitian	34
4.2 Lokasi penelitian	34
4.3 Pengambilan Data Penelitian	35
4.4 Analisis Pengolahan Data	35
4.4.1 Perhitungan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah	36
4.4.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi Metode Determinan	36
4.4.3 Perhitungan Probabilitas Likuifaksi	36
4.4.4 Analisis Hubungan nilai N-SPT dan Magnitudo Gempa Terhadap Probabilitas Likuifaksi	37
4.5 Bagan Alir Penelitian	38
4.6 Skema Prosedur Analisis Metode Determinan	39
4.7 Skema Prosedur Analisis Penentuan Probabilitas Likuifaksi	40
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Analisis Probabilitas	41
5.2 Data Tes Lapangan N-SPT	41
5.3 Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah	44
5.5 Analisis Likuifaksi Metode Determinan	45
5.5.1 Pehitungan Nilai <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR) setiap Lapisan Tanah	45

5.5.2 Perhitungan Nilai <i>Cyclic Resistance Ratio</i> ( CRR ) Setiap Lapisan Tanah	48
5.6 Analisis Likuifaksi Metode Probabilitas	53
5.6.1 Metode Haldar & Tang ( 1979 )	53
5.6.2 Metode Hwang dkk (2004)	59
5.6.3 Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)	60
5.6.4 Metode Juang dkk (2008)	61
5.7 Pembahasan Hasil Analisis	63
5.7.1 <i>Cylic Resistance Ratio</i> dan <i>Cylic Stress Ratio</i>	63
5.7.2 Pengaruh Moment <i>Magnitude Scale</i> ( $M_w$ )	66
5.7.3 Faktor Keamanan dan Besarnya Probabilitas Likuifaksi	72
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan	81
6.2 Saran	82
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	83
<b>LAMPIRAN</b>	87



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian terdahulu dan Penelitian yang akan dilaksanakan tentang Likuifaksi	12
Tabel 3.1	Koefisien Situs	16
Tabel 3.2	Tabel Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$	26
Tabel 3.3	Klasifikasi Probabilitas Likuifaksi	33
Tabel 5.1	Properties Tanah Titik Bor DB-81, DB-79, DB-021, DB-38	44
Tabel 5.2	Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan di Desa Glagah	50
Tabel 5.3	Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan di Desa Palihan	52
Tabel 5.4	Rekapitulasi Hasil Analisis Perhitungan Koefisien Variansi CSR Pada Titik DB-81	55
Tabel 5.5	Rekapitulasi Hasil Analisis Perhitungan Koefisien Variansi CRR dengan $M_{W=7,5}$ Pada Titik DB-81	58
Tabel 5.6	Hasil Perhitungan Probabilitas Likuifaksi dengan Metode Haldar dan Tang (1979) di Titik DB-81	58
Tabel 5.7	Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Hwang dkk (2004) Pada Titik DB-81	58
Tabel 5.8	Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) Pada Titik DB-81	59
Tabel 5.9	Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Metode Juang dkk (2008) di Titik DB-81	60
Tabel 5.10	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Desa Glagah	61 62
Tabel 5.11	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Desa Palihan	63

## DAFTAR GAMBAR

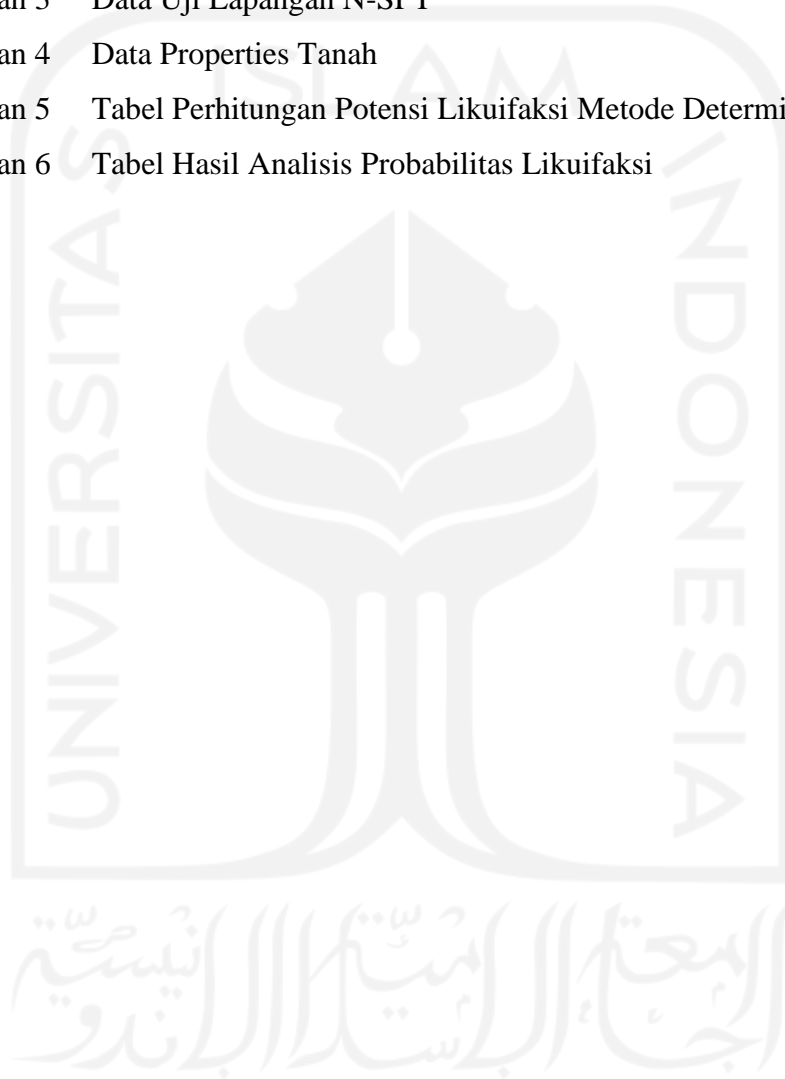
Gambar 2.1	Kondisi Partikel Tanah Sebelum dan Sesudah Terjadi Gempa	5
Gambar 2.2	Batas-Batas Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi	6
Gambar 2.3	Bagan Alir Metode Youd dan Idriss (2001)	7
Gambar 2.4	Bagan Alir Metode Idriss dan Boulanger (2008)	7
Gambar 2.5	Hubungan Percepatan Maksimum Tanah Akibat Gempa Bumi Dengan Jarak Daerah Penelitian	8
Gambar 3.1	Percepatan Permukaan Tanah terpetakan di Wilayah Indonesia	16
Gambar 3.2	Kondisi Tanah Sebelum dan Saat Terjadi Likuifaksi	17
Gambar 3.3	Tekanan Siklik Pada Elemen Tanah Dibawah Permukaan Tanah Ketika Terjadi Guncangan Horizontal	18
Gambar 3.4	Skema Untuk Penentuan Geser Maksimum Dan Koefisien Reduksi Tekanan Geser	19
Gambar 3.5	Variasi Koefisien Reduksi Tekanan $r_d$ Dengan Kedalaman Dan Magnitudo Gempa Bumi	21
Gambar 3.6	Modifikasi kurva CSR terhadap $(N_1)_{60}$	24
Gambar 4.1	Peta Lokasi Pnelitian	35
Gambar 4.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian	38
Gambar 4.3	Skema Prosedur Analisis metode Determinan	39
Gambar 4.4	Skema Prosedur Analisis Probabilitas Likuifaksi	40
Gambar 5.1	Data N-SPT titik DB-81 di Desa Glagah	42
Gambar 5.2	Data N-SPT titik DB-79 di Desa Glagah	43
Gambar 5.3	Data N-SPT titik DB-21 di Desa Palihan	43
Gambar 5.4	Data N-SPT titik DB-38 di Desa Palihan	44
Gambar 5.5	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-81	64
Gambar 5.6	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-79	64
Gambar 5.7	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-34	64

Gambar 5.8	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-33	64
Gambar 5.9	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-13	64
Gambar 5.10	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-15	64
Gambar 5.11	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-21	65
Gambar 5.12	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-22	65
Gambar 5.13	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-38	65
Gambar 5.14	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-44	65
Gambar 5.15	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-47	65
Gambar 5.16	Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-46	65
Gambar 5.17	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-81	66
Gambar 5.18	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-79	66
Gambar 5.19	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-34	67
Gambar 5.20	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-33	67
Gambar 5.21	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-13	68
Gambar 5.22	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-15	68
Gambar 5.23	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-21	69
Gambar 5.24	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-22	69
Gambar 5.25	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-38	69
Gambar 5.26	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-44	69
Gambar 5.27	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-47	70
Gambar 5.28	Potensi Likuifaksi Beberapa Magnitudo di Titik DB-46	70
Gambar 5.29	Potensi Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-81	72
Gambar 5.30	Probabilitas Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-81	72
Gambar 5.31	Potensi Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-79	73
Gambar 5.32	Probabilitas Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-79	73
Gambar 5.33	Potensi Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-34	74
Gambar 5.34	Probabilitas Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-34	74
Gambar 5.35	Potensi Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-33	75
Gambar 5.36	Probabilitas Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-33	75
Gambar 5.37	Potensi Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-13	75
Gambar 5.38	Probabilitas Likuifaksi Pada $M_w = 7,5$ di Titik DB-13	75

Gambar 5.39	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-15	76
Gambar 5.40	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-15	76
Gambar 5.41	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-21	77
Gambar 5.42	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-21	77
Gambar 5.43	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-22	77
Gambar 5.44	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-22	77
Gambar 5.45	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-38	78
Gambar 5.46	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-38	78
Gambar 5.47	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-44	79
Gambar 5.48	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-44	79
Gambar 5.49	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-47	79
Gambar 5.50	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-47	79
Gambar 5.51	Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-46	80
Gambar 5.52	Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-46	80

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017
- Lampiran 2 Peta Titik Lokasi Data Sampel
- Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT
- Lampiran 4 Data Properties Tanah
- Lampiran 5 Tabel Perhitungan Potensi Likuifaksi Metode Determinan
- Lampiran 6 Tabel Hasil Analisis Probabilitas Likuifaksi



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

ASTM	= <i>American Society for Testing and Material</i>
CN	= Faktor normalisasi $N_m$ terhadap tegangan overburden
CSR	= <i>Cyclic Shear Ratio</i>
CRR	= <i>Cyclic Resistance Ratio</i>
$CRR_{\sigma'_{vc}}$	= CRR dari tanah dibawah nilai spesifik dari nilai
$CRR_{\sigma'_{vc}=1}$	= Nilai CRR dari tanah yang sama dengan $\sigma'_{vc} = 1$ atm
FS	= <i>Factor of safety</i>
FC	= <i>Fine Content</i>
$F_{PGA}$	= koefisien situs
$K_{\sigma}$	= <i>overburden correction factor</i>
M	= Momen magnitudo.
PGA	= Peak Ground Acceleration / $a_{max}$
MSF	= Magnitude Scale Factor
NCEER	= National Centre for Earthquake Engineering Research
n	= Eksponen
$N_m$	= Nilai pembacaan SPT
$PGA_M$	= $MCE_G$ percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs
PGA	= percepatan tanah puncak terpetakan
SPT	= <i>Standart Penetration Test</i>
z	= Kedalaman lapisan dalam meter.
$\alpha_{max}$	= Percepatan maksimum disetiap lapisan tanah ( $Kg/cm^2$ )
$\sigma_{vc}$	= Pekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi ( $Kg/cm^2$ )
$\sigma'_{vc}$	= tekanan vertikal efektif lapisan tanah saat konsolidasi ( $Kg/cm^2$ )
$\sigma_v$	= tekanan vertikal total pada kedalaman z.
$\gamma$	= rata – rata berat jenis tanah yang berada di atas kedalaman z.
$(N_1)_{60}$	= Nilai N SPT terkoreksi
$(N_1)_{60cs}$	= $(N_1)_{60}$ penyetaraan nilai clean sand

## ABSTRAK

Terjadinya gempa bumi akan mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan maupun kerusakan pada struktur tanah. Salah satu kerusakan pada struktur tanah adalah likuifaksi. Likuifaksi merupakan suatu proses atau kejadian berubahnya keadaan tanah dari keadaan padat menjadi keadaan cair akibat naiknya tekanan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah akibat beban siklis dinamis. Peristiwa ini akan berpengaruh terhadap struktur di atasnya terlebih jika terjadi pada tanah berpasir yang jenuh. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis besarnya probabilitas likuifaksi berdasarkan data N-SPT, serta menganalisis hubungan antara parameter tanah dan gempa terhadap nilai probabilitas likuifaksi. Pada penelitian ini, penulis mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan *Yogyakarta International Airport* (YIA).

Metode perhitungan analisis potensi likuifaksi diawali dengan menggunakan persamaan-persamaan yang disarankan oleh *National Center For Earthquake Engineering Research* (NCEER) USA yaitu berdasarkan data N-SPT untuk melihat secara deterministik potensi likuifaksi. Kemudian dilanjutkan dengan metode probabilitas yang diusulkan oleh Haldar & Tang (1979) berdasarkan nilai rasio tahanan siklik dari tanah (CRR), nilai rasio tekanan siklik beban gempa (CSR), serta koefisien variansi nilai CRR dan CSR. Selain itu digunakan juga metode probabilitas yang diusulkan oleh Hwang dkk (2004), Sonmez & Gokceoglu (2005), dan Juang dkk (2004) dengan pendekatan empiris berdasarkan angka keamanan (FS).

Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi penelitian merupakan kawasan yang berpotensi likuifaksi dengan tingkat bahaya hampir pasti likuifaksi atau probabilitas diatas 85 % berada pada kedalaman 1,36 m – 12 m. Hubungan parameter tanah terhadap probabilitas adalah penambahan nilai N-SPT berkorelasi dengan meningkatnya nilai CRR. Selanjutnya penambahan nilai CRR menyebabkan penurunan nilai probabilitas. Probabilitas likuifaksi diatas 85% terjadi pada rentang nilai N-SPT 0-20, sedangkan dibawah 85% terjadi pada rentang nilai N-SPT 20-50. Pertambahan nilai magnitudo gempa berkorelasi dengan tingginya nilai probabilitas likuifaksi, pada magnitudo gempa 6,5 SR nilai CRR lebih besar dibandingkan nilai CRR pada skala magnitudo 7,5 SR dan 8,5 SR. Semakin besar nilai CRR maka semakin kecil probabilitas likuifaksi.

**Kata kunci :** Likuifaksi, data N-SPT, Probabilitas, Magnitudo gempa

## **ABSTRACT**

*The occurrence of an earthquake will cause damage to the building structure and damage to the soil structure. One of the damage to the soil structure is liquefaction. Liquefaction is a process or event that changes the state of the soil from a solid state to a liquid state due to increased pore water pressure and decreased effective pressure of the soil layer due to dynamic cyclic load. This event will affect the structure above, especially if it occurs in saturated sandy soils. The purpose of this study is to analyze the probability liquefaction based on N-SPT, and to analyze the relationship between soil and seismic parameters with the probability of liquefaction. In this study, the author took a case study on the Yogyakarta International Airport (YIA) Development Project.*

*The calculation method of liquefaction potential analysis begin by using equations suggested by the National Center for Earthquake Engineering Research (NCEER) USA based on N-SPT data to determine the liquefaction potential deterministically. Then continued with the probability calculation method proposed by Haldar & Tang (1979) based on the value of the cyclic resistance ratio (CRR) of the land, the value of the cyclic stress ratio (CSR) of earthquake loads, as well as the coefficient of variance values CRR and CSR. In addition, the probability calculation method proposed by Hwang et al (2004), Sonmez & Gokceoglu (2005), and Juang et al (2004) with an empirical approach based on factor of safety (FS).*

*The results of the analysis show that the research location is a potential liquefaction area with a level of danger that is almost certain that it will liquefy or a probability of above 85% at a depth of 1,36 m - 12 m. The relationship of soil parameters on the probability is of N-SPT value correlated with the increase in the value of the CRR. Furthermore CRR value causes a decrease in the value of the probability of liquefaction. The probability of liquefaction above 85% occurs in the N-SPT value range of 0-20, while below 85% occurs at the N-SPT value of 20-50. The increase in the value of the earthquake magnitude correlates with the high probability value of liquefaction, at the earthquake magnitude of 6.5 SR, the CRR value is greater than the CRR value on a scale of 7.5 SR and 8.5 SR. The greater the CRR value, the smaller the liquefaction probability.*

**Keywords :** *Liquefaction, N-SPT data, Probability, Earthquake magnitude*



# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Dalam merencanakan pembangunan infrastruktur, tanah merupakan elemen dasar yang harus diperhatikan sebelum elemen lainnya. Pada suatu konstruksi bangunan sipil tanah berfungsi untuk menerima dan menahan beban dari struktur yang berada di atasnya. Untuk dapat memikul beban tanah harus memiliki daya dukung yang baik. Perlu adanya penyelidikan tanah pada perencanaan suatu konstruksi, hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan tanah terutama sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung tanah sehingga tanah dapat menahan beban konstruksi yang berada di atasnya.

Salah satu peristiwa alam yang dapat berpotensi menyebabkan menurunnya daya dukung tanah ialah gempa bumi. Gempa bumi dapat mengakibatkan proses non tektonik dipermukaan, salah satu efek yang terjadi ialah fenomena pencairan tanah akibat beban gempa atau yang dikenal dengan istilah likuifaksi. Likuifaksi merupakan peristiwa hilangnya kekuatan geser efektif pada tanah karena meningkatnya tegangan air pori sebagai akibat terjadinya beban gempa yang sangat cepat dan dalam waktu sesaat (Idriss dan Boulanger, 2008).

Peristiwa likuifaksi pada umumnya terjadi pada konsistensi tanah granular jenuh yang lepas sampai sedang dengan sifat drainase dalam tanah. Ketika kuat geser tanah menghilang maka tanah akan berperilaku cair (*liquid*), sehingga mengakibatkan daya dukung tanah menghilang yang berpotensi merusak struktur bangunan di atasnya. Kerusakan struktur bangunan tidak hanya mengakibatkan kerugian materi, tapi juga mengakibatkan hilangnya nyawa manusia.

Untuk itu pada suatu wilayah perlu dilakukan penyelidikan terkait dengan potensi terjadinya likuifaksi. Beberapa metode untuk mengetahui potensi likuifaksi telah dikembangkan oleh para peneliti dan ahli geoteknik. Secara garis besar metode yang telah diterapkan terbagi menjadi dua yaitu metode deterministik dan probabilistik. Metode-metode yang sudah ada perlu dikoreksi

terus untuk dilakukan penyempurnaan sehingga didapatkan prosedur yang lebih sederhana (*simplified procedure*). Hal ini dilakukan untuk memudahkan praktisi dalam menganalisis potensi likuifaksi berdasarkan hasil penyelidikan pada suatu wilayah.

Hasil analisis dari metode deterministik berupa iya atau tidak terjadi likuifaksi pada suatu wilayah. Hasil ini terinterpretasikan dari besarnya angka faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi. Untuk menentukan besarnya resiko terjadinya likuifaksi menjadi kendala dan kesulitan tersendiri pada metode ini. Sedangkan, metode probabilistik dapat dipakai untuk menganalisis ukuran, lokasi dan frekuensi peristiwa gempa yang merupakan faktor-faktor ketidakpastian. Parameter yang dapat dipakai dalam menganalisis potensi likuifaksi pada suatu wilayah berupa beban gempa dan resistensi tanah.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat probabilitas terhadap bahaya likuifaksi pada lokasi penelitian?
2. Bagaimana hubungan nilai N-SPT terhadap probabilitas likuifaksi?
3. Bagaimana hubungan magnitudo gempa terhadap probabilitas likuifaksi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis besar probabilitas terhadap likuifaksi berdasarkan data di lapangan (N-SPT).
2. Menganalisis hubungan nilai N-SPT terhadap probabilitas likuifaksi.
3. Menganalisis hubungan magnitudo gempa terhadap likuifaksi.

#### 1.4 Manfaat penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi likuifaksi pada lokasi penelitian yaitu Desa Glagah dan Desa Palihan, Kulon Progo dengan menggunakan prosedur sederhana (*simplified procedure*) yang didasarkan pada kerangka pendekatan probabilitas sehingga besarnya resiko dapat dinyatakan dengan satuan angka.

#### 1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini didasarkan pada analisis potensi likuifaksi dengan prosedur sederhana (*simplified procedure*) dengan berdasarkan data di lapangan berupa N-SPT. Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengolahan data yang didapat dari proyek pembangunan *New Yogyakarta Internasional Airport* (NYIA) berupa data N-SPT sebanyak 12 titik yang tersebar 7 titik di Desa Glagah dan 5 titik di Desa Palihan, Kulon Progo.
2. Penentuan parameter gempa Kabupaten Bantul
  - a. Percepatan gempa maksimum dibatuan dasar berdasarkan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017 dan SNI 1726-2019.
  - b. Penentuan distribusi magnitudo gempa dengan variasi sebesar 6,5 SR, 7,5 SR dan 8,5 SR.
  - c. Percepatan gempa maksimum dipermukaan tanah ditentukan dengan metode *pseudo statis* dengan nilai faktor amplikasi ASCE (07-2016).
3. Menganalisis potensi likuifaksi dengan metode probabilistik Haldar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005) dan Juang dkk (2008)
4. Besar probabilitas likuifaksi pada lokasi penelitian dan hubungannya dengan kedalaman tanah yang dinyatakan dalam grafik.
5. Kesimpulan analisis potensi likuifaksi berdasarkan hasil dari analisis probabilitas metode Haldar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), dan Juang dkk (2008).

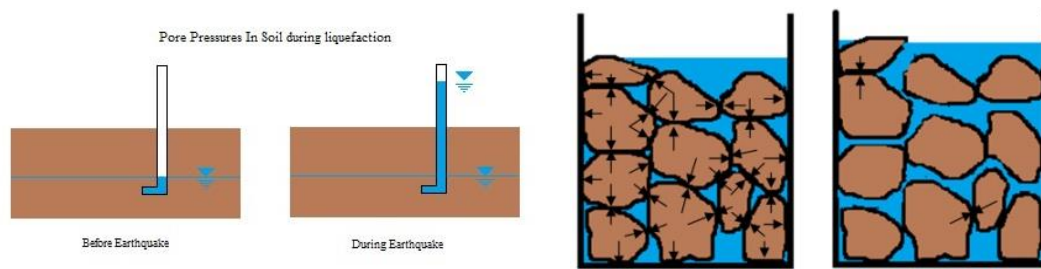
## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Wang dan Law (1994) dalam Pawirodikromo (2012) menyatakan akibat yang ditimbulkan oleh gempa bumi dapat dikategorikan menjadi dua golongan besar. Akibat yang pertama adalah akibat langsung (*direct effects*) dan akibat yang kedua adalah akibat tidak langsung (*indirect effects*). Akibat langsung yang dimaksud adalah kerusakan struktur tanah ataupun kerusakan sesuatu di atas tanah. Salah satu contoh kerusakan struktur tanah ialah likuifaksi. Likuifaksi bisa terjadi karena terdapat material lepas berupa pasir dan lanau yang berada di bawah muka air tanah, sehingga ruang pori antar butir terisi oleh air. Tanah yang mengalami likuifaksi tidak dapat menahan beban apapun yang berada di atasnya, baik dari benda maupun bangunan karena hilangnya daya dukung pondasi bangunan.

Menurut Towhata (2008) likuifaksi terjadi pada tanah berpasir lepas dan jenuh air. Jika lapisan tanah seperti ini mengalami getaran, maka massa tanah tersebut akan cenderung memadat dan volume rongganya berkurang. Ketika volume pori mengecil sedangkan tanah dalam keadaan jenuh, maka air tidak dapat mengalir dengan kondisi seperti ini maka tekanan air pori akan meningkat terus. Peningkatan tekanan air ini akan mengakibatkan tekanan air pori menyamai tegangan total didalam elemen tanah, akibatnya tegangan efektifnya menjadi nol. Apabila tegangan efektifnya nol, maka tegangan gesernya juga akan menjadi nol dan tanah akan berperilaku seperti cairan. Gerakan siklik akibat gempa bumi membuat tegangan air pori pada pasir yang jenuh air meningkat sampai batas tertentu sehingga dapat memisahkan kontak antara butir-butir pasir yang berakibat hilangnya kekuatan tanah pasir, sehingga tanah pasir akan menjadi/menyerupai bubur dan hampir tak mempunyai kekuatan lagi (Pawirodikromo, 2012). Kondisi partikel tanah sebelum dan sesudah meningkatnya tekanan air pori akibat terjadinya gempa bumi dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



**Gambar 2.1 Kondisi Partikel Tanah Sebelum dan Sesudah Terjadi Gempa**

(Sumber : Pawirodikromo, 2012)

## 2.2. Analisis Potensi Likuifaksi

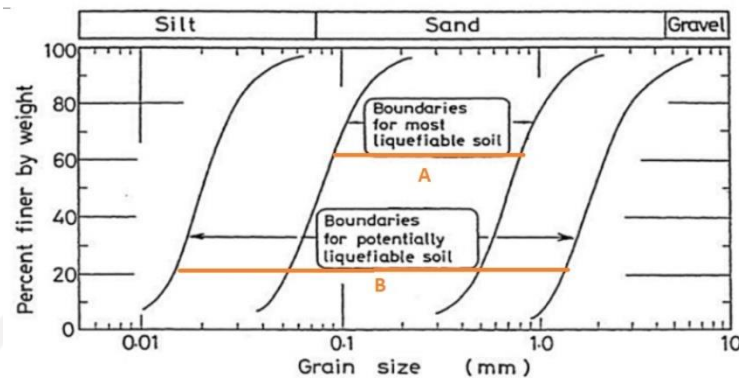
Tanah granular jenuh memang berpotensi terjadi likuifaksi. Ketika kuat geser tanah menghilang maka tanah akan berperilaku cair (*liquid*), sehingga mengakibatkan daya dukung tanah menghilang yang berpotensi merusak struktur bangunan di atasnya. Kerusakan struktur bangunan tidak hanya mengakibatkan kerugian materi, tapi juga mengakibatkan hilangnya nyawa manusia.

Untuk itu pada suatu wilayah perlu dilakukan penyelidikan terkait dengan potensi terjadinya likuifaksi termasuk pada lokasi pembangunan *New Yogyakarta International Airport* (NYIA). Beberapa metode untuk mengetahui potensi likuifaksi telah dikembangkan oleh para peneliti sebelumnya. Adapun metode yang telah diterapkan pada penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut.

### 2.2.1 Metode Deterministik

Metode deterministik dipakai oleh Farichah dan Sari (2019) untuk menganalisis potensi likuifaksi di wilayah Surabaya. Analisis awal potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan lima aspek sebagai berikut.

1. Aspek *Fine content* (FC), tanah *cohesionless* yang memiliki kurang dari 15 persen (berat) partikel lebih kecil dari 0,005 mm rentan terhadap likuifaksi.
2. Aspek *relative density* (DR), menentukan berapa nilai DR yang dibutuhkan agar tidak terjadi likuifaksi.
3. Aspek gradasi yang ditinjau dengan mengelompokkan hasil analisa ayakan suatu lapisan tanah, dengan zona A atau zona B termasuk dalam kategori berpotensi likuifaksi seperti pada Gambar 2.2 berikut.

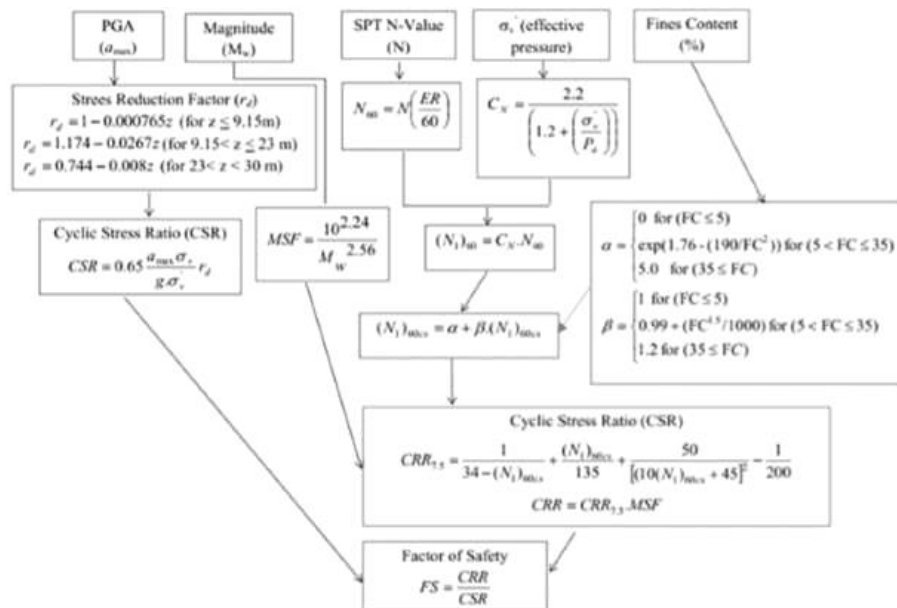


**Gambar 2.2 Batas-Batas Tanah Yang Berpotensi Likuifaksi**

(Sumber : Farichah dan Sari, 2019)

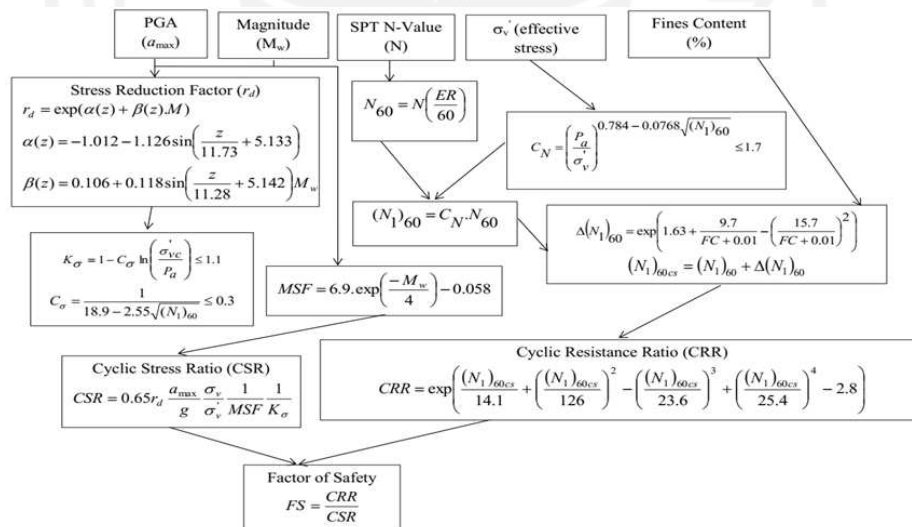
4. Aspek derajat kejenuhan (SR), Meskipun tanah yang memiliki water content rendah telah dilaporkan mengalami likuifaksi, setidaknya 80 hingga 85 persen derajat kejenuhan umumnya dianggap sebagai kondisi yang diperlukan tanah untuk mengalami likuifaksi.
5. Aspek jumlah pukulan SPT, Lapisan tanah dengan jumlah Pukulan SPT yang dinormalkan  $(N_1)_{60} < 22$  memiliki kemungkinan untuk terjadi likuifaksi. Mercuson (1990) dalam Farichah dan Sari (2019) menyarankan jumlah SPT  $(N_1)_{60} < 30$  sebagai ambang untuk mencurigai potensi likuifaksi.

Selanjutnya nilai  $(N_1)_{60}$  digunakan untuk menghitung *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Factor of safety* (FS) dengan menggunakan dua metode. Metode Youd dan Idriss (2001) yaitu analisis potensi likuifaksi berdasarkan perbandingan CSR dan CRR, dengan CSR yang rd faktor reduksi kedalamannya (rd) ditentukan berdasarkan rentang kedalaman. Nilai CRR ditentukan dari besarnya nilai SPT yang dikoreksi berdasarkan nilai FC ( $(N_1)_{60cs}$ ). Alur analisis menggunakan metode ini disajikan pada Gambar 2.3. Metode yang kedua yaitu Idriss dan Boulanger (2008) yang menggunakan FC dan SPT terkoreksi ( $(N_1)_{60cs}$ ) dalam perhitungan CRR. Metode ini juga menggunakan koreksi tekanan overburden (Ks). Bagan alir metode ini disajikan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.3 Bagan Alir Metode Youd dan Idriss (2001)**

(Sumber : Farichah dan Sari, 2019)



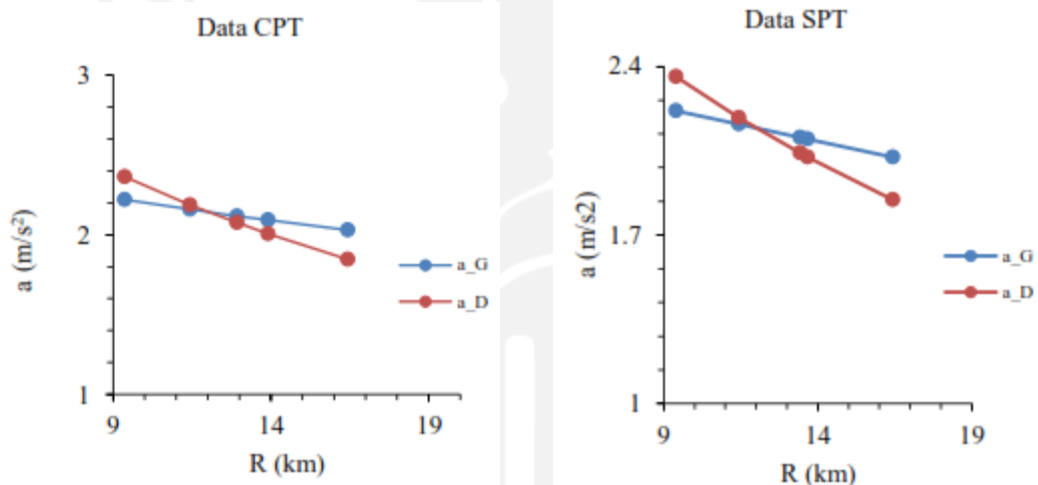
**Gambar 2.4 Bagan Alir Metode Idriss dan Boulanger (2008)**

(Sumber : Farichah dan Sari, 2019)

Analisis awal kemudian dibandingkan dengan analisis lanjutan untuk disimpulkan potensi likuifaksinya. Berdasarkan analisis lanjutan dan kesimpulan analisis, hampir semua kedalaman yang ditinjau oleh Farichah dan Sari (2019) memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17 m.

### 2.2.2 SPT (*Standar Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*)

Data SPT (*Standar Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*) dapat digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi akibat gempa bumi di suatu daerah. Tini dkk (2017) melakukan penelitian potensi likuifaksi di Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan berdasarkan data SPT dan CPT dengan percepatan maksimum tanah menurut Gutenberg Richter dan menurut Donovan. Gambar 2.4 berikut menunjukkan hubungan antara cepat rambat gelombang gempa terhadap jarak menurut Gutenberg Richter dan menurut Donovan yang digunakan dalam analisis.



**Gambar 2.5 Hubungan Percepatan Maksimum Tanah Akibat Gempa Bumi Dengan Jarak Daerah Penelitian**

(Sumber : Tini dkk, 2017)

Berdasarkan Gambar 2.4 tersebut, Tini dkk (2017) menyatakan bahwa semakin jauh jarak sumber gempa dari daerah penelitian, maka akan semakin kecil nilai percepatan gempa yang sampai pada daerah penelitian. Hal ini dapat menyebabkan semakin kecil pula potensi likuifaksi di daerah tersebut. Percepatan gempa bumi menyebabkan berubahnya nilai tekanan air pori, sehingga berakibat terjadinya likuifaksi. Terutama terjadi pada jenis tanah pasir lanauan, karena tanah ini tidak mampu meredam energi yang dilepaskan oleh pusat gempa. Hal ini dibuktikan dengan analisis potensi likuifaksi berdasarkan data SPT dan CPT.



Hasil analisis penelitian menunjukkan bahwa percepatan maksimum tanah menurut Gutenberg Richter lebih besar terhadap terjadinya likuifaksi dari pada menurut Donovan. Semakin besar gempa yang terjadi di suatu daerah, maka kemungkinan terjadi likuifaksi pun akan semakin besar. Perbandingan hasil analisis potensi likuifaksi antara data SPT dan CPT pada daerah penelitian menunjukkan adanya kesamaan potensi likuifaksi pada lapisan tanah dengan kedalaman yang sama diantaranya pada kedalaman 0.2 m - 4 m. Tini dkk (2017) juga menyimpulkan bahwa analisis berdasarkan data CPT lebih baik dari pada data SPT karena data CPT lebih rapat dari pada data SPT.

Dengan mengambil studi kasus pada pembangunan *New Yogyakarta International Airport* (NYIA) di Kulon Progo, Desa Glagah dan Desa Palihan, Lestari (2018) juga melakukan analisis potensi likuifaksi menggunakan data SPT dan CPT. Sedangkan dilokasi yang sama Artati dkk (2020) melakukan analisis berdasarkan data SPT di 12 titik setiap 0,5 meter pada setiap lapisan tanah.

Lestari (2018) mengawali analisisnya dengan klasifikasi menggunakan metode USCS, kemudian perhitungan analisis potensi menggunakan persamaan persamaan yang disarankan oleh *National Center For Earthquake Engineering Research* (NCEER) USA untuk menentukan nilai faktor keamanan (FS) yaitu nilai perbandingan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Adapun hasil dari penelitian didapatkan semua titik yang ditinjau mempunyai nilai FS kurang dari satu yang artinya tanah memiliki kerentanan terhadap potensi likuifaksi. Untuk perhitungan berdasarkan data pengujian CPT dan data pengujian SPT pada masing-masing 10 titik yang tersebar zona likuifaksi berada pada kedalaman yang bervariasi berkisar 2 meter hingga 10 meter.

Sedangkan Artati dkk (2020) melakukan analisis dengan menggunakan metode yang diusulkan oleh Seed, Martin & Lysmer (1975) dengan besarnya ketahanan tanah terhadap likuifaksi dapat diketahui dari perbandingan nilai CSR CRR. Hasil analisis potensi likuifaksi dari 12 titik sampel yang digunakan, terdapat potensi likuifaksi pada seluruh titik sampel. Dari hasil analisis diperoleh potensi likuifaksi terjadi pada kedalaman lapisan tanah berkisar antara 0,1 meter hingga mencapai kedalaman 10,6 meter.

Selain itu pada penelitian Artati dkk (2020) juga memperhitungkan parameter gempa berupa magnitudo gempa yang bervariasi sebesar 6,5 SR, 7,5 SR, dan 8,5 SR. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai CRR pada magnitudo gempa 6,5 SR menunjukkan nilai-nilai yang lebih besar dibandingkan pada CRR pada magnitudo gempa 7,5 SR, sehingga memberikan nilai safety factor yang lebih besar. Sedangkan nilai-nilai CRR pada magnitudo gempa 8,5 SR menunjukkan nilai-nilai yang lebih kecil dibandingkan CRR pada magnitudo gempa 7,5 SR, sehingga menghasilkan nilai angka keamanan yang kecil atau lebih rentan terhadap potensial likuifaksi.

### 2.2.3 Metode Probabilitas

Berdasarkan data *Cone Penetration Test* (CPT) di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu, Monalisa (2014) melakukan analisis potensi likuifaksi dengan metode probabilitas sederhana. Penelitian ini menggunakan analisis metode probabilitas Haldar dan Tang (1979) berdasarkan nilai rasio tahanan siklik dari tanah (CRR), nilai rasio tekanan siklik beban gempa (CSR), serta koefisien variansi nilai CRR dan CSR. Nilai tahanan terhadap beban siklik diperoleh dari hasil pengujian CPT. Sedangkan nilai tekanan siklik (beban gempa) lokasi penelitian diperoleh dari nilai percepatan gempa berdasarkan Peta Zonasi Gempa Indonesia tahun 2010, dan nilai magnitudo ( $M$ ) yang didasarkan pada data riwayat kejadian gempa selama 40 tahun terakhir.

Monalisa (2014) mengambil kesimpulan bahwa hubungan parameter tanah terhadap probabilitas adalah penambahan nilai tahanan ujung konus ( $q_c$ ) akan berkorelasi dengan meningkatnya nilai CRR. Selanjutnya penambahan nilai CRR menyebabkan penurunan nilai probabilitas likuifaksi. Hubungan parameter gempa terhadap probabilitas adalah Pertambahan nilai PBA akan mengakibatkan bertambah besarnya CSR yang terjadi pada suatu deposit tanah pada kedalaman tertentu, begitu pula dengan *magnitudo* gempa dimana pertambahannya akan mengakibatkan faktor koreksi *magnitudo* yang bersesuaian dengan CSR dari tanah berkurang, penambahan salah satu nilai dari kedua variabel ini akan menyebabkan faktor keamanan terhadap bahaya likuifaksi menjadi lebih kecil sehingga mengakibatkan nilai probabilitas likuifaksi bertambah besar.

### 2.3. Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, analisis potensi likuifaksi akibat gempa bumi berdasarkan data *insitu test* menggunakan metode probabilitas (Studi Kasus Pembangunan *New Yogyakarta International Airport* (NYIA)) menurut sepengetahuan penulis belum pernah dilakukan sebelumnya. Adapun kesamaan tempat dan jumlah titik yang diambil dengan penelitian yang dilakukan oleh Artati, H.K., dkk (2020) dibenarkan oleh penulis. Namun pada penelitian ini terdapat perbedaan pada titik pengambilan data atau borehole dan metode yang diterapkan dalam analisis. Metode perhitungan probabilitas likuifaksi yang diusulkan Haldar dan Tang (1979) yang dipakai dalam penelitian ini juga berdasarkan skema analisis yang dilakukan oleh Monalisa (2014) dengan perbedaan jenis, lokasi dan jumlah data yang digunakan. Berikut perbedaan penelitian yang akan dilakukan penulis dengan penelitian-penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan Penelitian yang akan dilaksanakan tentang Likuifaksi**

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
1.	Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya	Farichah, H., dan Sari, P.T.K (2019)	Analisis awal potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan aspek gradasi tanah, relative density (DR), <i>fine content</i> (FC), derajat kejenuhan (SR), dan jumlah pukulan SPT. Sedangkan analisis lanjutan dengan menghitung <i>Cyclic Shear Ratio</i> (CSR), <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR), dan <i>Factor of safety</i> (FS) dengan menggunakan metode Youd dan Idriss 2001 dan metode Idriss 2008.	<p>1. Berdasarkan analisis awal, pada kedalaman 1-7 m masih ada potensi likuifaksi, sedangkan tidak ada lagi potensi likuifaksi pada kedalaman lebih dari 22 m.</p> <p>2. Berdasarkan analisis lanjutan, hampir semua kedalaman memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17 m.</p> <p>3. Berdasarkan kesimpulan analisis, secara umum likuifaksi terjadi hingga kedalaman 17 m.</p>
2.	Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT ( <i>Standar Penetration Test</i> ) Dan CPT ( <i>Cone Penetration Test</i> ) Di Kabupaten Bantul, Yogyakarta	Tini, Tohari, A., dan Iryanti, A (2017)	Penelitian ini dilakukan berdasarkan data SPT dan CPT dengan percepatan maksimum tanah menurut Gutenberg Richter di daerah penelitian rata-rata bernilai sebesar 2.93 m/s dan menurut Donovan sebesar 2.88 m/s.	Percepatan gempa menurut Gutenberg Richter lebih besar terhadap terjadinya potensi likuifaksi daripada menurut Donovan. Semakin besar gempa yang terjadi di suatu daerah, maka kemungkinan terjadi likuifaksi pun akan semakin besar.

**Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan Penelitian yang akan dilaksanakan tentang Likuifaksi**

No.	Judul	Penulis	Metode	Hasil
3.	Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT ( <i>Standar Penetration Test</i> ) dan CPT ( <i>Cone Penetration Test</i> )	Lestari, R.A (2018)	Analisis dengan persamaan yang disarankan oleh NCEER USA yaitu berdasarkan pengolahan data SPT dan data CPT.	Hasil analisis menunjukkan bahwa perbandingan antara CRR dan CRS berdasarkan data SPT secara garis besar mempunyai nilai kurang dari satu yang artinya berpotensi terjadinya likuifaksi saat terjadi gempa. Zona likuifaksi terutama terkonsentrasi pada bagian tengah pada kedalaman kisaran 2 meter hingga 10 meter.
4.	Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Probabilitas Sederhana Berdasarkan Data <i>Cone Penetration Test</i> di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu	Monalisa, A (2014)	Analisis dengan metode probabilitas Haldar dan Tang (1979) berdasarkan nilai rasio tahanan siklik dari tanah (CRR), nilai rasio tekanan siklik beban gempa (CSR), serta koefisien variansi nilai CRR dan CSR	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pertambahan nilai tahanan ujung konus (<math>q_c</math>) akan berkorelasi dengan meningkatnya nilai CRR. Penambahan nilai CRR menyebabkan penurunan nilai probabilitas likuifaksi.</li> <li>2. Pertambahan nilai PBA menyebabkan bertambahnya nilai CSR dan FS lebih kecil sehingga nilai probabilitas lebih besar</li> </ol>

**Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan Penelitian yang akan dilaksanakan tentang Likuifaksi**

No.	Judul	Penulis	Analisis yang dilakukan	Hasil
5.	Analisis Potensi Likuifaksi pada Pasir Vulkanik di Pantai Glagah Kulonprogo Berdasarkan Data N-SPT	Artati, H.K., Pawirodikromo, W., dan Purwanto, E (2020)	Analisis potensi likuifaksi menggunakan metode yang diusulkan oleh Seed, Martin & Lysmer (1975) yaitu dengan mencari nilai FS yang merupakan perbandingan nilai <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR) dan nilai <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR) dengan variasi <i>magnitude</i> gempa sebesar 6,5 SR, 7,5 SR, dan 8,5 SR.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Potensi Likuifaksi di 12 titik sampel pada setiap kedalaman 0,5 meter berdasarkan nilai FS yang merupakan perbandingan CSR dan CRR</li> <li>2. Perbedaan nilai CRR pada variasi <i>magnitude</i> sebesar 6,5 SR, 7,5 SR, dan 8,5 SR.</li> </ol>
6.	Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data <i>Insitu Test</i> Menggunakan Metode Probabilitas	Ansori, A. L (2021)	Analisis awal untuk mengetahui potensi likuifaksi secara deterministik dengan perbandingan nilai CRS dan CRR. Analisis lanjutan mengetahui besarnya probabilitas likuifaksi dengan pendekatan empiris yang dilakukan oleh Haldar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), Lai dkk (2006) dan Juang dkk (2008).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Potensi Likuifaksi di 12 titik sampel pada setiap kedalaman 2 meter berdasarkan perbandingan nilai CSR dan CRR</li> <li>2. Besarnya Probabilitas Likuifaksi berdasarkan metode Haldar dan Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), Lai dkk (2006) dan Juang dkk (2008).</li> </ol>

Sumber : Farichah dan Sari (2019), Tini, dkk (2017) , Lestari (2018), Monalisa (2014), dan Artati dkk (2020)

## BAB III LANDASAN TEORI

### 3.1. Gempa Bumi

Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi dipermukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif, aktifitas gunung api atau runtuhannya batuan. Berdasarkan sumbernya istilah gempa bumi juga dibedakan dengan istilah, gempa bumi yang bersumber dari letusan gunung berapi disebut sebagai gempa vulkanik dan yang bersumber dari patahan lempeng bumi disebut gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik melepaskan energi yang dirambatkan oleh pusat gempa yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan diatas permukaan tanah dan berpotensi terjadi likuifaksi. Parameter gempa juga mempengaruhi terjadinya likuifaksi seperti magnitudo gempa, durasi atau lama gempa, dan percepatan permukaan tanah (Hatmoko, 2016).

Pada analisis likuifaksi percepatan tanah maksimum untuk analisis likuifaksi menggunakan percepatan puncak  $MCE_G$  yang telah disesuaikan terhadap pengaruh situs yaitu  $PGA_M$ . Hal ini ada dalam SNI 1726-2019 tentang cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Persamaan (3.1) percepatan tanah puncak  $PGA_M$  dapat dilihat sebagai berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (3.1)$$

dengan :

$PGA_M$  =  $MCE_G$  percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

$F_{PGA}$  = koefisien situs

$PGA$  = percepatan tanah puncak terpetakan

Koefisien situs sesuai dengan pembagian kelas situs dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

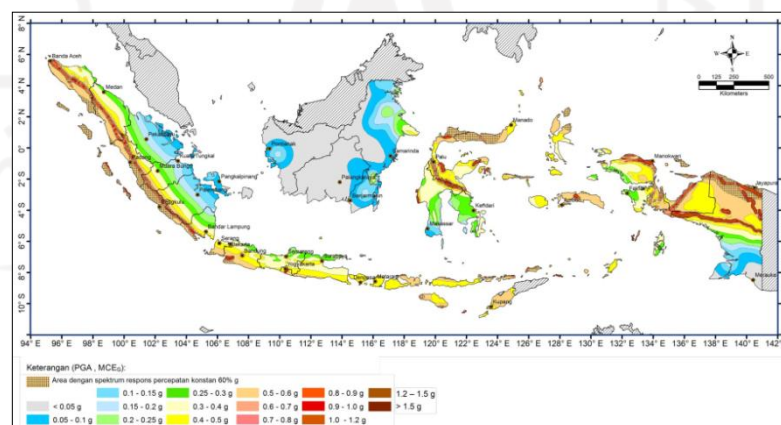
**Tabel 3.1 Koefisien Situs**

Kelas Situs	PGA ≤ 0,1	PGA = 0,2	PGA = 0,3	PGA = 0,4	PGA = 0,5	PGA ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1
SE	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
SF	SS <sup>(a)</sup>					

Sumber : SNI 1726 (2019)

Kelas situs dibagi berdasarkan jenis-jenis tanah. SA adalah bantuan keras, SB adalah batuan, SC adalah tanah keras, sangat padat dan batuan lunak dengan  $N > 50$ , SD adalah tanah sedang dengan  $N$  antara 15 sampai 50, SE adalah tanah lunak dengan  $N < 15$ , dan SF adalah tanah khusus yang membutuhkan investigasi spesifik.

Percepatan tanah puncak terpetakan dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang merupakan peta sumber dan bahaya gempa bumi Indonesia tahun 2017 dan dimuat pada SNI 1726-2019 tentang cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.



**Gambar 3.1 Percepatan Permukaan Tanah terpetakan di Wilayah Indonesia**

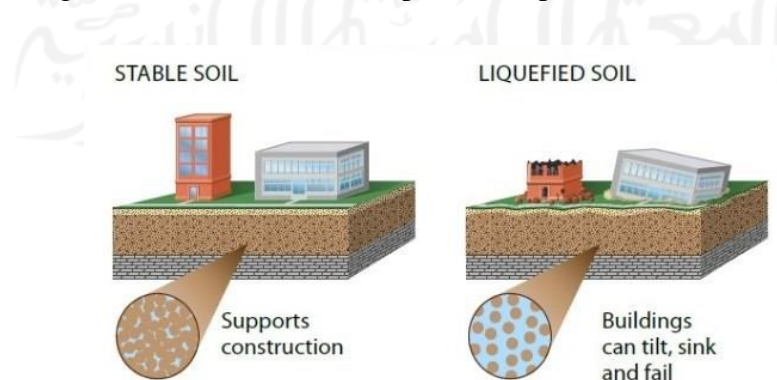
(Sumber : SNI 1726, 2019)



Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang berada pada pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Australia, lempeng Eurasia, lempeng Philipina dan lempeng Pasifik. Indonesia juga berada pada pertemuan dua sistem pegunungan, yaitu pegunungan mediterania dan pegunungan Pasifik. Hal inilah yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara rawan gempa. Gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta atau tepatnya di Bantul merupakan salah satu gempa yang pernah terjadi di Indonesia. Gempa Bantul terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 yang menyebabkan banyaknya korban jiwa serta banyak rumah maupun gedung perkantoran yang rubuh. Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan provinsi yang berada di Selatan pulau jawa yang merupakan salah satu pulau yang dilewati garis pertemuan pelat tektonik Australia dan Eurasia.

### 3.2 Likuifaksi

Likuifaksi adalah suatu proses yang membuat kekuatan tanah menghilang cepat, kekuatan serta daya dukung tanah menurun dikarenakan getaran yang diakibatkan oleh gempa maupun guncangan lainnya (Idriss dan Boulanger, 2008). Likuifaksi bisa terjadi karena terdapat material lepas berupa pasir dan lanau yang berada di bawah muka air tanah, sehingga ruang pori antar butir terisi oleh air. Tanah yang mengalami likuifaksi tidak dapat menahan beban apapun yang berada di atasnya, baik dari benda maupun bangunan karena hilangnya daya dukung pondasi bangunan. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.

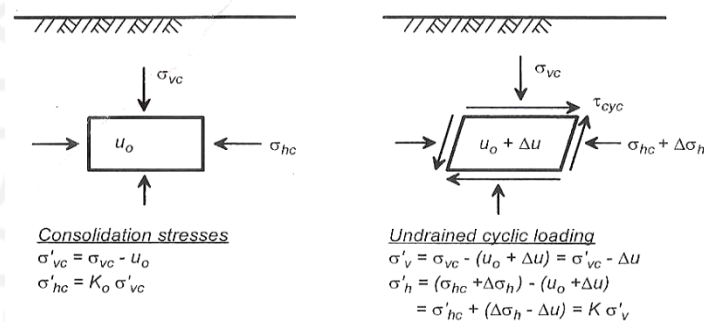


**Gambar 3.2 Kondisi Tanah Sebelum dan Saat Terjadi Likuifaksi**

(Sumber: Stamatakos, 2018)

### 3.3 Kerangka Korelasi Pada Analisis Potensi Likuifaksi

Beberapa pendekatan analisis telah dilakukan untuk mengetahui potensi likuifaksi. Pendekatan dengan berdasarkan tekanan merupakan pendekatan yang telah digunakan secara luas. Pendekatan ini membandingkan antara tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi dengan tahanan siklik dari tanah. Tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa bumi yang berada dibawah permukaan tanah terutama disebabkan oleh efek guncangan horizontal dari gempa bumi. Gambar 3.3 berikut merupakan ilustrasi dari pendekatan berdasarkan tekanan.



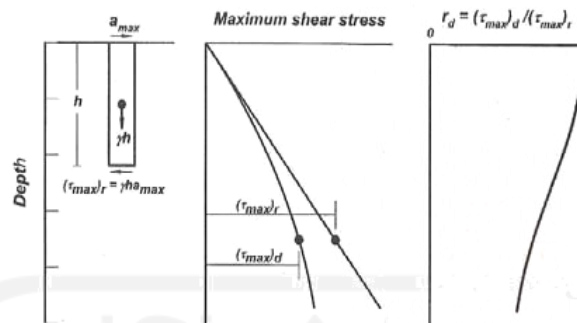
**Gambar 3.3 Tekanan Siklik Pada Elemen Tanah Dibawah Permukaan Tanah Ketika Terjadi Guncangan Horizontal**

(Sumber : Idriss dan Boulanger, 2003)

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa guncangan vertikal dari profil ini akan menghasilkan perubahan tambahan sementara pada tekanan vertikal total, tekanan total horizontal, dan tekanan air pori, tetapi tekanan efektif vertikal dan horizontal tidak terpengaruh. Hal ini yang menyebabkan guncangan vertikal tidak disinggung dalam analisis (Idriss dan Boulanger, 2003).

#### 3.3.1 Perhitungan Tekanan Siklik yang Diinduksi oleh Gempa Bumi

Tekanan geser yang diinduksi pada lapisan tanah ketika gempa bumi terjadi disebabkan dari propagasi vertikal gelombang geser horizontal. Prosedur analisis tekanan ini bisa dihitung jika karakteristik tanah yang diinput gerakannya diketahui (Idriss dan Boulanger, 2003). Penentuan geser maksimum dan koefisien reduksi tekanan geser disajikan pada Gambar 3.4 berikut.



**Gambar 3.4 Skema Untuk Penentuan Geser Maksimum Dan Koefisien Reduksi Tekanan Geser**

(Sumber : Idriss dan Boulanger, 2003)

Jika kolom tanah yang berada di atas kedalaman  $z$  mempunyai sifat kaku (Gambar 3.3), kemudian tekanan geser maksimum dasar kolom dapat dihitung sebagai hasil dari massanya dan percepatan maksimum horizontal dengan persamaan (3.2) berikut.

$$(\tau_{max})_r = \frac{\gamma \cdot Z}{g} \cdot \alpha_{max} = \sigma_v \frac{\alpha_{max}}{g} \quad (3.2)$$

Dengan,

$\alpha_{max}$  adalah percepatan maksimum lapisan tanah,

$\gamma$  adalah rata – rata berat jenis tanah yang berada di atas kedalaman  $z$ ,

$\sigma_v$  adalah tekanan vertikal total pada kedalaman  $z$ .

Namun, kenyataan dilapangan kolom tanah merupakan badan yang bisa berdeformasi, oleh karena itu dengan percepatan permukaan maksimum yang sama tekanan geser maksimum akan berbeda dari nilai badan yang kaku. Tekanan geser maksimum badan tanah yang bisa berdeformasi dapat ditentukan dari respon dinamik, dan hasilnya dibandingkan dengan badan yang kaku seperti pada persamaan (3.3) berikut.

$$(\tau_{max})_d = r_d \cdot (\tau_{max})_r \quad (3.3)$$

Dengan,

$r_d$  adalah koefisien reduksi tekanan geser.

Variasi dari  $(\tau_{max})_d$  dan  $(\tau_{max})_r$  secara tipikal dapat dilihat pada Gambar 3.4, sehingga nilai dari akan turun dari nilai I pada permukaan tanah dan bernilai lebih rendah pada kedalaman yang lebih besar.

Seed dan Idriss (1971), Idriss (1999) dan Cetin dkk (2004) dalam Monalisa (2014) menyatakan untuk mempermudah mendapatkan  $r_d$  analisis dinamik satu dimensi telah dikembangkan. Pada analisis ini diperlihatkan bahwa  $r_d$  bergantung pada karakteristik pergerakan gempa bumi (intensitas dan frekuensi), profil gelombang kecepatan pada suatu lokasi, dan dinamik nonlinear dari properti tanah.

Monalisa (2014) menyatakan Idriss (1999) melanjutkan pekerjaan dari Golesorkhi (1989) melakukan analisis respon pada ratusan parameter  $r_d$  yang mendapatkan parameter sebagai fungsi dari kedalaman ( $z$ ) dan magnitudo gempa ( $M$ ) dengan persamaan (3.4), (3.5), (3.6) sebagai berikut.

$$r_d = M \exp(\alpha(z) + \beta(z)) \quad (3.4)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right) \quad (3.5)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right) \quad (3.6)$$

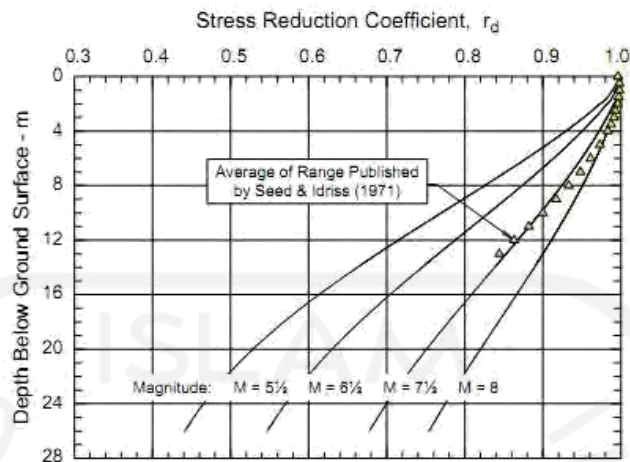
Dengan,

$z$  adalah kedalaman dalam meter,

$M$  adalah momen magnitudo,

$a$  dan  $\beta$  adalah nilai sinus dalam radian.

Persamaan (3.4), (3.5), dan (3.6) secara matematis hanya dapat diaplikasikan pada  $z \leq 34$  m.



**Gambar 3.5 Variasi Koefisien Reduksi Tekanan  $r_d$  Dengan Kedalaman Dan Magnitudo Gempa Bumi**

(Sumber : Idriss dan Boulanger, 2003)

Gambar 3.5 memperlihatkan plot dari  $r_d$  yang dihitung dengan menggunakan magnitudo dengan nilai 5,5; 6,5; 7,5 dan 8. Dari gambar 3.5 diatas didapat rentan rata – rata yang dibandingkan dengan kurva hasil perhitungan yang menggunakan  $M = 7,5$  pada kedalaman sekitar 14 m.

Selain itu, Youd dan Idriss melalui NCEER (1997) menyarankan bahwa untuk penyelidikan rutin terhadap likuifaksi, nilai  $r_d$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Liao-Whitman (1986) yakni :

$$r_d = 1,00 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (3.7)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23\text{m} \quad (3.8)$$

$$r_d = 0,744 - 0,008z \quad \text{untuk } 23 \leq z \leq 30\text{m} \quad (3.9)$$

$$r_d = 0,5z \quad \text{untuk } z \geq 23\text{m} \quad (3.10)$$

$z$  = kedalaman lapisan tanah yang ditinjau.

Seed dan idriss (1971) menyebutkan dalam mendapatkan tekanan siklik yang diinduksi oleh gempa yang mempengaruhi potensi likuifaksi adalah sebesar 65% dari puncak tekanan siklik. Hal ini lah yang disebut dengan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$CSR = 0,65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vc}} = 0,65 \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} \frac{\alpha_{max}}{g} r_d \quad (3.11)$$

Dengan,

$\alpha_{max}$  adalah percepatan maksimum disetiap lapisan ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ),

$\sigma_{vc}$  adalah tekanan vertikal total lapisan tanah saat konsolidasi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ),

$\sigma'_{vc}$  adalah tekanan vertikal efektif lapisan tanah saat konsolidasi ( $\text{kN}/\text{m}^2$ ).

Faktor 0,65 adalah asumsi bahwa tegangan geser seragam ekivalen adalah 65% dari tegangan geser maksimum absolut yang dihasilkan oleh gempa.

Rasio tegangan total dengan tegangan efektif dihitung dengan persamaan-persamaan yang ada di teori mekanika tanah (Das, 1993). Adapun perhitungannya menggunakan persamaan (3.12) berikut.

$$\sigma_v = \sum (h \times \gamma) \quad (3.12)$$

Dengan,

$\sigma_v$  adalah tegangan vertikal total ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ),

$\gamma$  adalah berat isi lapisan tanah ( $\text{kN}/\text{cm}^3$ ),

$h$  adalah tebal lapisan tanah (m).

Sedangkan untuk menghitung tegangan vertikal efektif ( $\sigma'_v$ ) sebagaimana persamaan (3.13) berikut.

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu \quad (3.13)$$

Dengan,

$\sigma'_v$  adalah tegangan vertikal efektif ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ),

$\sigma_v$  adalah tegangan vertikal total ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ),

$\mu$  adalah tegangan air pori ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ),

$\mu = \gamma_w \cdot h$ ,

$\gamma_w$  adalah berat isi air ( $\text{kN}/\text{cm}^3$ ),

$h$  adalah tebal lapisan tanah (m).

### 3.3.2 Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Data *In situ Test*

Data *insitu test* berupa N-SPT (*Standart Penetration Test*) dapat digunakan untuk analisis potensi likuifaksi. *Standard Penetration Test* (SPT) sering digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. Metode SPT merupakan percobaan dinamis yang dilakukan dalam satu lubang bor dengan memasukkan tabung sampel yang berdiameter dalam 35 mm sedalam 300 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sampel sedalam 300 mm dinyatakan sebagai nilai N.

Tujuan dari percobaan *Standard Penetration Test* (SPT) adalah untuk menentukan kepadatan relatif lapisan tanah dari pengambilan contoh tanah dengan tabung sehingga diketahui jenis tanah dan ketebalan tiap–tiap lapisan kedalaman tanah, dan untuk memperoleh data yang kualitatif pada perlawanan penetrasi tanah serta menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkoheesi yang biasa sulit diambil sampelnya.

Untuk mengetahui potensi likuifaksi berdasarkan data N-SPT adalah dengan cara mendapatkan nilai faktor keamanan dari hasil perbandingan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) yaitu nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklis yang biasanya diakibatkan oleh beban gempa bumi dengan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) yaitu nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi.

Berikut sedikit diilustrasikan oleh sebuah persamaan (3.14).

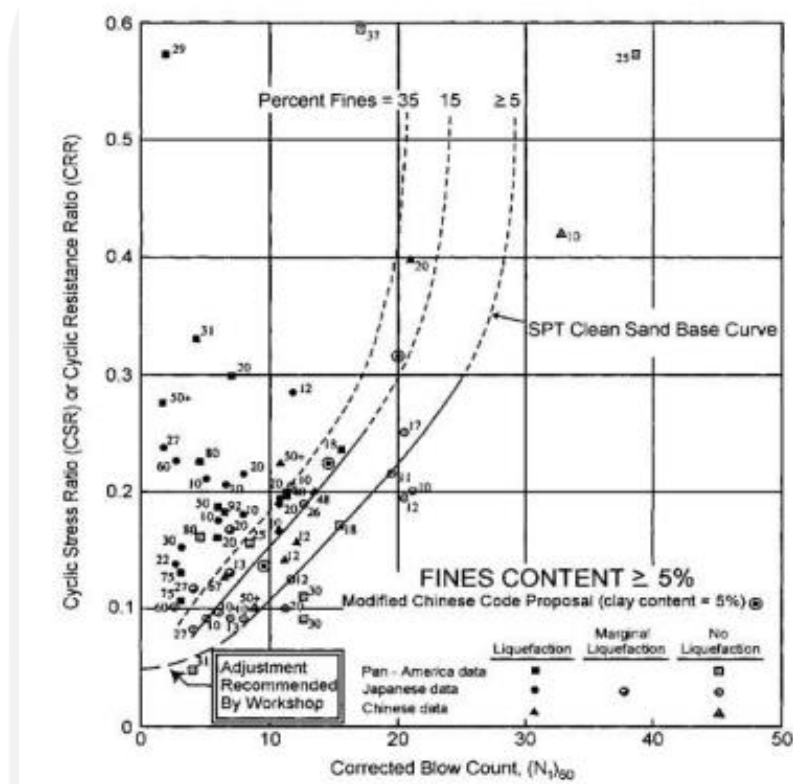
$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.14)$$

Jika  $FS = \frac{CRR}{CSR} < 1$  maka terjadi Likuifaksi

Jika  $FS = \frac{CRR}{CSR} = 1$  maka kondisi kritis

Jika  $FS = \frac{CRR}{CSR} > 1$  maka tidak terjadi likuifaksi

Diambil dari sebuah konsesus metode NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuifaksi didapatkan metode evaluasi CRR dengan kriteria untuk evaluasi tahanan likuifaksi berdasarkan nilai SPT telah digunakan selama bertahun-tahun. Kriteria tersebut sebagian besar diwujudkan dalam plot kuva antara nilai SPT terkoreksi  $(N_1)_{60}$  dan nilai CSR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut.



**Gambar 3.6 Modifikasi kurva CSR terhadap  $(N_1)_{60}$**

(Sumber : Youd dan Idriss, 2001)

Kurva CRR pada grafik ini adalah diposisikan untuk memisahkan daerah yang terindikasi terjadi likuifaksi dengan yang menunjukkan non likuifaksi. Kurva dikembangkan untuk tanah butiran dengan fines content sebesar 5% atau kurang, 15%, dan 35% seperti yang ditunjukkan pada plot kurva. Kurva CRR untuk fines content  $<5\%$  adalah kriteria penetrasi dasar untuk penyederhanaan prosedur dan selanjutnya disebut sebagai “kurva dasar SPT pasir murni”.



Persamaan yang digunakan untuk memperkirakan nilai CRR pada tanah menggunakan data N-SPT yaitu menggunakan persamaan (3.15) berikut.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (3.15)$$

Dengan,

$(N_1)_{60}$  adalah nilai N-SPT terkoreksi.

### 3.3.3 Koreksi Overburden dengan Data *Insitu Test*

Pada pengujian SPT, penggunaan tipe palu dan sistem penjatuhan palu dapat mengalami perbedaan sehingga menghasilkan nilai N-SPT yang berbeda-beda untuk setiap pelaksanaannya. Oleh karena itu nilai N-SPT harus dinormalisasikan terhadap standar energy sebesar 60% (Youd dkk., 2001). Untuk menghitung nilai CRR, maka nilai N-SPT dikoreksi terlebih dahulu untuk prosedur pengujian lapangan dengan persamaan berikut.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (3.16)$$

Dengan,

$(N_1)_{60}$  adalah Nilai N-SPT terkoreksi

$N_m$  adalah Nilai pembacaan SPT

$C_N$  adalah Faktor normalisasi  $N_m$  terhadap tegangan overburden

$C_E$  adalah Koreksi rasio energi hammer

$C_B$  adalah Koreksi diameter borelog

$C_R$  adalah Faktor koreksi panjang batang

$C_S$  adalah Faktor koreksi 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 (3.17) berikut (Seed dan Idriss, 1982).

$$C_N = \left( \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_v}{Pa}} \right) \quad (3.17)$$

Dengan nilai  $C_N$  tidak boleh melebihi dari 1,7.

Faktor koreksi lainnya yang dibutuhkan untuk perhitungan  $(N_1)_{60}$  adalah tabel koreksi nilai SPT yang dimodifikasi dari Skempton (1986) dan disempurnakan kembali oleh Robertson dan Wride (1998) seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Tabel Faktor Koreksi untuk  $(N_1)_{60}$**

Faktor	Equipment variable	Term	Correction
Overburden pressure	-	$C_N$	$(Pa/\sigma'_{vo})^{0,5}$
Overburden pressure	-	$C_N$	$C_N \leq 1.7$
Energy ratio	Donut hammer	$C_E$	0.5 – 1.0
Energy ratio	Safety hammer	$C_E$	0.7 – 1.2
Energy ratio	Automatic-trip donut type hammer	$C_E$	0.8 – 1.3
Borehole diameter	65-115 mm	$C_B$	1.0
Borehole diameter	150 mm	$C_B$	1.05
Borehole diameter	200 mm	$C_B$	1.15
Rod length	<3 m	$C_R$	0.75
Rod length	3-4 m	$C_R$	0.8
Rod length	4-6 m	$C_R$	0.85
Rod length	6-10 m	$C_R$	0.95
Rod length	10-30 m	$C_R$	1.0
Sampling method	Standard sampler	$C_S$	1.0
Sampling method	Sampler without liners	$C_S$	1.1 – 1.3

Sumber : Robertson dan Wride (1998)

Persamaan 3.15 diatas hanya berlaku untuk  $(N_1)_{60} < 30$ . Untuk  $(N_1)_{60} \geq 30$ , butiran tanah halus terlalu padat untuk terlikuifaksi dan diklasifikasikan sebagai tanah *nonliquifiable*. Persamaan ini dapat digunakan dalam *spreadsheet* dan teknik analisis lainnya untuk memperkirakan kurva *clean-sand base* untuk perhitungan teknis. Pada perkembangannya Seed dkk (1985) dalam Youd dkk (2001) mencatat

bahwa ada indikasi nyata tentang naiknya nilai CRR yang seiring dengan meningkatnya fines content. Apakah kenaikan ini disebabkan oleh kenaikan tahanan likuifaksi atau penurunan tahanan penetrasi masih belum diketahui. Berdasarkan data empiris yang ada, Seed dkk (1985) mengembangkan kurva CRR untuk berbagai kandungan butiran halus (*fines content*) agar lebih sesuai dengan dasar data empiris dan untuk lebih mendukung perhitungan dengan *spreadsheets* dan bantuan perhitungan elektronik lainnya.

Persamaan berikut dikembangkan oleh Idris, I.M dengan bantuan Seed, H.B untuk faktor koreksi  $(N_1)_{60}$  penyetaraan nilai *clean sand*,  $(N_1)_{60cs}$  ditunjukkan pada persamaan 3.18 sebagai berikut.

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (3.18)$$

Dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah koefisien yang dipengaruhi presentasi fines content (FC),  
 untuk  $FC \leq 5\%$ ,  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 1$ ,  
 untuk  $5\% < FC < 35\%$ ,  $\alpha = \exp [ 1,76 - (190/FC^2)]$ ,  $\beta = [0,99 + (FC^{1,5}/1000)]$ ,  
 untuk  $FC > 35\%$ ,  $\alpha = 5,0$ ,  $\beta = 1,2$ ,

sehingga persamaan (3.15) menjadi persamaan (3.19) seperti berikut.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (3.19)$$

### 3.3.4 Magnitude Scaling Factor (MSF)

*Magnitude scaling Factor* (MSF) digunakan untuk menentukan CSR dan/atau CRR yang menggunakan nilai M yang biasa (secara konvensional diambil  $M=7.5$ ), karena CRR bergantung pada jumlah beban siklik yang berkorelasi dengan nilai magnitudo (M) (Idriss dan Boulanger, 2003).

Definisi dasar dari MSF disajikan pada persamaan (3.20) berikut.

$$MSF = \frac{CRR_M}{CRR_{M=7,5}} \quad (3.20)$$

Seed dan Idriss (1971) mendapatkan nilai MSF untuk magnitudo lebih kecil dari 7.5 dan magnitudo lebih besar dari 7.5 yang disajikan pada persamaan (3.21) dan (3.22) sebagai berikut.

$$M_w < 7.5, MSF = \frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \quad (3.21)$$

$$M_w > 7.5, MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-2,56} \quad (3.22)$$

Untuk menghitung CRR dengan besar magnitudo gempa selain 7.5 diperlukan faktor koreksi yang disebut *magnitude scale factor* (MSF). Dalam hal ini persamaannya dapat dituliskan pada persamaan (3.23) berikut (Seed, 1983).

$$CRR_{M_w} = CRR_{7,5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha \quad (3.23)$$

Untuk variabel  $K_\sigma$  dan  $K_\alpha$  dalam perhitungan biasanya hanya dalam kasus khusus sehingga dalam kasus ini  $K_\sigma$  dan  $K_\alpha$  bernilai 1.

### 3.3.5 Overburden Correction Factor ( $K_\sigma$ )

Seed dan Idriss (1982) memperkenalkan *Overburden correction factor* ( $K_\sigma$ ) untuk menentukan CSR dan/atau CRR terhadap nilai *effective overburden stress* yang biasa, karena CRR pada pasir bergantung pada *effective overburden stress*. Definisi dari  $K_\sigma$  disajikan pada persamaan (3.24) berikut.

$$K_\sigma = \frac{CRR_{\sigma'_{vc}}}{CRR_{\sigma'_{vc}=1}} \quad (3.24)$$

Dengan,

$K_\sigma$  adalah *overburden correction factor*,

$CRR_{\sigma'_{vc}}$  adalah CRR dari tanah dibawah nilai spesifik dari nilai,

$CRR_{\sigma'_{vc}=1}$  adalah nilai CRR dari tanah yang sama dengan  $\sigma'_{vc} = 1$  atm.

Kebanyakan nilai  $K_\sigma$  didapat dari hasil tes laboratorium, sehingga para ahli merekomendasikan penentuan  $K_\sigma$  dapat diperhitungkan melalui persamaan (3.25) berikut.

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \ln \left( \frac{\sigma'_{vc}}{P_{\alpha}} \right) \leq 1,1 \quad (3.25)$$

dengan koefisien  $C_{\sigma}$  didapat dari korelasi dengan *overburden penetration resistance* yang diusulkan oleh Idris dan Boulanger (2004) seperti pada persamaan (3.36) berikut.

$$C_{\sigma} = \frac{1}{18,9 - 2,55 * \sqrt{(N_1)_{60cs}}} \quad (3.26)$$

Dengan,

$C_{\sigma}$  adalah faktor koreksi nilai CRR,

$(N_1)_{60cs}$  adalah nilai N-SPT yang sudah dikoreksi,

$\sigma'_{vc}$  adalah tegangan efektif vertikal ( $\text{kN/m}^2$ ),

$P_{\alpha}$  adalah tekanan atmosfer (1 atm).

### 3.4 Analisis dengan Metode probabilitas

Penjabaran sebelumnya merupakan teori pendekatan analisis potensi likuifaksi yang secara umum telah digunakan oleh para peneliti. Pendekatan analisis tersebut disebut sebagai metode determinan, yang dari hasil analisisnya menunjukkan iya atau tidak terjadi likuifaksi berdasarkan nilai faktor keamanan. Berikut dijabarkan teori pendekatan analisis potensi likuifaksi metode probabilitas yang dapat memberikan gambaran tentang berapa besar resiko likuifaksi itu dapat terjadi.

#### 3.4.1 Analisis Probabilitas dengan Metode Haidar dan Tang ( 1979 )

Beberapa peneliti telah mencoba menganalisis potensi likuifaksi dengan metode probabilitas. Salah satu metode probabilitas yang digunakan dalam menganalisis potensi likuifaksi adalah metode probabilitas yang dikembangkan oleh Haidar dan Tang (1979). Model ini didasarkan pada prosedur *simplified seed and idriss* (1971) dimana parameternya dianggap sebagai variabel acak dan menggunakan pendekatan *first order* (pendekatan linear). Dari persamaan *simplified* dibuat seperti persamaan (3.28) berikut.

$$\left(\frac{\tau_R}{\sigma'_{vc} \cdot Dr}\right)_{lap} = Cr \cdot \left(\frac{\sigma_{de}}{\sigma_{\alpha} \cdot Dr}\right)_{lab} \quad (3.27)$$

dan selanjutnya mengambil :

$$R = \left(\frac{\sigma_{de}}{\sigma_{\alpha} \cdot Dr}\right)_{lab} \quad (3.28)$$

dan dengan menghilangkan *sub cript* “lab” maka *shear strength ratio* dapat dituliskan dengan persamaan (3.29) sebagai berikut.

$$\tau_R = Cr \cdot R \cdot \sigma' \cdot D \quad (3.29)$$

Dengan menggunakan asumsi bahwa persamaan itu mengandung berbagai variasi penyederhanaan dan pendekatan empiris maka persamaan itu hanyalah estimasi dari *shear resistense* dari tanah, karena itu dibutuhkan faktor koreksi  $N_f$  yang dapat dituliskan seperti persamaan (3.30) berikut :

$$\tau_R = N_f \cdot \hat{\tau}_R \quad (3.30)$$

Dengan,

$\hat{\tau}_R$  adalah prediksi model,

$\tau_R$  adalah sebagaimana didefinisikan sebelumnya,

$N_f$  adalah variabel random dengan mean  $N_f$  dan koefisien variasi COV  $\Omega_f$ , yang menggambarkan *modelling error*, dengan menggunakan asumsi *statical independence* dari parameter pada persamaan (3.29) maka mean dan COV dituliskan ke dalam persamaan (3.31) dan (3.32) berikut.

$$\bar{\tau}_R = \bar{N}_f \cdot \bar{C}_r \cdot \bar{R} \cdot \bar{\sigma}'_v \cdot \bar{D}_r \quad (3.31)$$

$$\Omega_{\tau_R}^2 = \Omega_{N_f}^2 + \Omega_{C_R}^2 + \Omega_R^2 + \Omega_{\sigma'_v}^2 + \Omega_{D_R}^2 \quad (3.32)$$

dimana simbol  $\bar{X}$  dan  $\Omega_X$  adalah mean dan COV dari variabel random. Identik dengan persamaan *shear stress ratio* dengan mengganti konstanta 0,65 dengan  $S_L$  maka mean dan COV dapat dituliskan ke dalam persamaan (3.33) dan (3.34) berikut.

$$\bar{\tau}_A = \bar{S}_L \cdot \bar{r}d \cdot \bar{\gamma}_s \cdot h \frac{\bar{a}_{max}}{g} \quad (3.33)$$

$$\Omega_{\tau_A}^2 = \Omega_{r_d}^2 + \Omega_{\gamma_s}^2 + \Omega_{a_{max}}^2 \quad (3.34)$$

dengan nilai  $g$ ,  $S_L$  dan  $h$  dianggap konstan dan  $r_d$ ,  $\gamma_s$  dan  $a_{max}$  dianggap bebas secara statistik. Dimana probabilitas terjadinya likuifaksi didefinisikan sebagai probabilitas kejadian yang probabilitas kejadian dari  $(\bar{\tau}_R \leq \bar{\tau}_A)$  dengan probabilitasnya mengikuti log normal distribusi yang dapat dirumuskan ke dalam persamaan (3.35) sebagai berikut.

$$P_f = P(\tau_R \leq \tau_A) = 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln \left( \frac{\tau'_R}{\tau'_A} \sqrt{\frac{1+\Omega_{\tau_R}^2}{1+\Omega_{\tau_A}^2}} \right)}{\sqrt{\ln \left[ \left( \frac{1+\Omega_{\tau_R}^2}{\tau_R} \right) \left( \frac{1+\Omega_{\tau_A}^2}{\tau_A} \right) \right]}} \right\} \quad (3.36)$$

Dengan,

$\Phi$  adalah standard normal kumulatif distribusi fungsi.

### 3.4.2 Analisis Probabilitas dengan Metode Hwang dkk (2004)

Metode yang didasarkan pada prosedur Seed dan Idriss (1971) semuanya dikembangkan dari riwayat data situs tanah yang berasal dari *in situ test* seperti N-SPT (Juang dkk, 2013). Untuk menentukan besarnya probabilitas likuifaksi suatu tanah dalam kasus masa depan, metode reabilitas yang memungkinkan untuk pertimbangan metode eksplisit dan parameter ketidakpastian harus menjadi metode pilihan, jika ketidakpastian ini dapat dikarakteristik secara statistik seperti metode Haldar dan Tang (1979) (Juang dkk, 2013).

Dengan tidak adanya pengetahuan lengkap tentang model dan atau ketidakpastian parameter, model probabilistik yang disederhanakan dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan likuifaksi. Model yang disederhanakan umumnya berasal dari database sejarah kasus tertentu. Beberapa pendekatan empiris untuk menentukan probabilitas likuifaksi berdasarkan nilai FS telah diusulkan banyak peneliti, salah satu di antaranya adalah model yang di usulkan Hwang dkk (2004) dengan persamaan (3.36) sebagai berikut.

$$P_L = 1 - \Phi \left( -0,013 \frac{\ln(FS)}{0,7758} \right) \quad (3.36)$$

Dengan,

$P_L$  adalah probabilitas likuifaksi,

$\Phi$  adalah standard normal kumulatif distribusi fungsi,

FS adalah faktor keamanan.

### 3.4.3 Analisis Probabilitas dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)

Parameter lain yang digunakan untuk menentukan besarnya probabilitas likuifaksi adalah gelombang gempa bumi yang bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Metode indeks potensi likuifaksi (LPI), indeks kekerasan likuifaksi (LSI) dan indeks risiko likuifaksi (LRI) merupakan tiga metode yang sering digunakan untuk mengetahui karakteristik pengaruh gerakan gelombang tersebut dan kaitannya dengan kedalaman tanah terhadap potensi likuifaksi untuk suatu lokasi tertentu dengan *output* data berupa peta potensi likuifaksi.

LPI merupakan metode paling umum digunakan yang dikembangkan oleh Iwasaki, dkk. (1984). LPI menggunakan nilai *faktor of savety* (FS) dan fungsi kedalaman tanah ( $Wz$ ). Interpolasi dari analisis tersebut menghasilkan kontur batas-batas zona dengan potensi likuifaksi rendah (*low*), potensi likuifaksi tinggi (*high*) dan potensi likuifaksi sangat tinggi (*very high*).

Pada tahun 2005, Sonmez dan Gokceoglu melakukan pengembangan terhadap metode LPI yang telah ditemukan sebelumnya dan menghasilkan metode indeks kekerasan likuifaksi (LSI) untuk evaluasi bobot kejadian likuifaksi. Hitungan nilai LSI menggunakan angka probabilitas yang didapat dari persamaan (3.37) berikut.

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{0,96}\right)^{4,5}} \quad (3.38)$$

Dengan,

$P_L$  adalah probabilitas likuifaksi,

FS adalah faktor keamanan,



### 3.4.4 Analisis dengan Metode Probabilitas Juang dkk (2008)

Sejauh ini, analisis potensi likuifaksi tidak hanya dikembangkan untuk menyelidiki dari hasil FS tetapi juga probabilitas likuifaksi (PL). Juang dkk (2008) memperkenalkan persamaan untuk menentukan probabilitas likuifaksi berdasarkan FS, yang diperoleh dari perbandingan antara CRR dan CSR. Metode probabilitas likuifaksi berdasarkan Juang dkk (2008) dapat dilihat pada Persamaan (3.39) berikut.

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{1,905}\right)^{3,8}} \quad (3.39)$$

Dengan,

PL adalah nilai probabilitas likuifaksi.

Dalam Warriessandy dkk (2010) menyebutkan bahwa sebelumnya Chen dan Juang (2000) juga pernah memberikan klasifikasi kemungkinan likuifaksi yang dapat diaplikasikan dengan menggunakan nilai PL (*The Probability of Liquefaction*) yang dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.3 Klasifikasi Probabilitas Likuifaksi**

Probabilitas	Deskripsi (kemungkinan likuifaksi)
$0.85 \leq PL < 1.00$	Hampir pasti likuifaksi
$0.65 \leq PL < 0.85$	Sangat mungkin
$0.35 \leq PL < 0.65$	Mungkin
$0.15 \leq PL < 0.35$	Tidak mungkin
$0.00 \leq PL < 0.15$	Hampir pasti tidak likuifaksi

Sumber : Warriessandy dkk (2010)

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

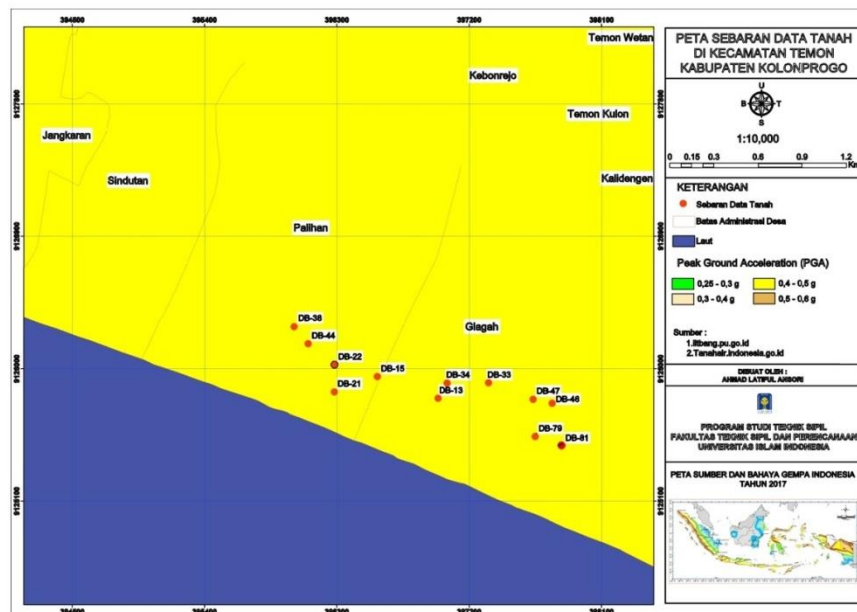
### **4.1 Gambaran Umum Penelitian**

Data N-SPT didapatkan dari proyek pembangun *New Yogyakarta Internasional Airport* (NYIA). Kemudian dari data tersebut dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai CSR, nilai CRR, probabilitas likuifaksi dengan metode yang diusulkan oleh Haidar dan Tang (1979) yang persamaannya mengikuti log normal distribusi. Untuk mendapatkan variasi nilai besarnya probabilitas dan hasil yang lebih akurat, analisis probabilitas likuifaksi juga dilakukan dengan pendekatan empiris yang diusulkan oleh Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005), dan Juang dkk (2008).

Setelah mendapatkan besarnya probabilitas likuifaksi pada setiap titik lokasi yang ditinjau, analisis selanjutnya adalah menganalisis hubungan nilai N-SPT dan Magnitudo gempa terhadap probabilitas likuifaksi. Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hubungan antara N-SPT yang menggambarkan tahanan terhadap bahaya likuifaksi dan kekuatan gempa sebagai parameter beban besarnya probabilitas likuifaksi yang terjadi.

### **4.2 Lokasi penelitian**

Dalam penelitian ini digunakan data lapangan berupa N-SPT yang didapatkan dari proyek pembangun *New Yogyakarta Internasional Airport* (NYIA) yang tersebar di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulonprogo. Sebanyak 12 titik yang terdiri dari 7 titik di Desa Glagah dan 5 Titik di Desa Palihan. *Borehole* yang dianalisis meliputi DB 81, DB 79, DB 34, DB 33, BD 13, DB 15, DB 21, DB 22, DB 38, DB 44, DB 47, DB 47, dan DB 46. Adapun data sebaran dari *borehole* yang dianalisis dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



**Gambar 4.1** Peta Lokasi Penelitian

### 4.3 Pengambilan Data Penelitian

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder sebagai berikut.

1. Data tanah hasil tes SPT pada proyek pembangun *New Yogyakarta Internasional Airport*.
2. Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017, dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang dimuat pada SNI 1726-2019.
3. Studi literatur terhadap beberapa penelitian yang berhubungan dengan evaluasi potensi likuifaksi.

### 4.4 Analisis Pengolahan Data

Dalam penelitian ini dilakukan analisis potensi likuifaksi dengan metode probabilistik prosedur sederhana (*simplified procedure*) berdasarkan data uji N-SPT. Adapun tahapan dan cara yang akan dilakukan dalam analisis ini adalah sebagai berikut.

#### 4.4.1 Perhitungan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah

Percepatan gempa di permukaan tanah dihitung dengan faktor amplifikasi yang dipublikasikan oleh ASCE (7-16) berdasarkan SNI 1726-2019.

#### 4.4.2 Perhitungan Potensi Likuifaksi Metode Determinan

Perhitungan potensi likuifaksi metode determinan dengan tahapan sebagai berikut.

1. Perhitungan Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) Setiap Lapisan Tanah.  
Tahapan yang dilakukan dalam perhitungan nilai *cyclic stress ratio* ( CSR ) adalah sebagai berikut.
  - a. Menghitung nilai tekanan vertikal total ( $\sigma_v$ ) dan tekanan efektif tanah ( $\sigma'_v$ ) setiap lapisan tanah.
  - b. Menghitung nilai koefisien reduksi gangan geser ( $r_d$ ) setiap lapisan tanah.
  - c. Menghitung nilai CSR setiap lapisan tanah dengan persamaan 3.11.
2. Perhitungan Nilai *Cyclic Resistan Ratio* (CRR) Setiap Lapisan Tanah.  
Perhitungan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) disetiap lapisan tanah dilakukan dengan langkah sebagai berikut.
  - a. Menentukan nilai koreksi N-SPT dengan berdasar pada Tabel 3.2.
  - b. Menghitung faktor normalisasi  $N_m$  terhadap tegangan *overburden* dengan persamaan 3.17.
  - c. Menghitung  $(N_1)_{60}$  setiap lapisan tanah dengan persamaan 3.16.
  - d. Menghitung  $(N_1)_{60cs}$  setiap lapisan tanah dengan persamaan 3.18.
  - e. Menghitung nilai *magnitude scalling factor* dengan persamaan 3.21 dan 3.22.
  - f. Menghitung nilai CRR setiap lapisan tanah dengan persamaan 3.23.

#### 4.4.3 Perhitungan Probabilitas Likuifaksi

Perhitungan probabilitas likuifaksi pada titik yang ditinjau menggunakan beberapa metode sebagai berikut.

1. Metode Haidar dan Tang (1979)  
Model probabilitas yang digunakan adalah model yang menganggap bahwa parameter CSR dan CRR mengikuti distribusi log normal, dengan

probabilitas bersyarat yang digunakan adalah  $P(CRR \leq CSR)$ , dengan  $\Phi(\beta)$  standar normal kumulatif distribusi fungsi dan  $(\Omega)$  koefisien variasi yang merupakan parameter statistik tanpa dimensi. Berikut persamaan (4.1) yang digunakan untuk mencari probabilitas likuifaksi metode Haidar dan Tang (1979).

$$P_f = P(CRR \leq CSR) = 1 - \Phi(\beta) \left\{ \frac{\ln\left(\frac{CRR}{CSR} \sqrt{\frac{1+\Omega^2 CSR}{1+\Omega^2 CRR}}\right)}{\sqrt{\ln[(1+\Omega^2 CRR)(1+\Omega^2 CSR)]}} \right\} \quad (4.1)$$

Dengan,

$\beta$  adalah indeks keandalan,

$\Phi(\beta)$  adalah standar normal kumulatif distribusi fungsi,

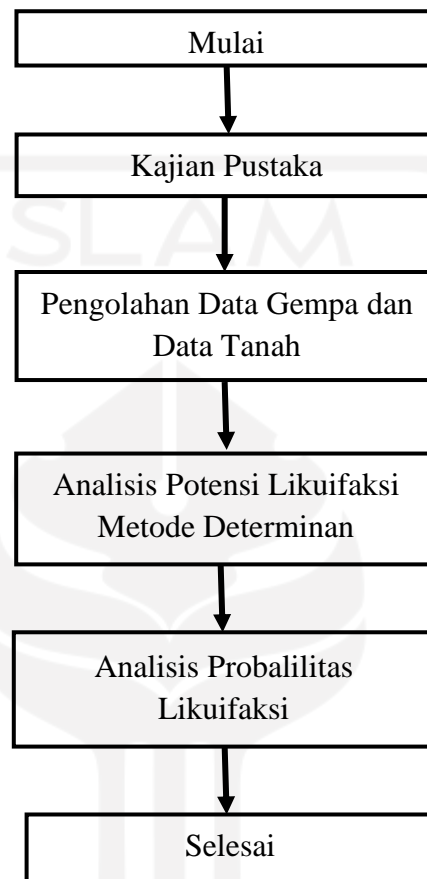
dan  $\Omega_{CSR}$  adalah koefisien variansi dari CSR dan CRR

2. Menghitung besarnya probabilitas dengan metode Hwang dkk (2004) yang dapat dilakukan dengan persamaan (3.36), metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) dengan persamaan (3.37) dan metode Juang dkk (2008) dengan persamaan (3.38).

#### 4.4.4 Analisis Hubungan Nilai N-SPT dan Magnitudo Gempa Terhadap Probabilitas Likuifaksi

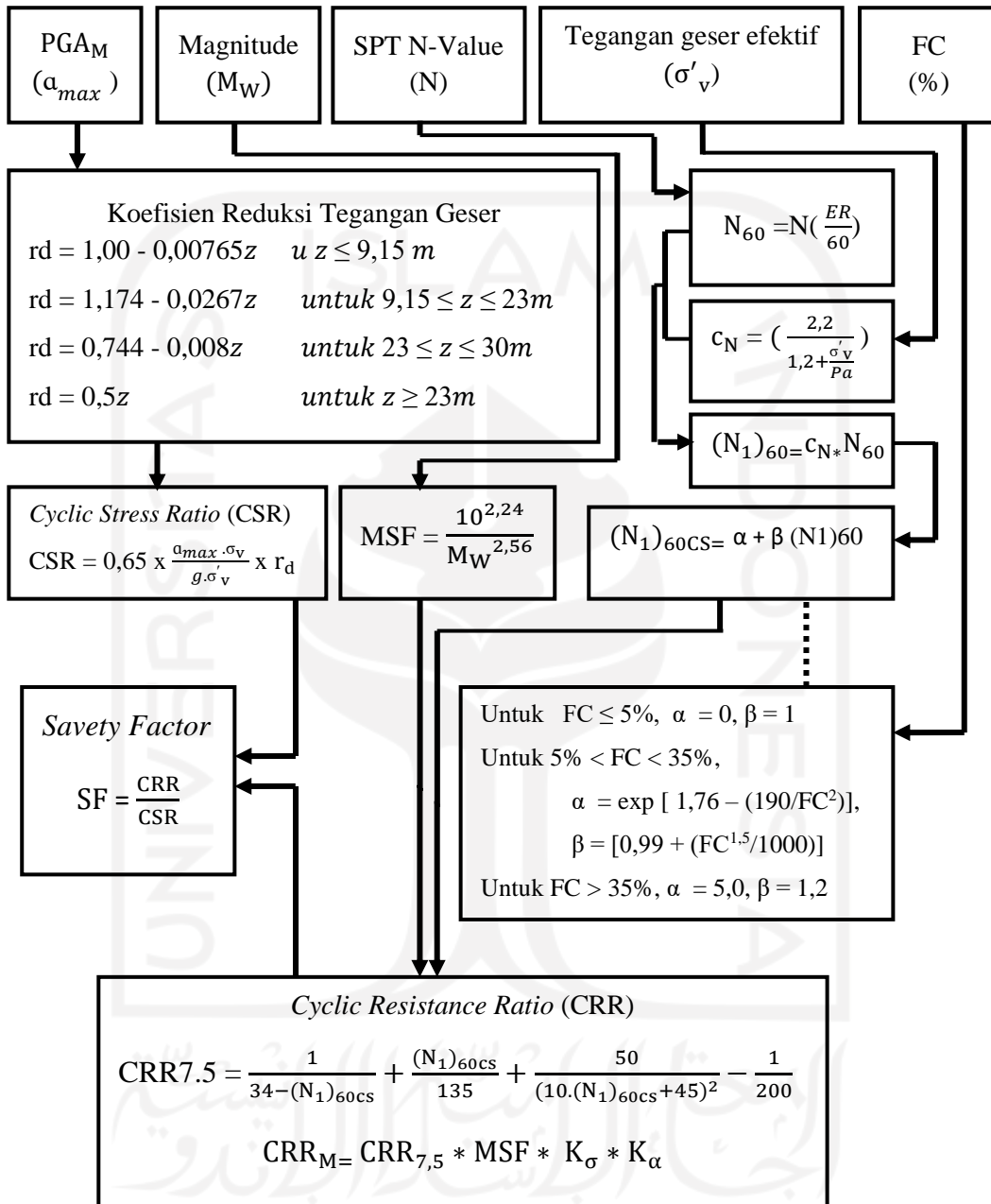
Pada tahapan ini akan dilakukan analisis hubungan antara nilai N-SPT yang menggambarkan tahanan terhadap bahaya likuifaksi dan kekuatan gempa sebagai parameter beban dengan besarnya probabilitas likuifaksi yang terjadi. Hasil analisis ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan bagaimana karakteristik hubungan yang terbentuk.

#### 4.5 Bagan Alir Penelitian



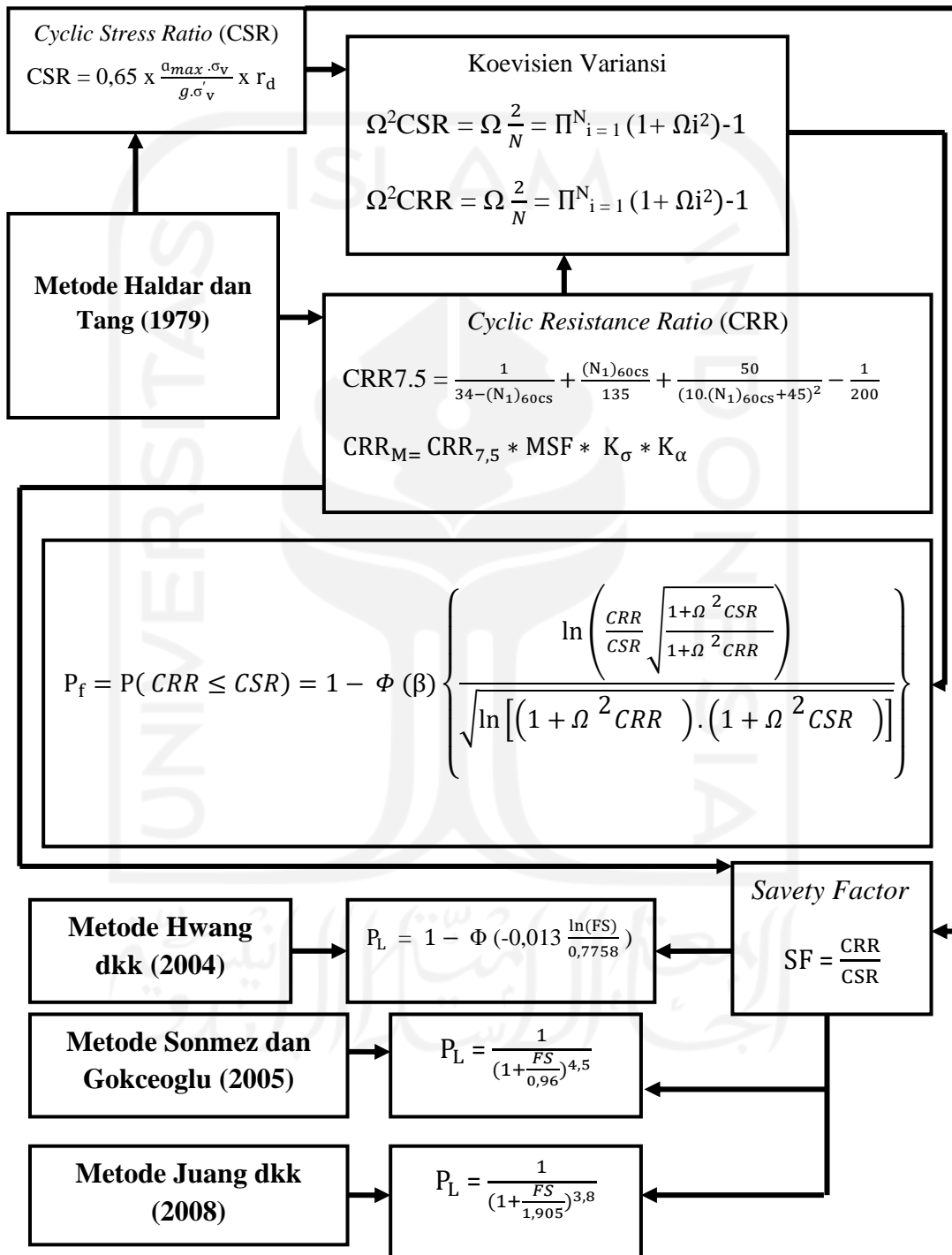
**Gambar 4.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian**

#### 4.6 Skema Prosedur Analisis Metode Determinan



Gambar 4.3 Skema Prosedur Analisis Metode Determinan

#### 4.7 Skema Prosedur Analisis Penentuan Probabilitas Likuifaksi



Gambar 4.4 Skema Prosedur Analisis Probabilitas Likuifaksi



## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Analisis Probabilitas**

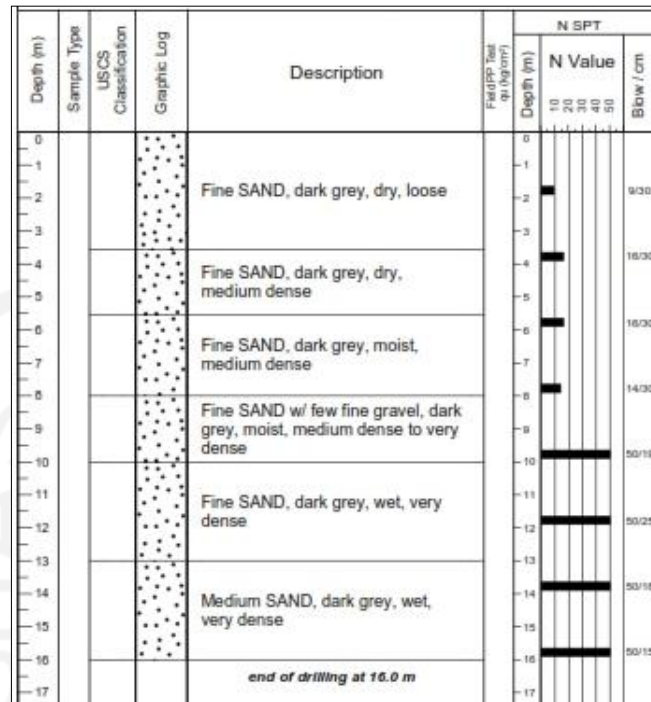
Fungsi analisis probabilitas adalah ketika ketidakpastian dari suatu hasil atau peristiwa dapat dinyatakan dengan nilai probabilitas kejadian. Hal ini dimungkinkan karena dengan analisis probabilitas setiap parameter dan variabel dari suatu fungsi persamaan dipelajari perilaku dan penyebaran kejadiannya sehingga secara teoritis dapat dimodelkan.

Analisis potensi likuifaksi dengan prosedur *simplified* yang dibentuk dari parameter berupa *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR) didalamnya terdapat variabel-variabel acak berupa data properties tanah, data gempa dan model persamaan prosedur *simplified* itu sendiri. Haldar dan Tang (1979) dalam Monalisa (2014) menyatakan variabel-variabel tersebut dapat didekati dengan pendekatan persamaan linear (pendekatan orde pertama) untuk menentukan penyebarannya berupa koefisien variansi sedangkan parameternya sendiri mengikuti distribusi log-normal.

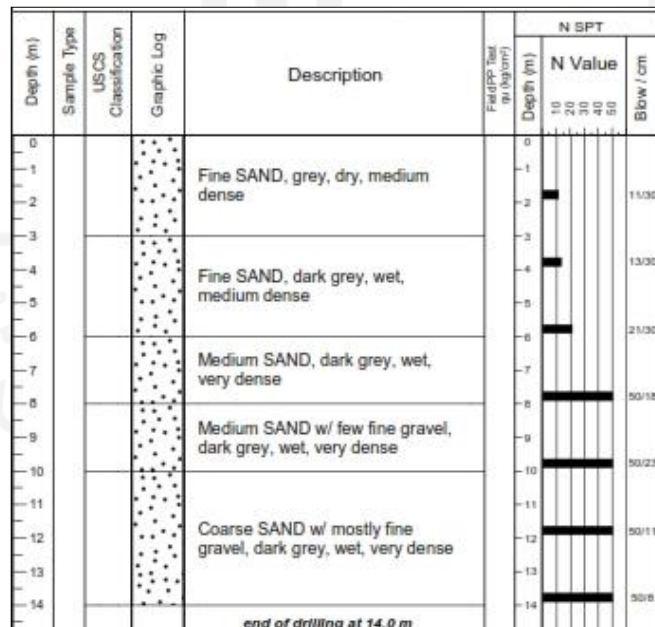
Untuk mendapatkan variasi nilai besarnya probabilitas likuifaksi agar didapatkan hasil yang lebih akurat, selain dengan menggunakan model persamaan yang diusulkan oleh Haldar dan Tang (1979) juga digunakan model persamaan dengan pendekatan empiris yang diusulkan oleh metode Hwang dkk (2004), metode Sonmez dan Gokceoglu (2005), dan metode Juang dkk (2008).

#### **5.2 Data Tes Lapangan N-SPT**

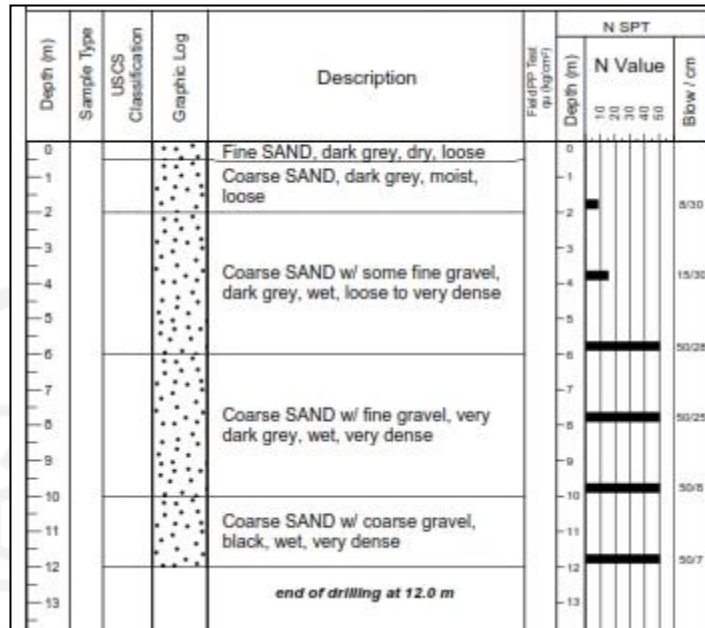
Data lapangan yang digunakan dalam analisis studi Tugas Akhir ini merupakan data sekunder yang didapat dari proyek bandara NYIA di Desa Glagah dan Desa Palihan, Kecamatan Temon, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Adapun data NSPT bandara *New Yogyakarta International Airport* (NYIA) di Desa Glagah dan Desa Palihan untuk DB-81, DB-79, DB-21 dan DB-38 dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.4 berikut, untuk 8 titik yang lain dapat dilihat pada lampiran 3.



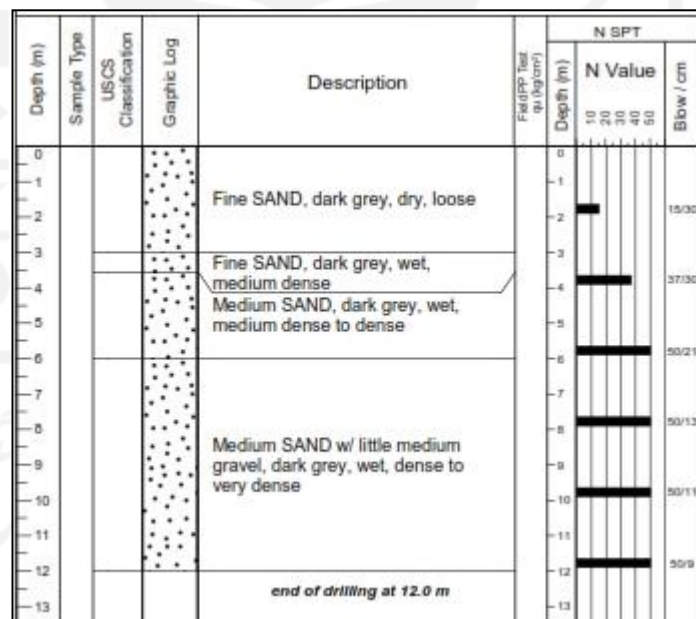
Gambar 5.1 Data N-SPT titik DB-81 di Desa Glagah (Sumber : NSE, 2017)



Gambar 5.2 Data N-SPT titik DB-79 di Desa Glagah (Sumber : NSE, 2017)



Gambar 5.3 Data N-SPT titik DB-21 di Desa palihan  
(Sumber : NSE, 2017)



Gambar 5.4 Data N-SPT titik DB-38 di Desa Palihan  
(Sumber : NSE, 2017)

Diperlukan pula data propertis tanah dalam perhitungan analisis potensi likuifaksi yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut, lebih lengkapnya dapat dilihat di Lampiran 4.

**Tabel 5.1 Propertis Tanah Titik Bor DB-81, DB-79, DB-021, DB-38**

Bore Hole	Muka Air Tanah (m)	Dept (m)	Gs	$\gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )	n
DB-81	5,6	1 - 2	3,24	11,982	0,64
		2 - 3	3,05	11,976	0,61
		8 - 9	3,07	14,251	0,54
		15 - 16	2,83	13,971	0,62
DB-79	5,15	2-3	3,12	11,606	0,62
		4 - 5	3,84	16,805	0,55
		7 - 8	3,06	17,662	0,41
		11 - 12	2,95	15,07	0,48
DB-21	2,09	2 - 3	2,87	13,039	0,54
		4 - 5	2,82	13,006	0,53
		7 - 8	2,81	19,06	0,31
		11 - 12	2,83	19,724	0,29
DB - 38	2,06	1 - 2	3,47	14,01	0,6
		4 - 8	3,16	14,75	0,54
		10 - 11	2,83	15,5	0,46
		12 - 14	2,85	14,79	0,49

Sumber : NSE (2017)

### 5.3 Penentuan Nilai Percepatan Gempa di Permukaan Tanah

Berdasarkan SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, percepatan tanah maksimum untuk evaluasi likuifaksi menggunakan percepatan puncak  $MCE_G$ . Perhitungan amaks diperoleh dari nilai  $PGA_M$  dengan menggunakan Persamaan (3.1) berikut.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA$$

PGA adalah percepatan tanah puncak terpetakan yang diperoleh dari Gambar 3.1. Dalam peta PGA, nilai PGA Desa Glagah didapat 0,5 g.  $F_{PGA}$  adalah koefisien situs yang didapat dari Tabel 3.3 tanah Glagah merupakan tanah sedang (SD) dengan N antara 15 sampai 50 dan PGA 0,5 g maka nilai  $F_{PGA}$  adalah 1,1.

Maka nilai amaks dapat dihitung sebagai berikut.

$$\alpha_{max} = \text{PGA}_M = 1,1 \cdot 0,5$$

$$\alpha_{max} = \text{PGA}_M = 0,55$$

#### 5.4 Analisis Likuifaksi Metode Determinan

Analisis ini ditujukan untuk mencari potensi kejadian likuifaksi berdasarkan nilai FS (*Factor of Safety*) atau faktor keamanan dengan menggunakan metode yang direkomendasikan oleh *National Centre For Earthquake Engineering Research* (NCEER). Dimana FS merupakan perbandingan dari nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dan *cyclic resistance ratio* (CRR). CSR dan CRR merupakan parameter yang akan dipakai untuk menganalisis probabilitas likuifaksi pada perhitungan selanjutnya.

Pada bab V ini akan ditampilkan perhitungan pada titik DB-81, sedangkan untuk titik yang lain akan ditampilkan hasil analisisnya pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Diketahui data muka air tanah pada titik DB-81 Desa Glagah adalah 5,6 m dan  $\gamma$  pada kedalaman 1-2 meter = 11,982 kN/m<sup>3</sup>,  $\gamma$  pada kedalaman 2–3 meter 11,796 kN/m<sup>3</sup> dan  $\gamma$  pada kedalaman 8–9 meter = 14,251 kN/m<sup>3</sup>. Berikut merupakan langkah–langkah analisis likuifaksi metode determinan.

##### 5.4.1 Pehitungan Nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) setiap Lapisan Tanah

1. Tegangan vertikal total ( $\sigma_v$ ) dan Tegangan vertikal efektif ( $\sigma'_v$ )

a. Kedalaman 2 meter

Tanah bukan tanah jenuh air maka perhitungan menggunakan persamaan (3.12) sebagai berikut.

$$\sigma_v = \sigma'_v = \sum (h \times \gamma)$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 2 \times 11,982$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 23,964 \text{ kN/m}^3$$

## b. Kedalaman 4 m

Tanah bukan tanah jenuh air maka perhitungan menggunakan Persamaan (3.12) sebagai berikut.

$$\sigma_v = \sigma'_v = \sum (h \times \gamma)$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = (2 \times 11,982) + ((4-2) \times 11,796)$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 47,916 \text{ kN/m}^3$$

## c. Kedalaman 5,6 m (batas muka air tanah)

Tanah bukan tanah jenuh air maka perhitungan menggunakan Persamaan (3.12) sebagai berikut.

$$\sigma_v = \sigma'_v = \sum (h \times \gamma)$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = (2 \times 11,982) + ((4-2) \times 11,796) + ((5,6-4) \times 11,796)$$

$$\sigma_v = \sigma'_v = 67,078 \text{ kN/m}^3$$

## d. Kedalaman 6 m

Lapisan tanah kedalaman 5,6 m hingga 6 m merupakan tanah jenuh air maka perhitungan menjadi tegangan yang terjadi diatas permukaan air ditambah dengan tegangan yang berada di bawah muka air hingga kedalaman tertentu. Perhitungan tegangan normal dan efektif dapat dilihat pada rangkaian perhitungan berikut.

1) Perhitungan angka pori menggunakan Persamaan (5.1) berikut.

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (5.1)$$

$$e = \frac{0,61}{1-0,61} = 1,56$$

2) Perhitungan  $\gamma_{sat}$  menggunakan Persamaan (3.41) berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s+e)}{1+e} \quad (5.2)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{9,81(3,05+1,564)}{1+1,564}$$

$$\gamma_{sat} = 17,653 \text{ kN/m}^3$$

Maka tegangan vertikal total dan efektif tanah pada kedalaman 6 m sebagai berikut.

$$\sigma_v = \sum (h \times \gamma)$$

$$\sigma_v = (67,078) + ((6-5,6) \times 17,653)$$

$$\sigma_v = 74,139 \text{ kN/m}^3$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - \mu$$

$$\sigma'_v = 74,139 - ((6-5,6) \times 9,81)$$

$$\sigma'_v = 70,215 \text{ kN/m}^3$$

Untuk perhitungan selanjutnya pada DB-81 akan ditampilkan perhitungan pada lapisan 1 di kedalaman 2 meter. Sedangkan untuk hasil analisis pada kedalaman berikutnya dan pada 11 titik yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8.

## 2. Faktor reduksi tegangan ( $r_d$ )

$$r_d = 1,00 - 0,00765z$$

$$r_d = 1,00 - 0,00765 \times 2$$

$$r_d = 0,985$$

## 3. Cyclic Stress Ratio (CSR)

$$CSR = 0,65 \times \frac{a_{max} \cdot \sigma_v}{g \cdot \sigma'_v} \times r_d$$

$$CSR = 0,65 \times \frac{0,5 \cdot 23,964}{9,81 \cdot 23,964} \times 0,985$$

$$CSR = 0,320$$

### 5.4.2 Perhitungan Nilai *Cyclic Resistan Ratio* ( CRR ) Setiap Lapisan Tanah

#### 1. Factor for normalize ( $C_N$ )

$$C_N = \left( \frac{2,2}{1,2 + \frac{\sigma_v}{Pa}} \right)$$

$$C_N = \left( \frac{2,2}{1,2 + \frac{23,961}{98,066}} \right)$$

$$C_N = 1,523$$

#### 2. Correction Standard Penetration Resistance ( $(N_1)_{60}$ )

$$\begin{aligned} (N_1)_{60} &= N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \\ &= 9 \times 1,523 \times 1 \times 1 \times 0,75 \times 1 \\ &= 10,2813 \end{aligned}$$

#### 3. $(N_1)_{60}$ adjusted to equivalent clean sand value ( $(N_1)_{60cs}$ )

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

$$(N_1)_{60cs} = 0 + 1 \times (10,2813)$$

$$(N_1)_{60cs} = 10,2813$$

#### 4. Cyclic Resistance Ratio ( $CRR_{7,5}$ )

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - 10,2813} + \frac{10,2813}{135} + \frac{50}{(10 \times 10,2813 + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

$$CRR_{7,5} = 0,11561$$



CRR untuk magnitude 6,5

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_W^{2,56}} = \frac{10^{2,24}}{6,5^{2,56}} = 1,44192$$

$$CRR_{6,5} = CRR_{7,5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$$

$$CRR_{6,5} = 0,11561 * 1,44192 * 1 * 1$$

$$CRR_{6,5} = 0,1667$$

CRR untuk magnitude 8,5

$$MSF = \left(\frac{M_W}{7,5}\right)^{-2,56} = \left(\frac{8,5}{7,5}\right)^{-2,56} = 0,72585$$

$$CRR_{8,5} = CRR_{7,5} * MSF * K_\sigma * K_\alpha$$

$$CRR_{8,5} = 0,11561 * 0,72585 * 1 * 1$$

$$CRR_{8,5} = 0,08391$$

##### 5. Safety Factor (SF)

$$SF_{M_W=7,5} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,11561}{0,320} = 0,36124 < 1 \text{ artinya secara determinan "Likuifaksi"}$$

$$SF_{M_W=6,5} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,1667}{0,320} = 0,52088 < 1 \text{ artinya secara determinan "Likuifaksi"}$$

$$SF_{M_W=8,5} = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,08391}{0,320} = 0,26221 < 1 \text{ artinya secara determinan "Likuifaksi"}$$

Untuk hasil analisis potensi likuifaksi dengan metode determinan di 7 titik di Desa Glagah dan 5 titik di Desa Palihan dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan 5.8 berikut.

**Tabel 5.2 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan di Desa Glagah**

Titik Bor	Lapisan	H (m)	h	Jenis Tanah	Gs	$\alpha_{max}/g$	N - SPT		FC (%)	MSF	Density		rd	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma'_v$ kN/m <sup>2</sup>	CSR kN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60CS</sub>	CRR 7.5	SF	Cek Metode Determinan
							Blow	cm			γd(kN/m <sup>3</sup> )	γsat(kN/m <sup>3</sup> )									
DB - 81	1	2	2	Fine SAND	3,24	0,55	9	30	4,46	1	11,982	17,721	0,985	23,964	23,964	0,352	10,281	10,281	0,116	0,328	LIKUIFAKSI
	2	4	2	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	11,976	17,653	0,969	47,916	47,916	0,347	15,634	15,634	0,166	0,480	LIKUIFAKSI
	3	5,6	1,6	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	11,976	17,653	0,957	67,078	67,078	0,342	14,013	14,013	0,150	0,439	LIKUIFAKSI
	3	6	0,4	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	11,976	17,653	0,954	74,139	70,215	0,360	13,779	13,779	0,148	0,411	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Fine SAND	3,07	0,55	14	30	11,37	1	14,251	19,151	0,939	112,441	88,897	0,425	10,966	11,773	0,123	0,290	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Fine SAND	3,07	0,55	50	19	11,37	1	14,251	19,151	0,907	150,743	107,579	0,454	56,710	55,305	0,368	0,811	LIKUIFAKSI
	6	12	2	Fine SAND	3,07	0,55	50	25	11,37	1	14,251	19,151	0,854	189,045	126,261	0,457	39,799	39,212	0,098	0,215	LIKUIFAKSI
	7	14	2	Medium SAND	3,07	0,55	50	18	11,37	1	14,251	19,151	0,800	227,347	144,943	0,449	51,344	50,199	0,314	0,699	LIKUIFAKSI
DB - 79	8	16	2	Medium SAND	2,83	0,55	50	15	0,92	1	13,971	18,427	0,747	264,202	162,178	0,435	57,818	57,818	0,381	0,877	LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,12	0,55	11	30	7,91	1	11,606	17,713	0,985	23,212	23,212	0,352	12,633	12,505	0,137	0,389	LIKUIFAKSI
	2	4	2	Fine SAND	3,84	0,55	13	30	0,86	1	16,805	22,347	0,969	56,822	56,822	0,347	12,054	12,054	0,132	0,380	LIKUIFAKSI
	3	5,15	1,15	Fine SAND	3,84	0,55	13	30	0,86	1	16,805	22,347	0,961	76,148	76,148	0,343	10,853	10,853	0,121	0,352	LIKUIFAKSI
	3	6	0,85	Fine SAND	3,84	0,55	21	30	0,86	1	16,805	22,347	0,954	95,143	86,804	0,374	16,617	16,617	0,177	0,473	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	3,06	0,55	50	20	3,56	1	17,662	21,733	0,939	138,609	110,651	0,420	53,150	53,150	0,337	0,801	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	3,06	0,55	50	23	3,56	1	17,662	21,733	0,907	182,075	134,497	0,439	41,847	41,847	0,178	0,405	LIKUIFAKSI
DB - 34	6	12	2	Coarse SAND	2,95	0,55	50	11	0,73	1	15,070	19,757	0,854	221,590	154,391	0,438	81,100	81,100	0,575	1,312	TIDAK LIKUIFAKSI
	7	14	2	Coarse SAND	2,95	0,55	50	8	0,73	1	15,070	19,757	0,800	261,105	174,286	0,429	103,914	103,914	0,750	1,751	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	1,36	1,36	Fine SAND	3,41	0,55	11	30	0,99	1	12,917	18,558	0,990	17,567	17,567	0,354	13,160	13,160	0,142	0,402	LIKUIFAKSI
	1	2	0,64	Fine SAND	3,41	0,55	11	30	0,99	1	12,917	18,558	0,985	29,444	23,166	0,447	12,637	12,637	0,137	0,306	LIKUIFAKSI
	2	4	2	Fine SAND	3,4	0,55	14	30	1,61	1	14,237	19,463	0,969	68,370	42,472	0,558	14,145	14,145	0,152	0,272	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Coarse SAND	3,4	0,55	29	30	1,61	1	14,237	19,463	0,954	107,296	61,778	0,592	26,148	26,148	0,317	0,534	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Coarse SAND	3,04	0,55	50	27	1,3	1	14,512	19,216	0,939	145,728	80,589	0,607	45,339	45,339	0,243	0,400	LIKUIFAKSI
DB - 33	5	10	2	Coarse SAND	3,01	0,55	50	17	1,96	1	13,438	18,486	0,907	182,700	97,941	0,605	66,215	66,215	0,455	0,751	LIKUIFAKSI
	6	12	2	Coarse SAND	2,98	0,55	50	17	1,96	1	13,438	18,356	0,854	219,413	115,034	0,582	61,351	61,351	0,413	0,710	LIKUIFAKSI
	7	14	2	Coarse SAND	2,95	0,55	50	11	1,96	1	13,438	18,227	0,800	255,867	131,868	0,555	88,419	88,419	0,632	1,138	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	1,36	1,36	Fine SAND	3,54	0,55	8	30	5	1	13,189	19,2786	0,990	17,937	17,937	0,354	9,545	9,545	0,109	0,308	LIKUIFAKSI
	1	2	0,64	Fine SAND	3,54	0,55	8	30	5	1	13,189	19,2786	0,985	30,275	23,997	0,444	9,137	9,137	0,106	0,238	LIKUIFAKSI
	2	4	2	Fine SAND	3,54	0,55	17	30	5	1	13,189	19,2786	0,969	68,833	42,934	0,556	17,127	17,127	0,182	0,328	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Coarse SAND	3,51	0,55	50	27	5	1	15,51	20,8904	0,954	110,613	65,095	0,580	49,183	49,183	0,294	0,507	LIKUIFAKSI
DB - 13	4	8	2	Coarse SAND	3,51	0,55	50	23	5	1	15,51	20,8904	0,939	152,394	87,256	0,586	51,493	51,493	0,319	0,545	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Coarse SAND	3,55	0,55	50	8	5	1	14,607	20,3165	0,907	193,027	108,269	0,578	134,275	134,275	0,980	1,695	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Coarse SAND	3,49	0,55	50	11	5	1	14,74	20,3136	0,854	233,654	129,276	0,552	89,348	89,348	0,639	1,158	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,32	0,55	15	30	8,78	1	12,117	18,231	0,985	24,234	24,234	0,352	17,103	16,981	0,182	0,516	LIKUIFAKSI
	2	4	2	Fine SAND	3,33	0,55	18	30	1,02	1	12,117	18,267	0,969	48,468	48,468	0,347	17,530	17,530	0,187	0,538	LIKUIFAKSI
	3	5,21	1,21	Fine SAND	3,33	0,55	18	30	1,02	1	12,117	18,267	0,960	63,130	63,130	0,343	16,109	16,109	0,171	0,499	LIKUIFAKSI
	3	6	0,79	Fine SAND	3,35	0,55	25	30	1,02	1	12,117	18,340	0,954	77,618	69,868	0,379	21,569	21,569	0,236	0,623	LIKUIFAKSI
DB - 13	4	8	2	Medium SAND	3,04	0,55	50	29	4,79	1	12,117	18,015	0,939	113,648	86,278	0,442	41,035	41,035	0,157	0,355	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	3,04	0,55	50	13	4,79	1	16,42	20,817	0,907	155,282	108,292	0,465	82,622	82,622	0,587	1,261	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Medium SAND	3,12	0,55	50	11	4,15	1	17,427	21,664	0,854	198,611	132,001	0,459	88,373	88,373	0,631	1,375	TIDAK LIKUIFAKSI
	7	14	2	Coarse SAND	3,12	0,55	50	8	4,15	1	18,43	22,288	0,800	243,187	156,957	0,443	110,470	110,470	0,800	1,805	TIDAK LIKUIFAKSI

Lanjutan Tabel 5.2 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan di Desa Glagah

Titik Bor	Lapisan	H	h	Jenis Tanah	Gs	$\alpha_{max}/g$	N - SPT		FC (%)	MSF	Density		rd	$\sigma_s$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma'_s$ kN/m <sup>2</sup>	CSR kN/m <sup>2</sup>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60CS</sub>	CRR 7.5	SF	Cek
		(m)					Blow	cm			yd(kN/m <sup>3</sup> )	ysat(kN/m <sup>3</sup> )									Metode Determinan
DB - 47	1	2	2	Fine SAND	3,04	0,55	9	30	15,7	1	12,318	18,015	0,985	24,636	24,636	0,352	10,233	12,183	0,119	0,338	LIKUIFAKSI
	2	2,71	0,71	Fine SAND	3,04	0,55	9	30	15,7	1	12,318	18,015	0,979	49,272	49,272	0,350	8,723	10,782	0,106	0,301	LIKUIFAKSI
	2	4	1,29	Fine SAND	3,01	0,55	20	30	5,53	1	13,225	18,683	0,969	73,373	60,718	0,419	18,140	17,735	0,192	0,458	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Fine SAND	2,94	0,55	50	23	0,71	1	13,371	18,564	0,954	110,502	78,227	0,482	53,866	53,866	0,344	0,714	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	2,85	0,55	50	20	0,59	1	12,236	17,795	0,939	146,093	94,198	0,521	57,277	57,277	0,376	0,723	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	2,8	0,55	50	11	0,59	1	13,505	18,462	0,907	183,018	111,503	0,532	96,277	96,277	0,692	1,301	TIDAK LIKUIFAKSI
DB - 46	6	12	2	Medium SAND	2,736	0,55	50	8	0,59	1	13,197	18,155	0,854	219,327	128,192	0,522	123,394	123,394	0,898	1,720	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,12	0,55	8	30	22,38	1	12,642	18,337	0,985	25,284	25,284	0,352	9,055	11,983	0,110	0,313	LIKUIFAKSI
	2	3,63	1,63	Fine SAND	3,12	0,55	8	30	22,38	1	12,642	18,337	0,972	50,568	50,568	0,348	7,694	10,780	0,098	0,283	LIKUIFAKSI
	2	4	0,37	Fine SAND	2,97	0,55	10	30	11,99	1	13,049	18,507	0,969	57,415	53,786	0,370	9,437	10,501	0,110	0,297	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Medium SAND	3,24	0,55	50	23	5	1	14,735	19,918	0,954	97,252	74,002	0,448	55,054	55,054	0,355	0,793	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	2,89	0,55	50	20	4,7	1	13,939	18,895	0,939	135,042	92,172	0,492	57,830	57,830	0,382	0,776	LIKUIFAKSI
DB - 46	5	10	2	Medium SAND	2,89	0,55	50	24	4,7	1	13,939	18,895	0,907	172,832	110,342	0,508	44,351	44,351	0,227	0,447	LIKUIFAKSI
	6	12	2	Coarse SAND	2,89	0,55	50	19	4,7	1	13,94	18,895	0,854	210,622	128,512	0,500	51,888	51,888	0,324	0,647	LIKUIFAKSI

Tabel 5.3 Rekapitulasi Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Determinan di Desa Palihan

Titik Bor	Lapisan	H		Jenis Tanah	Gs	$\alpha_{max}/g$	N - SPT		FC (%)	MSF	Density		rd	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma'_v$ kN/m <sup>2</sup>	CSR kN/m <sup>2</sup>	(N1)60	(N <sub>1</sub> ) <sub>60cs</sub>	CRR 7.5	SF	Cek Metode Determinan
		h	(m)				Blow	cm			yd(kN/m <sup>3</sup> )	ysat(kN/m <sup>3</sup> )									
DB - 15	1	2	2	Fine SAND	3,35	0,55	12	30	8,71	1	15,22	19,723	0,985	30,44	30,440	0,352	13,109	13,116	0,142	0,402	LIKUIFAKSI
	2	3,15	1,15	Fine SAND	3,35	0,55	12	30	8,71	1	15,22	19,723	0,976	47,943	47,943	0,349	11,724	11,780	0,129	0,369	LIKUIFAKSI
	2	4	0,85	Fine SAND	3,3	0,55	5	30	6,59	1	15,22	19,512	0,969	64,528	56,190	0,398	4,653	4,601	0,069	0,175	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Fine SAND	3	0,55	50	22	0,08	1	13,63	18,443	0,954	101,414	73,455	0,471	57,721	57,721	0,381	0,808	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	1,98	0,55	50	18	0,52	1	13,63	14,040	0,939	129,494	81,916	0,531	67,557	67,557	0,466	0,878	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	1,98	0,55	50	20	0,52	1	13,43	14,232	0,907	157,959	90,760	0,564	58,222	58,222	0,385	0,682	LIKUIFAKSI
DB - 21	6	12	2	Medium SAND	1,98	0,55	50	14	0,52	1	13,8	14,425	0,854	186,808	99,989	0,570	79,647	79,647	0,563	0,988	LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	2,87	0,55	8	30	0,84	1	13,039	18,306	0,985	26,078	26,078	0,352	9,005	9,005	0,104	0,297	LIKUIFAKSI
	2	2,09	0,09	Fine SAND	2,87	0,55	8	30	0,84	1	13,039	18,306	0,984	27,252	27,252	0,352	8,932	8,932	0,104	0,295	LIKUIFAKSI
	2	4	1,91	Coarse SAND	2,82	0,55	15	30	1,17	1	13,006	18,204	0,969	62,021	43,284	0,497	15,079	15,079	0,161	0,324	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Coarse SAND	2,82	0,55	50	28	1,17	1	12,812	18,079	0,954	98,179	59,821	0,560	48,836	48,836	0,290	0,517	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Coarse SAND	2,81	0,55	50	25	0,83	1	19,344	22,270	0,939	142,719	84,741	0,565	47,962	47,962	0,279	0,493	LIKUIFAKSI
DB - 22	5	10	2	Coarse SAND	2,81	0,55	50	8	0,83	1	19,060	22,087	0,907	186,893	109,296	0,554	133,668	133,668	0,975	1,759	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Coarse SAND	2,83	0,55	50	7	0,8	1	19,724	22,564	0,854	232,021	134,804	0,525	137,329	137,329	1,003	1,909	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,47	0,55	20	30	3,25	1	14,06	19,987	0,985	28,120	28,120	0,352	22,196	22,196	0,245	0,695	LIKUIFAKSI
	2	3,16	1,16	Fine SAND	3,47	0,55	20	30	3,25	1	14,06	19,987	0,976	44,430	44,430	0,349	19,963	19,963	0,215	0,616	LIKUIFAKSI
	2	4	0,84	Fine SAND	3,2	0,55	17	30	0,52	1	14,06	18,874	0,969	60,284	52,044	0,401	16,207	16,207	0,172	0,430	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Fine SAND	3,54	0,55	50	28	0,45	1	16,1	21,272	0,954	102,828	74,968	0,468	44,996	44,996	0,238	0,508	LIKUIFAKSI
DB - 38	4	8	2	Medium SAND	3	0,55	50	26	0,31	1	12,88	18,247	0,939	139,321	91,841	0,509	44,555	44,555	0,230	0,453	LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	3	0,55	50	11	0,31	1	14,47	19,228	0,907	177,777	110,676	0,521	96,625	96,625	0,695	1,334	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Medium SAND	3	0,55	50	9	0,31	1	14,47	19,228	0,854	216,232	129,511	0,509	109,099	109,099	0,790	1,550	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,47	0,55	15	30	2,17	1	14,01	19,502	0,985	28,020	28,020	0,352	16,659	16,659	0,177	0,503	LIKUIFAKSI
	2	2,06	0,06	Fine SAND	3,47	0,55	15	30	2,17	1	14,01	19,502	0,984	28,861	28,861	0,352	16,563	16,563	0,176	0,501	LIKUIFAKSI
	2	4	1,94	Fine SAND	3,16	0,55	37	30	0,87	1	14,75	19,557	0,969	66,802	47,770	0,485	36,186	36,186	0,194	0,401	LIKUIFAKSI
DB - 44	3	6	2	Medium SAND	3,16	0,55	50	21	0,66	1	14,75	19,557	0,954	105,916	67,265	0,537	62,493	62,493	0,423	0,787	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	2,83	0,55	50	13	0,44	1	14,75	18,068	0,939	142,052	83,781	0,569	92,675	92,675	0,664	1,168	TIDAK LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	2,83	0,55	50	11	0,44	1	15,51	19,504	0,907	181,061	103,169	0,569	99,909	99,909	0,720	1,265	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Medium SAND	2,85	0,55	50	9	0,44	1	14,79	19,066	0,854	219,192	121,681	0,550	112,668	112,668	0,817	1,486	TIDAK LIKUIFAKSI
	1	2	2	Fine SAND	3,44	0,55	12	30	2,17	1	14,01	19,385	0,985	28,020	28,020	0,352	13,327	13,327	0,144	0,408	LIKUIFAKSI
	2	3,25	1,25	Fine SAND	3,44	0,55	12	30	2,17	1	14,01	19,385	0,975	45,533	45,533	0,349	11,897	11,897	0,130	0,374	LIKUIFAKSI
DB - 44	2	4	0,75	Fine SAND	3,38	0,55	19	30	0,87	1	14,01	20,550	0,969	60,945	53,587	0,394	17,951	17,951	0,191	0,485	LIKUIFAKSI
	3	6	2	Fine SAND	3,17	0,55	50	19	0,66	1	14,75	19,602	0,954	100,150	73,172	0,467	66,934	66,934	0,461	0,986	LIKUIFAKSI
	4	8	2	Medium SAND	3,04	0,55	50	11	0,44	1	14,75	19,016	0,939	138,181	91,584	0,506	105,441	105,441	0,762	1,505	TIDAK LIKUIFAKSI
	5	10	2	Medium SAND	3,04	0,55	50	9	0,44	1	15,51	20,617	0,907	179,414	113,197	0,514	116,808	116,808	0,848	1,650	TIDAK LIKUIFAKSI
	6	12	2	Medium SAND	3,04	0,55	50	8	0,44	1	14,79	20,016	0,854	219,447	133,610	0,501	120,734	120,734	0,878	1,751	TIDAK LIKUIFAKSI

## 5.5 Analisis Likuifaksi Metode Probabilitas

### 5.5.1 Metode Haldar & Tang ( 1979 )

#### 1. Koefisien Variansi *Cyclic Shear Stess Ratio*

Dari Persamaan (3.11) rumus *cyclic shear stress ratio* adalah :

$$CSR = 0,65 \times \frac{\alpha_{max} \cdot \sigma_v}{g \cdot \sigma'_v} \times r_d$$

dengan  $SL = 0,65$  dan  $g = 9,81 \text{ m/det}^2$  merupakan suatu nilai konstan maka koefisien variansi dari CSR yang memenuhi persamaan (3.11) terdiri dari:

$\Omega_1$ = koefisien variansi model persamaan CSR,

$\Omega_2$ = koefisien variansi percepatan maksimum dipermukaan ( $\alpha_{max}$ ),

$\Omega_3$ = koefisien variansi tekanan total vertikal ( $\sigma_v$ ),

$\Omega_4$ = koefisien variansi tekanan efektif vertikal ( $\sigma'_v$ ),

$\Omega_5$ = koefisien variansi faktor reduksi tegangan geser tanah ( $r_d$ ),

#### a. Pengaruh Model Persamaan

Arifin (2002) dalam Monalisa (2014) menyebutkan Haldar dan Tang memperhitungkan kesalahan model dengan variansi sebesar  $\Omega_1 = 0,1$  dan nilai rata-rata sebesar 1,0.

#### b. Pengaruh Percepatan Gempa Maksimum

Arifin (2002) dalam Monalisa (2014) menyebutkan pada analisis ini percepatan maksimum dipermukaan tanah,  $\alpha_{max}$  didapatkan dengan menggunakan faktor amplifikasi dari percepatan maksimum pada batuan dasar, PGA yang mana diketahui koefisien variansi nya sebesar 0,2 sehingga jika besarnya faktor amplifikasi diketahui maka koefisien variansinya juga dapat dihitung dengan persamaan (5.3) berikut.

$$\Omega_2 = \frac{\sqrt{(PGA \cdot 0,2)^2 F_{PGA}^2}}{PGA_M} \quad (5.3)$$

c. Pengaruh Tekanan Total Tanah

Tekanan total dihitung dengan persamaan (3.12) berikut.

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sum (h \times \gamma) \\ &= \sum ((h \times \gamma) + (h_w \times \gamma_w))\end{aligned}$$

Arifin (2002) dalam Monalisa (2014) menyebutkan dimana dalam hal ini  $h$  dan  $h_w$  diketahui dan untuk analisis sesuai yang diajukan oleh Haldar dan Tang koefisien variansi dari  $\gamma$  dan  $\gamma_w$  adalah 0,01 dan koefisien variansi  $h_w = 0,6$  sehingga variansi dari tekanan total dapat dituliskan ke dalam persamaan (5.4) berikut.

$$\Omega_3 = \frac{\sqrt{(0,01 \cdot \gamma)^2 \cdot h^2 + (0,6 \cdot h_w)^2 \cdot \gamma_w}}{E\{\sigma_v\}} \quad (5.4)$$

d. Pengaruh Tekanan Efektif Tanah

Tekanan efektif pada setiap kedalaman  $h$  dihitung dengan persamaan (3.13) berikut.

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \sigma_v - \mu \\ &= (h \times \gamma) - (h_w \times \gamma_w) \\ &= (\gamma - \gamma_w) h \\ &= \gamma' \cdot h\end{aligned}$$

Arifin (2002) dalam Monalisa (2014) menyebutkan untuk  $h$  yang diketahui dan koefisien variansi  $\gamma'$  adalah 0,01, maka variansinya dapat dihitung dengan persamaan (5.5) berikut.

$$\Omega_4 = \frac{\sqrt{(0,01 \cdot \gamma')^2 \cdot h^2}}{E\{\sigma'_v\}} \quad (5.5)$$

e. Pengaruh Faktor Reduksi Fleksibilitas Tanah

Arifin (2002) dalam Monalisa (2014) menyatakan dengan menganggap bahwa kurva faktor reduksi menggambarkan nilai rata-rata dari  $rd$  yang terdistribusi secara merata diantara nilai tertinggi dan terendah maka mean

dan koefisien variansinya dapat dihitung untuk  $0 \leq h \leq 30$  m (Persamaan (3.7), (3.8), (3.9), dan (3.10)),

$$E\{rd\} = 1,00 - 0,00765z \text{ untuk } z \leq 9,15 \text{ m,}$$

$$E\{rd\} = 1,174 - 0,0267z \text{ untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m,}$$

$$E\{rd\} = 0,744 - 0,008z \text{ untuk } 23 \leq z \leq 30 \text{ m,}$$

$$E\{rd\} = 0,5z \text{ untuk } z \geq 23 \text{ m,}$$

dengan variansinya didapatkan sebesar 0,17789 sehingga koefisien variansinya dapat dihitung dengan persamaan (5.6) berikut.

$$\Omega_5 = \frac{\sqrt{0,17789^2}}{E\{rd\}} \quad (5.6)$$

Berikut merupakan hasil analisis perhitungan koefisien variansi CSR dengan data tanah pada Titik DB-81 yang disajikan pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Rekapitulasi Hasil Analisis Perhitungan Koefisien Variansi CSR Pada Titik DB-81**

H	h	CSR	$\Omega_1$	$\Omega_2$	$\Omega_3$	$\Omega_4$	$\Omega_5$	$\Omega^2 \text{CSR}$
2	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089
4	2	0,347	0,1	0,2	0,015	0,015	0,184	0,091
5,6	1,6	0,342	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,093
6	0,4	0,360	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,091
8	2	0,425	0,1	0,2	0,020	0,020	0,189	0,086
10	2	0,454	0,1	0,2	0,022	0,022	0,196	0,087
12	2	0,457	0,1	0,2	0,023	0,024	0,208	0,092
14	2	0,449	0,1	0,2	0,024	0,025	0,222	0,099
16	2	0,435	0,1	0,2	0,025	0,026	0,238	0,108

## 2. Koefisien Variansi *Shear Strength Ratio* (CRR)

Dari Persamaan (3.23) menentukan *Cyclic Shear Strength Ratio* (CRR) berikut.

$$CRR_{M_w} = CRR_{7,5} * MSF$$

Maka koefisien variansi yang memenuhi persamaan CRR terdiri dari:

$\Omega_1$  = koefisien variansi model persamaan CRR,

$\Omega_2$  = koefisien variansi model CRR untuk  $M_w=7,5$  dan nilai  $(N_1)_{60}$ ,

$\Omega_3$  = koefisien variansi *magnitude scaling factor*.

### a. Pengaruh Model Persamaan

Koefisien variansi model persamaan CRR dapat diperhitungkan dengan persamaan (5.7) sebagai berikut.

$$\Omega_1 = \frac{\sqrt{\text{Var}(CRR)}}{E\{CRR\}} \quad (5.7)$$

### b. Pengaruh *Cyclic Shear Strength* $M_w=7,5$ , $(N_1)_{60cs}$

Jika dianggap persamaan *Cyclic Shear Strength* dari hubungan nilai N-SPT menunjukkan nilai rata-ratanya maka dapat dituliskan :

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

dimana pengaruh kandungan butir halus diperhitungkan terhadap nilai CRR maka nilai N-SPT nya sesuai persamaan menjadi :

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

sehingga persamaan (3.15) menjadi persamaan (3.19) berikut.

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

dari persamaan ini terlihat bahwa nilai CRR tergantung pada  $(N_1)_{60cs}$  dan Magnitude gempa  $M_w=7,5$  dan karena nilai magnitude gempanya telah



ditentukan maka variansinya hanya tergantung pada variansi  $(N_1)_{60cs}$  yang ditentukan dari persamaan (3.18) sebagai berikut.

$$E\{(N_1)_{60cs}\} = \alpha + \beta (N_1)_{60}$$

dengan  $\alpha$  dan  $\beta$  ditentukan dari besarnya kandungan halus (FC), maka koefisien variansinya dapat dihitung dengan persamaan (5.8) berikut.

$$\Omega_2 = \frac{\sqrt{\text{Var} \{(N_1)_{60cs}\}}}{E \{(N_1)_{60cs}\}} \quad (5.8)$$

c. Pengaruh Magnitude Gempa Tidak Sama dengan 7,5

Untuk magnitude gempa sama dengan 7,5 didapatkan nilai koefisien variansinya adalah 0. Sedangkan untuk magnitud gempa yang tidak sama dengan 7,5 dilakukan koreksi magnitude berupa *magnitude scaling factor* yang mana ditentukan dari nilai yang diusulkan oleh Idriss, 2003 dan setelah dilakukan regresi memenuhi persamaan (3.21) dan (3.22).

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M_W^{2,56}} \quad \text{untuk magnitude} < 7,5$$

$$MSF = \left( \frac{M_W}{7,5} \right)^{-2,56} \quad \text{untuk magnitude} < 7,5$$

Persamaan ini memberikan variansi sebesar 0,562367 sehingga koefisien variansi akibat pengaruh magnitude yang diperhitungkan dalam analisis ini dapat dihitung dengan persamaan (5.9) berikut.

$$\Omega_3 = \frac{\sqrt{0,562367^2}}{E \{MSF\}} \quad (5.9)$$

Tabel 5.5 berikut merupakan hasil analisis perhitungan koefisien variansi CRR dengan  $M_{W=7,5}$  pada Titik DB-81.

**Tabel 5.5 Rekapitulasi Hasil Analisis Perhitungan Koefisien Variansi CRR dengan  $M_{W=7,5}$  Pada Titik DB-81**

H	h	CRR	$\Omega_1$	$\Omega_2$	$\Omega_3$	$\Omega^2\text{CRR}$
2	2	0,116	1,0	2,0	0,5624	11,852
4	2	0,166	0,7	1,3	0,5624	4,303
5,6	1,6	0,150	0,8	1,5	0,5624	5,677
6	0,4	0,148	0,8	1,5	0,5624	5,988
8	2	0,123	1,0	1,7	0,5624	9,505
10	2	0,368	0,3	0,4	0,5624	0,651
12	2	0,098	1,1	0,5	0,5624	2,890
14	2	0,314	0,3	0,4	0,5624	0,706
16	2	0,381	0,4	0,4	0,5624	0,749

### 3. Probabilitas Likuifaksi

Dari hasil analisis CSR, CRR, dan koefisien variansi, maka selanjutnya dilakukan perhitungan probabilitas likuifaksi dengan menggunakan Persamaan (4.1).

$$P_f = P(CRR \leq CSR) = 1 - \Phi(\beta) \left\{ \frac{\ln\left(\frac{CRR}{CSR} \sqrt{\frac{1+\Omega^2 CSR}{1+\Omega^2 CRR}}\right)}{\sqrt{\ln[(1+\Omega^2 CRR) \cdot (1+\Omega^2 CSR)]}} \right\}$$

Adapun hasil perhitungan besarnya probabilitas likuifaksi disetiap kedalaman dengan  $M_{W=7,5}$  pada titik DB-81 dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Metode Haldar dan Tang (1979) Pada Titik DB-81**

H	h	CSR	$\Omega^2\text{CSR}$	CRR	$\Omega^2\text{CRR}$	PL	PL (100%)
2	2	0,352	0,089	0,116	11,852	0,93	92,579
4	2	0,347	0,091	0,166	4,303	0,87	87,491
5,6	1,6	0,342	0,093	0,150	5,677	0,89	88,980
6	0,4	0,360	0,091	0,148	5,988	0,90	89,893
8	2	0,425	0,086	0,123	9,505	0,94	93,566
10	2	0,454	0,087	0,368	0,651	0,71	70,803
12	2	0,457	0,092	0,098	2,890	0,96	96,456
14	2	0,449	0,099	0,314	0,706	0,77	76,675
16	2	0,435	0,108	0,381	0,749	0,67	67,074

### 5.5.2 Metode Hwang dkk (2004)

Dengan persamaan (3.37) berikut contoh perhitungan analisis besarnya probabilitas likuifaksi dengan menggunakan metode Hwang dkk (2004) di kedalaman 2 meter pada titik DB-81 saat  $M_w = 7,5$  dan hasil perhitungan di kedalaman lain ditunjukkan pada Tabel 5.7.

$$P_L = 1 - \Phi \left( -0,013 \frac{\ln(FS)}{0,7758} \right)$$

$$P_L = 1 - \Phi \left( -0,013 \frac{\ln(0,3284)}{0,7758} \right) = 0,93$$

Saat  $M_w = 6,5$  ( $FS = 0,47357$ )

$$P_L = 1 - \Phi \left( -0,013 \frac{\ln(0,47357)}{0,7758} \right) = 0,84$$

Saat  $M_w = 0,85$  ( $FS = 0,23837$ )

$$P_L = 1 - \Phi \left( -0,013 \frac{\ln(0,23837)}{0,7758} \right) = 0,97$$

**Tabel 5.7 Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Hwang dkk (2004) Pada Titik DB-81**

H	h	FS	PL	PL (100%)
2	2	0,32840	0,93	92,624
4	2	0,48041	0,83	83,096
5,6	1,6	0,43920	0,86	85,849
6	0,4	0,41098	0,88	87,681
8	2	0,29048	0,95	94,592
10	2	0,81054	0,61	61,170
12	2	0,21489	0,98	97,698
14	2	0,69923	0,68	68,231
16	2	0,87698	0,57	57,229

Adapun untuk hasil perhitungan besarnya probabilitas likuifaksi metode Hwang dkk (2004) di kedalaman dan di titik yang lain dapat dilihat pada Tabel 10 dan Tabel 5.11.

### 5.5.3 Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005)

Dengan persamaan (3.38) berikut contoh perhitungan analisis besarnya probabilitas likuifaksi dengan menggunakan metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) di kedalaman 2 meter pada titik DB-81 saat  $M_w = 7,5$  dan hasil perhitungan di kedalaman lain ditunjukkan pada Tabel 5.8.

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{0,96}\right)^{4,5}}$$

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{0,96}\right)^{4,5}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,3284}{0,96}\right)^{4,5}} = 0,99$$

Saat  $M_w = 6,5$  ( $FS = 0,47357$ )

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{0,96}\right)^{4,5}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,47357}{0,96}\right)^{4,5}} = 0,96$$

Saat  $M_w = 0,85$  ( $FS = 0,23837$ )

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{0,96}\right)^{4,5}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,23837}{0,96}\right)^{4,5}} = 0,99$$

**Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) Pada Titik DB-81**

H	h	FS	PL	PL (100%)
2	2	0,32840	0,99	99,205
4	2	0,48041	0,96	95,752
5,6	1,6	0,43920	0,97	97,122
6	0,4	0,41098	0,98	97,850
8	2	0,29048	1,00	99,541
10	2	0,81054	0,68	68,169
12	2	0,21489	1,00	99,881
14	2	0,69923	0,81	80,632
16	2	0,87698	0,60	60,037

Adapun untuk hasil perhitungan besarnya probabilitas likuifaksi metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) di kedalaman dan di titik yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

#### 5.5.4 Metode Juang dkk (2008)

Dengan persamaan (3.39) berikut contoh perhitungan analisis besarnya probabilitas likuifaksi dengan menggunakan metode Juang dkk (2008) di kedalaman 2 meter pada titik DB-81 saat  $M_w = 7,5$  dan hasil perhitungan di kedalaman lain ditunjukkan pada Tabel 5.9.

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{1,905}\right)^{3,8}}$$

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{1,905}\right)^{3,8}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,3284}{1,905}\right)^{3,8}} = 0,99$$

Saat  $M_w = 6,5$  ( $FS = 0,47357$ )

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{1,905}\right)^{3,8}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,47357}{1,905}\right)^{3,8}} = 0,95$$

Saat  $M_w = 8,5$  ( $FS = 0,23837$ )

$$P_L = \frac{1}{\left(1 + \frac{FS}{1,905}\right)^{3,8}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,23837}{1,905}\right)^{3,8}} = 0,99$$

**Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Setiap Kedalaman dengan Metode Sonmez dan Gokceoglu (2005) Pada Titik DB-81**

H	h	FS	PL	PL (100%)
2	2	0,32840	0,99	98,807
4	2	0,48041	0,95	95,126
5,6	1,6	0,43920	0,96	96,484
6	0,4	0,41098	0,97	97,247
8	2	0,29048	0,99	99,248
10	2	0,81054	0,73	72,782
12	2	0,21489	1,00	99,760
14	2	0,69923	0,82	82,418
16	2	0,87698	0,66	66,468

Adapun untuk hasil perhitungan besarnya probabilitas likuifaksi metode Juang dkk (2008) di kedalaman dan di titik yang lain dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Desa Glagah**

DATA TANAH		PROBABILITAS (%)											
Titik Bor	Kedalaman (m)	Haldar & Tang (1979)			Hwang (2004)			Sonmez dan Gokceoglu (2005)			Juang dkk (2008)		
		Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5
81	2	92,58	88,68	94,98	92,62	83,56	96,87	99,21	96,01	99,81	98,81	95,37	99,64
	4	87,49	80,42	91,78	83,10	68,66	91,48	95,75	81,28	98,96	95,13	82,93	98,51
	6	88,98	82,92	92,68	85,85	72,64	93,14	97,12	86,67	99,30	96,48	87,23	98,93
	8	89,89	84,27	93,30	87,68	75,41	94,20	97,85	89,76	99,48	97,25	89,79	99,17
	10	93,57	89,93	95,72	94,59	87,18	97,83	99,54	97,66	99,89	99,25	97,05	99,78
	12	70,80	49,19	82,83	61,17	42,54	75,70	68,17	29,21	90,06	72,78	39,96	90,04
	14	96,46	93,55	97,84	97,70	93,61	99,20	99,88	99,39	99,97	99,76	99,04	99,93
	16	76,68	58,15	86,36	68,23	50,10	81,25	80,63	44,51	94,62	82,42	53,85	94,06
79	2	67,07	46,00	79,95	57,23	38,61	72,42	60,04	22,45	86,40	66,47	33,04	87,01
	4	92,32	89,08	94,50	89,09	77,62	94,99	98,32	91,85	99,60	97,76	91,58	99,33
	6	92,65	89,68	94,72	89,62	78,48	95,29	98,48	92,58	99,64	97,94	92,21	99,38
	8	93,44	90,82	95,27	91,32	81,30	96,19	98,92	94,66	99,74	98,46	94,09	99,54
	10	89,63	85,21	92,68	83,61	69,39	91,80	96,04	82,36	99,03	95,40	83,77	98,59
	12	74,76	61,43	83,56	61,77	43,16	76,19	69,35	30,36	90,54	73,69	41,08	90,44
	14	90,07	84,54	93,45	88,06	76,00	94,42	97,98	90,35	99,52	97,39	90,29	99,21
	16	49,54	28,43	66,67	36,81	20,94	53,03	19,70	4,51	50,92	30,02	9,65	59,18
34	2	31,05	11,43	52,08	23,91	11,88	38,36	6,27	1,27	22,05	12,53	3,44	32,61
	4	91,12	86,99	93,80	88,28	76,34	94,54	98,06	90,68	99,53	97,47	90,56	99,24
	6	93,46	90,46	95,49	93,79	85,67	97,44	99,42	97,04	99,86	99,08	96,40	99,73
	8	94,21	91,28	96,08	95,47	88,89	98,24	99,66	98,26	99,92	99,42	97,69	99,83
	10	85,56	77,21	90,68	79,41	63,64	89,13	93,31	72,89	98,33	92,87	76,42	97,78
	12	90,56	83,58	94,20	88,37	76,48	94,59	98,09	90,81	99,54	97,51	90,68	99,25
	14	74,72	57,10	84,86	64,85	46,40	78,65	75,06	36,71	92,72	78,09	47,01	92,33
	16	76,78	60,51	86,04	67,55	49,34	80,74	79,58	42,88	94,28	81,60	52,46	93,74
33	2	56,13	34,51	71,86	43,90	26,59	60,24	31,75	8,23	66,30	42,42	15,49	71,34
	4	95,16	93,30	96,43	93,69	85,48	97,39	99,40	96,96	99,86	99,06	96,32	99,72
	6	96,25	94,81	97,26	96,89	91,82	98,86	99,81	99,04	99,96	99,65	98,60	99,90
	8	93,48	90,68	95,38	92,65	83,61	96,88	99,21	96,03	99,81	98,81	95,40	99,65
	10	86,84	79,73	91,32	81,31	66,20	90,36	94,67	77,37	98,69	94,10	79,88	98,18
	12	85,48	77,58	90,42	78,68	62,70	88,66	92,75	71,12	98,18	92,36	75,06	97,61
	14	33,84	13,23	54,56	25,24	12,74	39,98	7,19	1,47	24,68	13,95	3,88	35,40
	16	55,25	33,47	71,32	43,00	25,85	59,35	30,05	7,64	64,50	40,79	14,64	69,95
13	2	88,97	84,30	92,13	80,70	65,36	89,97	94,25	75,95	98,58	93,72	78,78	98,05
	4	88,41	83,80	91,73	79,13	63,28	88,95	93,10	72,22	98,28	92,68	75,90	97,71
	6	89,67	85,58	92,59	81,81	66,88	90,68	94,99	78,49	98,77	94,40	80,75	98,27
	8	85,43	79,36	89,71	73,36	56,04	85,00	87,52	57,47	96,74	87,93	64,45	96,10
	10	91,84	87,61	94,48	91,10	80,93	96,08	98,87	94,41	99,73	98,40	93,86	99,52
	12	53,17	33,07	69,02	38,73	22,42	55,04	22,64	5,34	55,30	33,24	11,03	62,72
	14	47,65	26,86	65,03	34,55	19,24	50,62	16,57	3,69	45,65	26,42	8,20	54,82
	16	30,19	11,08	51,02	22,71	11,12	36,86	5,51	1,11	19,77	11,31	3,08	30,11
47	2	92,56	88,90	94,87	92,10	82,64	96,60	99,10	95,49	99,79	98,67	94,87	99,60
	4	93,55	90,40	95,54	94,05	86,14	97,57	99,46	97,25	99,87	99,14	96,61	99,74
	6	88,91	83,30	92,46	84,60	70,80	92,40	96,54	84,33	99,16	95,90	85,34	98,75
	8	77,16	61,99	85,94	67,29	49,05	80,54	79,16	42,26	94,14	81,27	51,92	93,62
	10	76,57	60,69	85,67	66,67	48,36	80,06	78,15	40,80	93,80	80,48	50,65	93,30
	12	46,45	22,08	65,78	37,23	21,26	53,48	20,33	4,68	51,89	30,72	9,94	59,98
	14	29,20	8,58	51,69	24,64	12,35	39,25	6,76	1,38	23,48	13,30	3,68	34,14
	16	92,93	88,45	95,45	93,45	85,04	97,28	99,36	96,76	99,85	99,00	96,11	99,70
46	2	93,78	89,91	95,97	94,94	87,85	97,99	99,59	97,91	99,90	99,32	97,31	99,80
	4	93,36	89,32	95,68	94,25	86,53	97,67	99,49	97,41	99,88	99,18	96,78	99,76
	6	71,59	48,61	83,68	62,25	43,66	76,58	70,27	31,29	90,90	74,40	41,98	90,76
	8	72,59	49,59	84,37	63,31	44,76	77,43	72,27	33,43	91,68	75,94	44,00	91,43
	10	90,73	80,68	94,73	85,32	71,86	92,83	96,89	85,70	99,25	96,24	86,44	98,86
	12	80,01	61,52	88,66	71,71	54,08	83,82	85,51	53,21	96,15	86,29	61,04	95,51

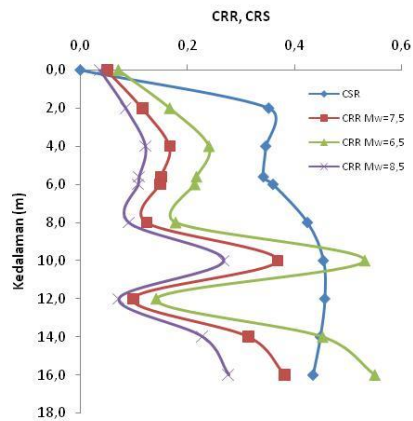
**Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Besarnya Probabilitas Likuifaksi di Desa Palihan**

DATA TANAH		PROBABILITAS (%)											
Titik Bor	Kedalaman (m)	Haldar & Tang (1979)			Hwang (2004)			Sonmez dan Gokceoglu (2005)			Juang dkk (2008)		
		Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5	Mw = 7,5	Mw = 6,5	Mw = 8,5
15	2	91,32	87,39	93,90	88,24	76,27	94,52	98,04	90,62	99,53	97,46	90,51	99,23
	3	92,35	89,23	94,59	90,29	79,57	95,65	98,66	93,43	99,68	98,15	92,98	99,45
	4	97,27	96,25	98,01	98,82	96,34	99,63	99,95	99,76	99,99	99,89	99,56	99,97
	6	72,65	56,53	83,02	61,32	42,70	75,83	68,47	29,49	90,18	73,01	40,24	90,14
	8	68,58	49,35	80,72	57,18	38,56	72,38	59,94	22,37	86,35	66,39	32,96	86,97
	10	78,41	63,37	86,93	69,34	51,35	82,08	82,28	47,22	95,16	83,72	56,14	94,56
	12	61,43	38,29	76,54	51,15	32,89	67,07	46,80	14,49	78,81	55,78	23,89	81,00
21	2	95,87	94,36	96,92	94,28	86,59	97,68	99,50	97,43	99,88	99,19	96,81	99,76
	2	95,93	94,46	96,97	94,36	86,74	97,72	99,51	97,49	99,88	99,20	96,87	99,76
	4	94,36	92,14	95,90	92,87	84,00	96,99	99,25	96,24	99,82	98,87	95,60	99,66
	6	87,17	80,94	91,27	80,59	65,22	89,90	94,18	75,70	98,56	93,65	78,59	98,03
	8	87,99	82,14	91,80	82,22	67,44	90,94	95,24	79,40	98,83	94,64	81,46	98,35
	10	35,32	15,82	54,68	23,74	11,77	38,14	6,16	1,25	21,72	12,35	3,39	32,25
	12	29,29	10,74	49,64	20,60	9,82	34,19	4,34	0,87	16,10	9,35	2,50	25,85
22	2	83,19	75,97	88,14	68,48	50,37	81,44	81,01	45,10	94,75	82,71	54,35	94,17
	3	85,99	80,35	90,05	73,80	56,57	85,32	88,03	58,63	96,89	88,35	65,36	96,24
	4	91,05	87,33	93,64	86,48	73,58	93,52	97,39	87,79	99,37	96,76	88,14	99,02
	6	86,74	79,61	91,25	81,23	66,09	90,31	94,61	77,19	98,67	94,05	79,74	98,16
	8	88,56	82,20	92,48	84,95	71,32	92,61	96,71	85,01	99,20	96,07	85,89	98,80
	10	47,66	25,96	65,72	36,00	20,32	52,17	18,53	4,20	49,03	28,70	9,11	57,63
	12	38,05	16,82	58,33	29,04	15,29	44,47	10,37	2,18	32,85	18,53	5,36	43,46
38	2	89,61	85,30	92,55	81,54	66,50	90,51	94,81	77,88	98,72	94,24	80,28	98,22
	2	89,66	85,87	92,58	81,72	66,75	90,62	94,93	78,29	98,75	94,34	80,59	98,26
	4	90,50	85,83	93,61	88,34	76,44	94,58	98,08	90,77	99,54	97,50	90,64	99,25
	6	75,16	62,13	83,98	62,59	44,01	76,85	70,92	31,97	91,16	74,90	42,62	90,98
	8	56,28	35,79	71,71	42,59	25,51	58,95	29,29	7,39	63,66	40,04	14,25	69,29
	10	50,96	29,20	68,12	38,58	22,31	54,89	22,41	5,27	54,98	33,00	10,92	62,46
	12	41,30	19,69	60,73	30,94	16,62	46,63	12,28	2,63	37,18	21,08	6,24	47,44
44	2	93,03	90,35	94,89	87,86	75,69	94,31	97,92	90,05	99,50	97,32	90,03	99,19
	3	93,85	91,73	95,48	90,01	79,12	95,50	98,59	93,09	99,66	98,07	92,67	99,42
	4	90,58	87,12	93,18	82,77	68,20	91,28	95,56	80,58	98,91	94,95	82,38	98,45
	6	69,30	55,93	79,26	51,22	32,95	67,13	46,94	14,56	78,91	55,90	23,98	81,07
	8	45,64	26,00	62,74	30,37	16,22	45,98	11,68	2,48	35,86	20,30	5,96	46,25
	10	38,74	18,59	57,61	26,34	13,47	41,30	8,03	1,65	26,96	15,21	4,27	37,73
	12	33,56	13,75	53,65	23,90	11,88	38,35	6,26	1,27	22,03	12,52	3,44	32,59

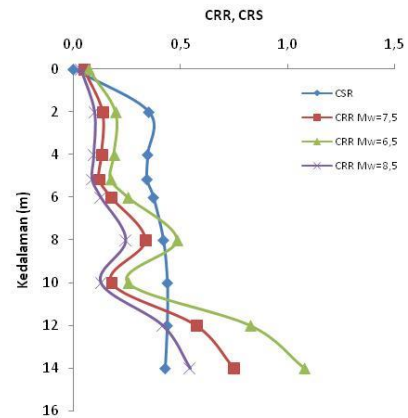
## 5.6 Pembahasan Hasil Analisis

### 5.6.1 *Cyclic Resistance Ratio* dan *Cyclic Stress Ratio*

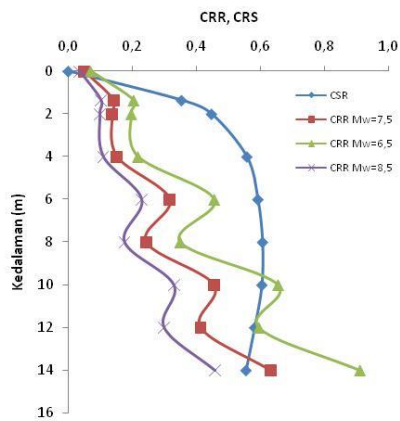
Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dilakukan pada setiap kedalaman dimana nilai N-SPTnya diketahui. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa besarnya nilai CSR tersebar secara acak pada setiap kedalaman tanpa pola tertentu sehingga besarnya CRR juga acak bervariasi dan berbeda sesuai dengan magnitudo gempanya. Pola penyebaran CRR dan CSR pada tiap titik dapat dilihat pada Gambar 5.5 sampai Gambar 5.16 berikut.



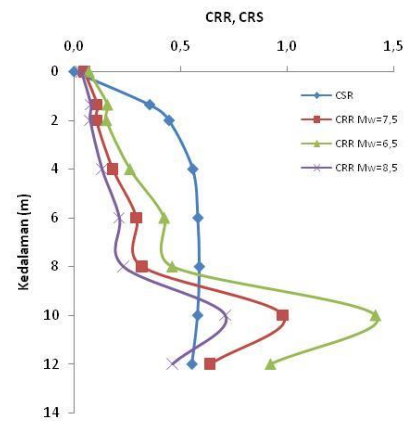
**Gambar 5.5 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-81**



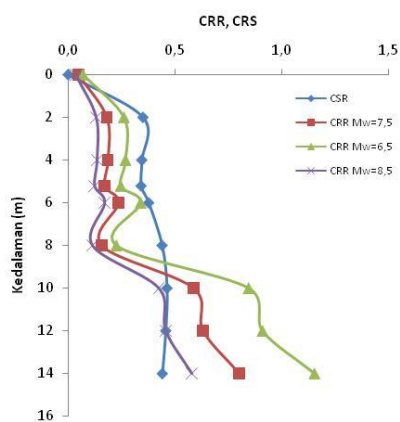
**Gambar 5.6 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-79**



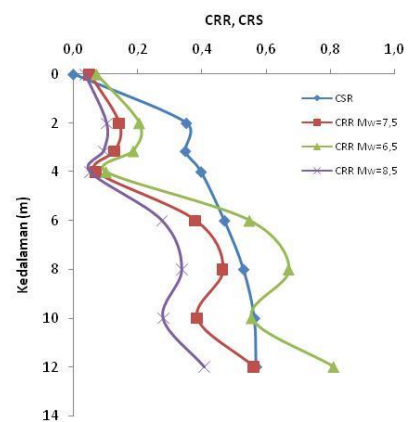
**Gambar 5.7 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-34**



**Gambar 5.8 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-33**

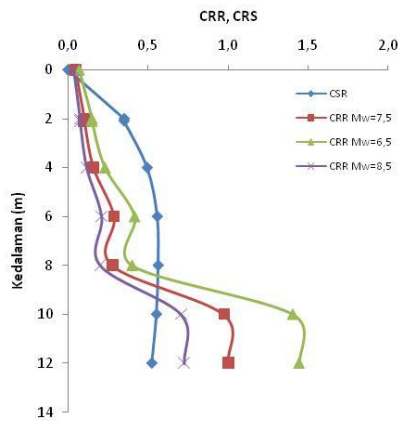


**Gambar 5.9 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-13**

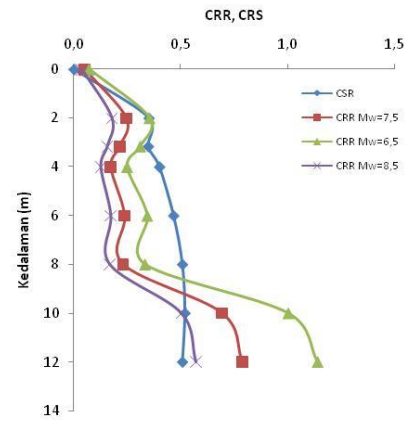


**Gambar 5.10 Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-15**

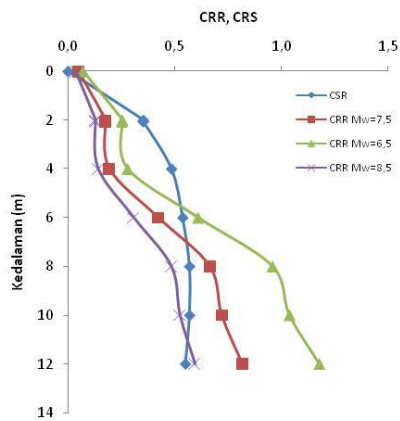




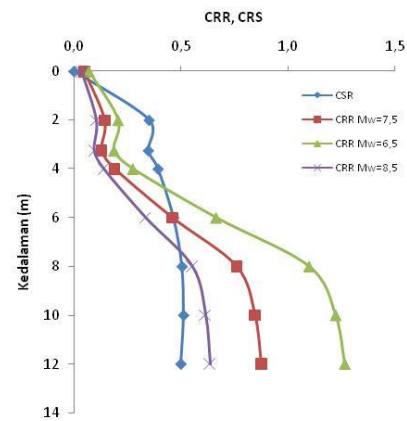
**Gambar 5.11** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-21



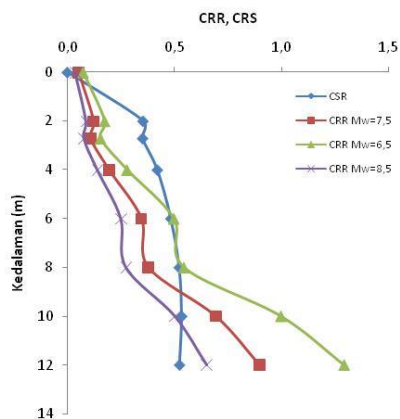
**Gambar 5.12** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-22



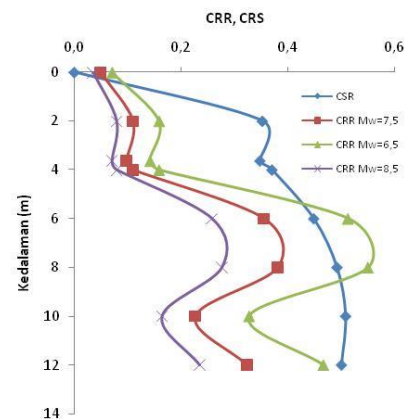
**Gambar 5.13** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-38



**Gambar 5.14** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-44



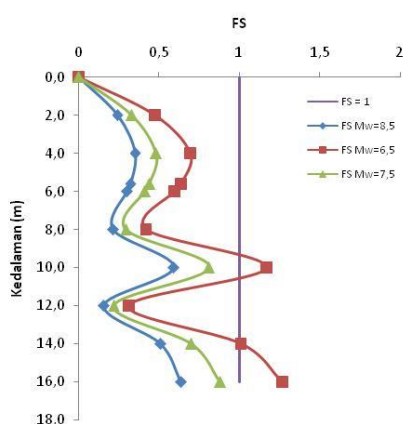
**Gambar 5.15** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-47



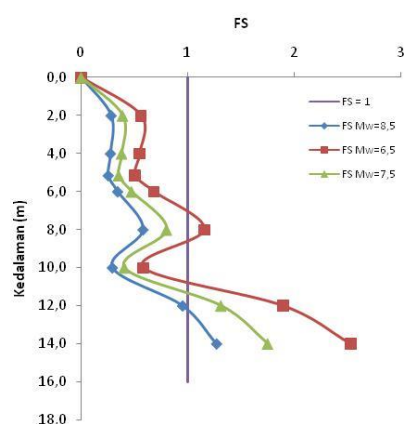
**Gambar 5.16** Sebaran CRR dan CSR Pada Titik DB-46

### 5.6.2 Pengaruh Moment *Magnitude Scale* ( $M_w$ )

Untuk melihat potensi likuifaksi akibat perbedaan besarnya gempa bumi berdasarkan momen seismik dibuat hubungannya dengan CSR dan CRR, dimana besarnya CSR dan CRR dipresentasikan sebagai faktor keamanan atau *Factor of Savety* (FS) yaitu perbandingan CSR dan CRR, dari hasil analisis perhitungan yang dilakukan pada setiap kedalaman di setiap titik didapatkan pola hubungan yang dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai Gambar 5.28 berikut.



**Gambar 5.17** Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-81

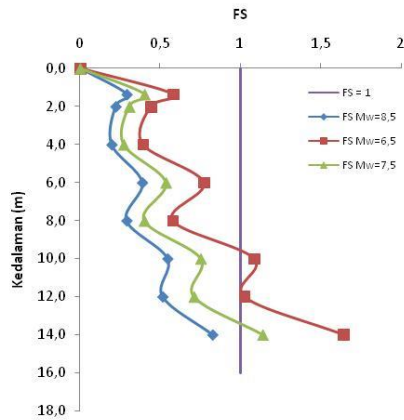


**Gambar 5.18** Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-79

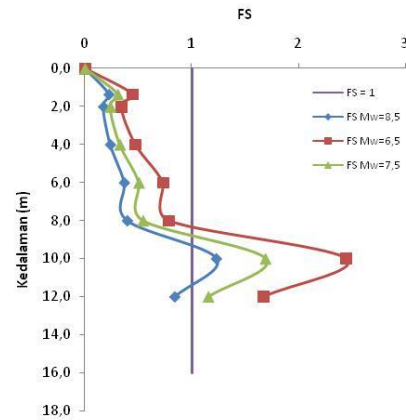
Gambar 5.17 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-81 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 16 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi aman pada kedalaman 10 m, dan terjadi likuifaksi lagi di kedalaman 12 m setelah itu kondisi saman sampai kedalaman 16 m.

Gambar 5.18 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-79 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 10 m dan keadaan aman pada kedalaman 12 m sampai 14 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 6 m, kemudian dilanjutkan pada kondisi aman

pada kedalaman 8 m, dan terjadi likuifaksi lagi di kedalaman 10 m setelah itu kondisi saman sampai kedalaman 14 m.



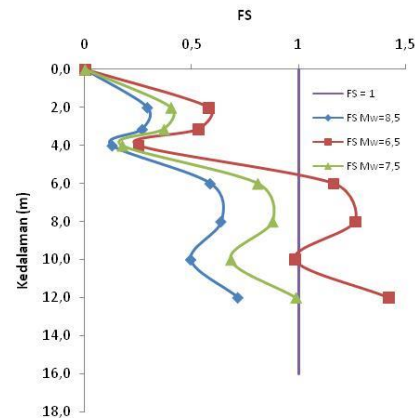
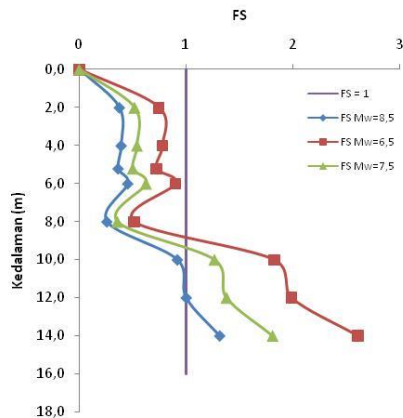
**Gambar 5.19 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-34**



**Gambar 5.20 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-33**

Gambar 5.19 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-34 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 14 m, dengan kondisi aman di kedalaman 14 m pada skala magnitudo 7,5. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 10 sampai 14 m.

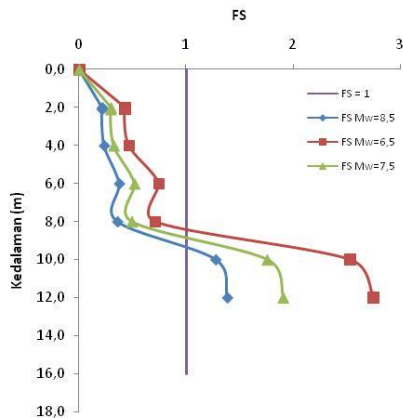
Gambar 5.20 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-33 dengan skala magnitudo 7,5; 6,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 10 sampai 12 m. Namun untuk skala magnitudo 8,5 kembali mengalami likuifaksi pada kedalaman 12 m.



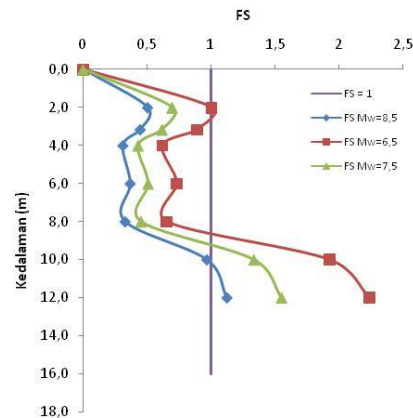
**Gambar 5.21 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-13**      **Gambar 5.22 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-15**

Gambar 5.21 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-13 dengan skala magnitudo 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12 m dan kondisi saman pada kedalaman 14 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 7,5 dan 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m, dengan kondisi aman di kedalaman 10 sampai 14 m.

Gambar 5.22 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-15 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 4 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 6 sampai 8 m dilanjutkan likuifaksi pada kedalaman 10 m dan kembali aman pada kedalaman 10 m.



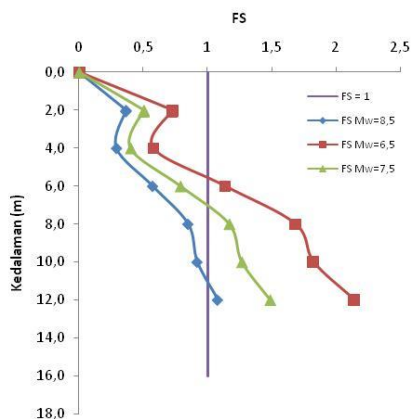
**Gambar 5.23 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-21**



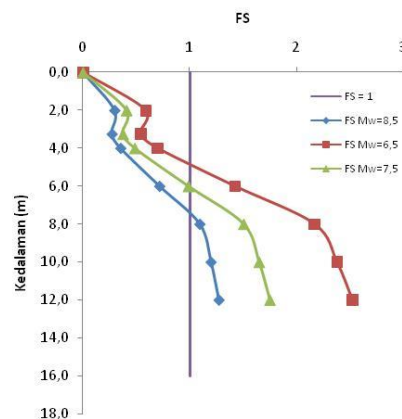
**Gambar 5.24 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-22**

Gambar 5.23 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-21 dengan skala magnitudo 7,5 ; 6,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m dan kondisi saman pada kedalaman 10 sampai 12 m.

Gambar 5.24 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-22 dengan skala magnitudo 7,5 dan 6,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m kemudian kondisi aman pada kedalaman 10 sampai 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 8,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 10 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 12 m.



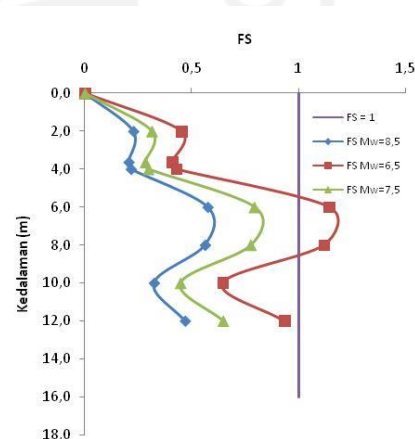
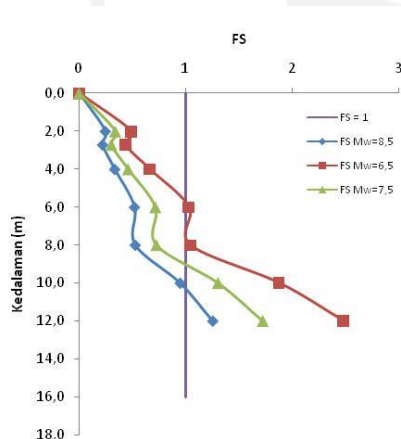
**Gambar 5.25 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-38**



**Gambar 5.26 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-44**

Gambar 5.25 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-38 dengan skala magnitudo 7,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 6 m, kemudian kondisi aman pada kedalaman 8 sampai 12 m. Skala magnitudo 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 10 m dan kondisi aman pada kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 4 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 6 sampai 12 m.

Gambar 5.26 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-44 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 6 m kemudian kondisi aman pada kedalaman 8 sampai 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 4 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 6 sampai 12 m.



**Gambar 5.27 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-47**      **Gambar 5.28 Potensi Likuifaksi Pada Beberapa Magnitudo di Titik DB-46**

Gambar 5.27 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-47 dengan skala magnitudo 7,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 8 m, kemudian kondisi aman pada kedalaman 10 sampai 12 m. Skala magnitudo 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 10 m dan kondisi aman pada kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 4 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 6 sampai 12 m.

Gambar 5.28 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi di titik DB-44 dengan skala magnitudo 7,5 dan 8,5 terjadi pada permukaan tanah sampai dengan kedalaman 12 m. Sedangkan dengan skala magnitudo 6,5 potensi likuifaksi terjadi pada permukaan tanah sampai kedalaman 4 m, kemudian kondisi aman terjadi pada kedalaman 6 sampai 8 m dan likuifaksi lagi pada kedalaman 10 sampai 12 m.

Gambar 5.17 sampai Gambar 5.28 menunjukkan bahwa potensi likuifaksi dipengaruhi oleh besarnya kekuatan gempa yang dalam hal ini dinyatakan dengan skala magnitudo ( $M_W$ ). Pada skema sebaran CRR dan perbandingan CRR dengan CSR yang kemudian dihubungkan dengan kedalaman tanah, menunjukkan bahwa semakin besar magnitudo gempa maka semakin besar pula potensi likuifaksi pada saat gempa terjadi. Setelah diketahui potensi likuifaksi dari perbandingan CRR dan CSR kemudian untuk mengetahui besarnya potensi likuifaksi maka perlu mencari nilai probabilitas.

### **5.6.3 Faktor Keamanan dan Besarnya Probabilitas Likuifaksi**

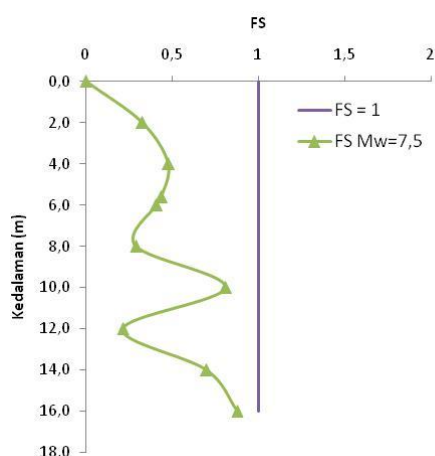
Analisis probabilitas dimaksudkan untuk mencari nilai probabilitas kejadian dari ketidakpastian pada suatu hasil atau peristiwa. Ketidakpastian yang dimaksud dalam analisis ini adalah kejadian likuifaksi yang dinyatakan dari besarnya faktor keamanan (FS). Nilai FS digunakan sebagai parameter terjadi atau tidaknya likuifaksi. Apabila FS kurang dari 1 maka dinyatakan “terjadi likuifaksi”, dan apabila FS lebih dari 1 maka “Tidak Likuifaksi”.

Penentuan kejadian likuifaksi dengan menggunakan FS merupakan metode determinan. Metode ini tidak dapat digunakan untuk mengetahui besarnya kejadian likuifaksi, oleh karena itu digunakanlah metode probabilitas. Pada analisis metode probabilitas setiap parameter dan variabel dari suatu fungsi persamaan dipelajari perilaku dan penyebaran kejadiannya sehingga secara teoritis dapat dimodelkan.

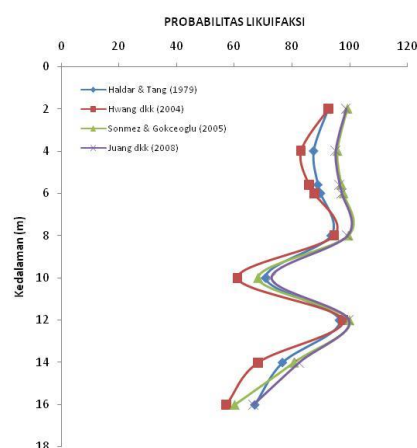
Metode Haldar dan Tang (1979) menyajikan model perhitungan dengan menggunakan parameter dan variabel dari suatu fungsi persamaan, dari variabel-variabel tersebut kemudian dibuatlah model perhitungan probabilitas likuifaksi berdasarkan statistika log-normal atau dalam Monalisa (2014) dikatakan sebagai prosedur *simplified*. Model perhitungan ini dibentuk dari parameter berupa CSR

dan CRR didalamnya terdapat variabel-variabel acak berupa data properties tanah, data gempa dan model persamaan prosedur *simplified* itu sendiri. Dalam Monalisa (2004) Haldar dan Tang (1979) menyebutkan variabel-variabel tersebut dapat didekati dengan pendekatan persamaan linear (pendekatan orde pertama) untuk menentukan penyebarannya berupa koefisien variansi sedangkan parameternya sendiri mengikuti distribusi log-normal.

Selain itu sebagai bahan periksa dan perbandingan pada metode Haldar dan Tang (1979) digunakan juga metode yang dikembangkan oleh beberapa ahli dengan pendekatan empiris seperti metode Hwang dkk (2004), Sonmez dan Gokceoglu (2005) serta Juang dkk (2008). Jika kita perhatikan Tabel 5.10 dan 5.11 diatas, dari keempat metode yang dipakai menunjukkan hasil perhitungan besar probabilitas likuifaksi yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada model yang pasti dan dasar pengetahuan lengkap untuk menghitung probabilitas likuifaksi. Hubungan nilai faktor keamanan, probabilitas likuifaksi, dan kedalaman tanah dengan skala magnitudo 7,5 dari empat metode analisis probabilitas yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada pada Gambar 5.29 sampai Gambar 5.52 berikut.



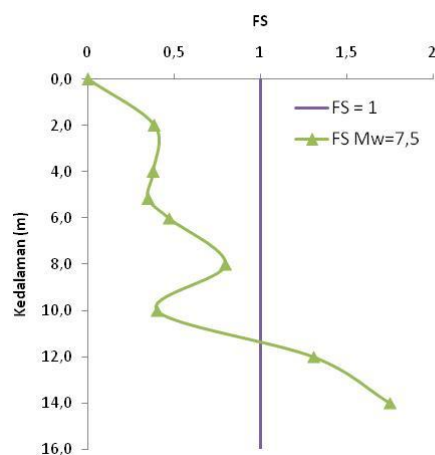
**Gambar 5.29 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-81**



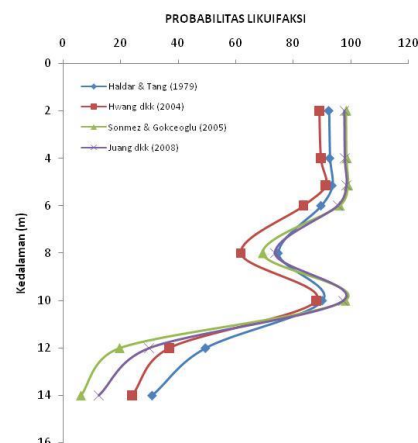
**Gambar 5.30 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-81**



Jika berdasar pada klasifikasi probabilitas likuifaksi yang diusulkan oleh Chen dan Juang (2000) pada Tabel 3.5 diatas, bahwa probabilitas 85-100 % merupakan kejadian dengan deskripsi “Hampir Pasti Likuifaksi” atau *Almost certain that it will liquefy*. Maka pada titik DB-81 yang ditunjukkan sebaran nilai probabilitasnya pada Gambar 5.29 dan Gambar 5.30 menunjukkan bahwa pada kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 12 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,21 sampai 0,48. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 12 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 96,46 %, Hwang dkk (2004) sebesar 97,70 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,88 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,76 %.

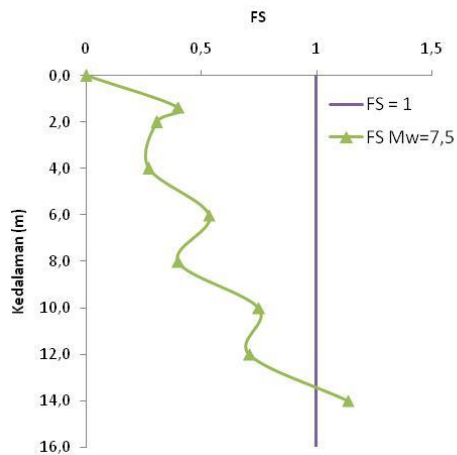


**Gambar 5.31 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-79**

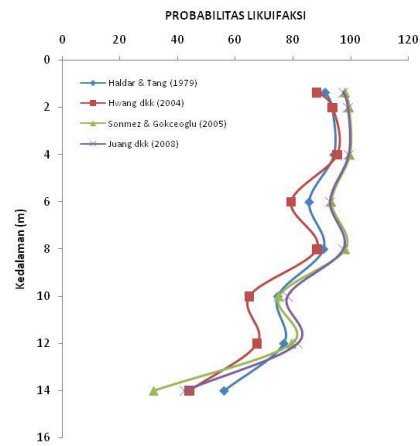


**Gambar 5.32 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-79**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.31 dan Gambar 5.32 menunjukkan bahwa pada Titik DB-79 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 10 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,35 sampai 0,40. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 5,15 meter atau pada batas muka air tanah dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 93,44 %, Hwang dkk (2004) sebesar 91,32 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 98,92 % dan Juang dkk (2008) sebesar 98,46 %.

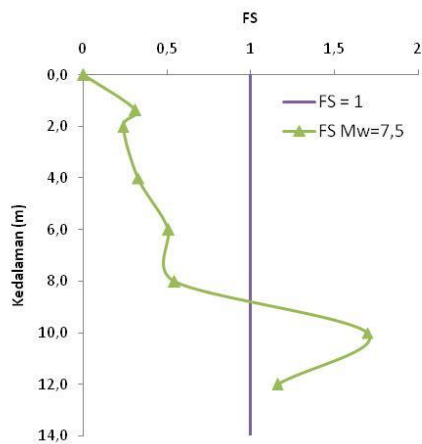


**Gambar 5.33 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-34**

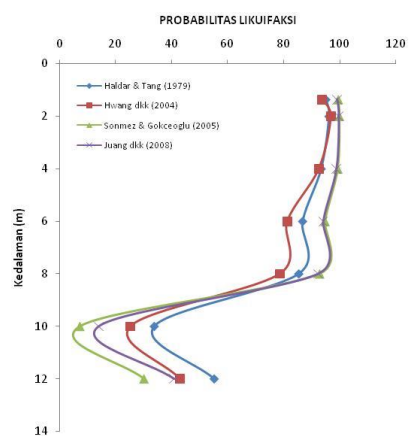


**Gambar 5.34 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-34**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.33 dan Gambar 5.34 menunjukkan bahwa pada Titik DB-34 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 8 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,27 sampai 0,53. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 4 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 94,21 %, Hwang dkk (2004) sebesar 95,47 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,66 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,42 %.

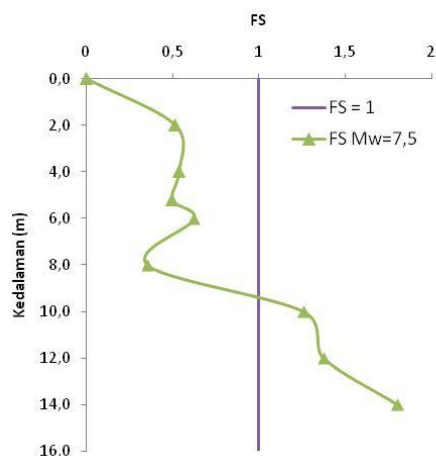


**Gambar 5.35 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-33**

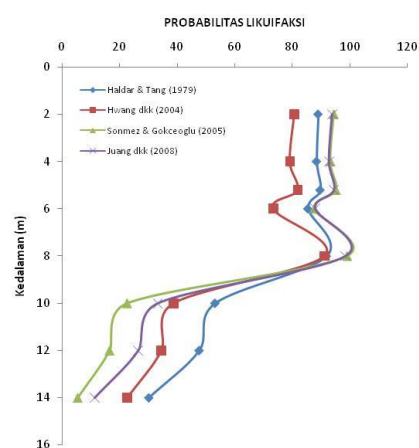


**Gambar 5.36 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-33**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.35 dan Gambar 5.36 menunjukkan bahwa pada Titik DB-33 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 8 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,24 sampai 0,54. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 2 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 96,25 %, Hwang dkk (2004) sebesar 96,89 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,81 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,65 %.

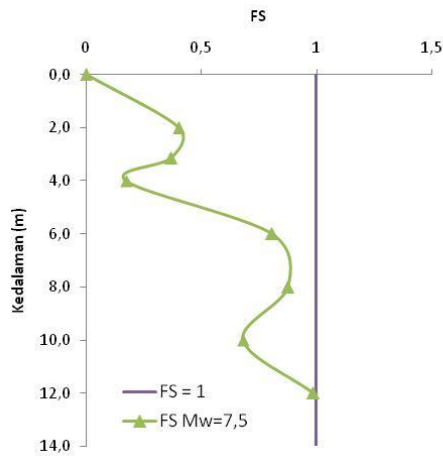


**Gambar 5.37 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-13**

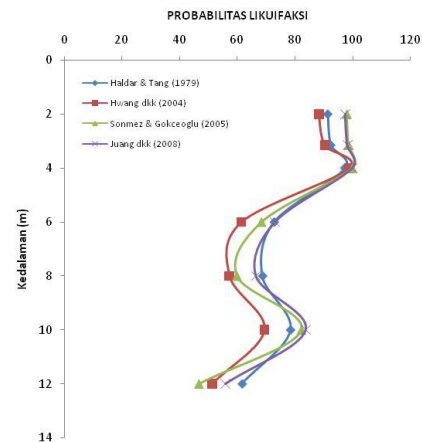


**Gambar 5.38 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-13**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 menunjukkan bahwa pada Titik DB-13 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 8 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,35 sampai 0,62. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 8 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 91,84 %, Hwang dkk (2004) sebesar 91,10 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 98,87 % dan Juang dkk (2008) sebesar 98,40 %.

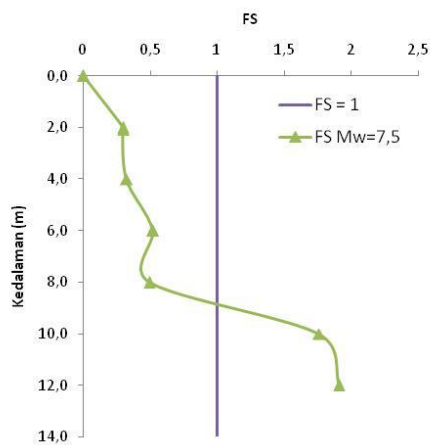


**Gambar 5.39 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-15**

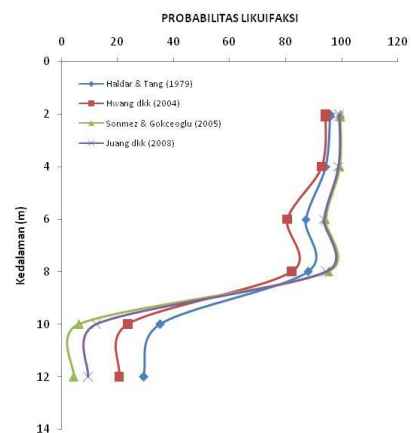


**Gambar 5.40 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-15**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 menunjukkan bahwa pada Titik DB-15 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 4 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,17 sampai 0,40. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 4 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 97,30 %, Hwang dkk (2004) sebesar 98,82 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,95 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,89 %.

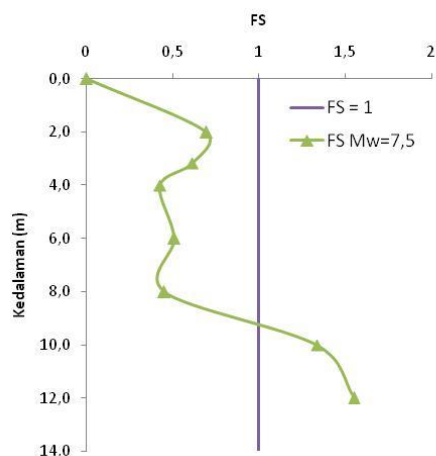


**Gambar 5.41 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-21**

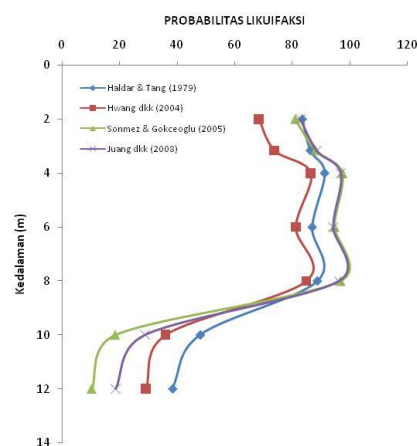


**Gambar 5.42 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-21**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 menunjukkan bahwa pada Titik DB-21 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 8 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,29 sampai 0,52. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 2,09 meter atau pada batas muka air tanah dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang ( 1979 ) sebesar 95,93 %, Hwang dkk (2004) sebesar 94,36 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 95,51 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,20 %.

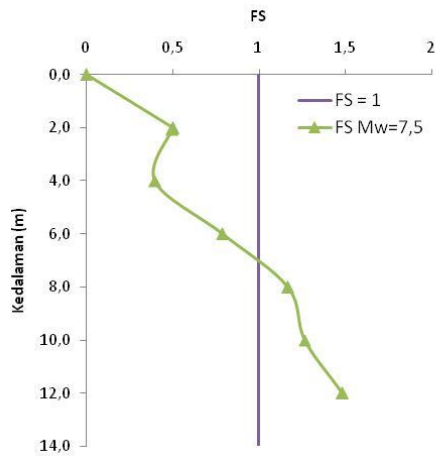


**Gambar 5.43 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-22**

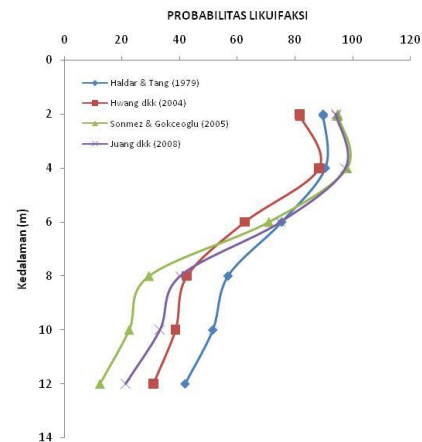


**Gambar 5.44 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-22**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.43 dan Gambar 5.44 menunjukkan bahwa pada Titik DB-22 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 8 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,43 sampai 0,69. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 4 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 91,13 %, Hwang dkk (2004) sebesar 86,48 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 97,39 % dan Juang dkk (2008) sebesar 96,76 %.

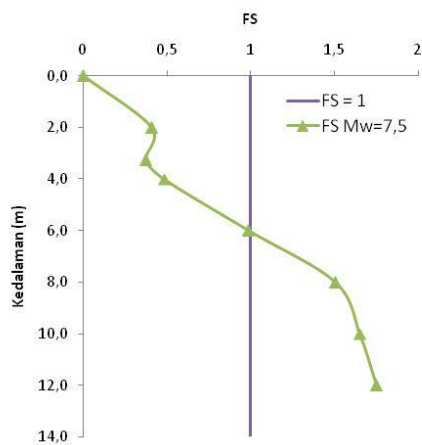


**Gambar 5.45 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-38**

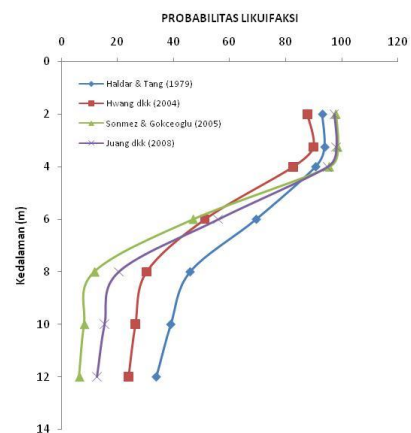


**Gambar 5.46 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-38**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.45 dan Gambar 5.46 menunjukkan bahwa pada Titik DB-38 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 4 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,40 sampai 0,50. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 4 meter dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 90,57 %, Hwang dkk (2004) sebesar 88,34 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 98,08 % dan Juang dkk (2008) sebesar 97,50 %.

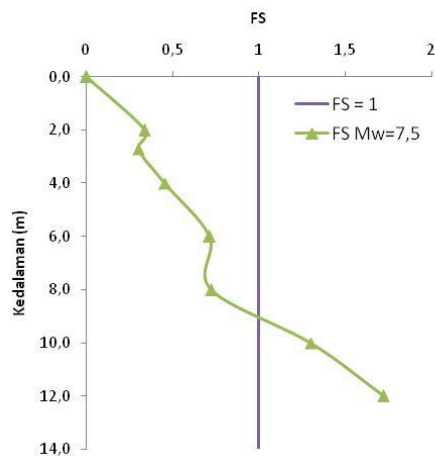


**Gambar 5.47 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-44**

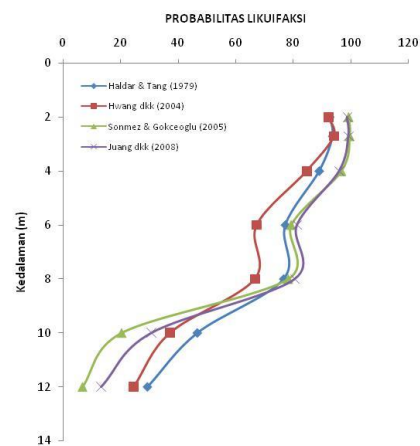


**Gambar 5.48 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-44**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 menunjukkan bahwa pada Titik DB-44 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 4 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,37 sampai 0,48. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 3,25 meter atau pada batas muka air tanah dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 93,90 %, Hwang dkk (2004) sebesar 90,01 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 98,59 % dan Juang dkk (2008) sebesar 98,07 %.

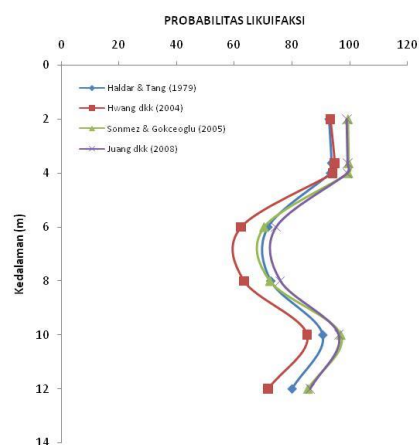
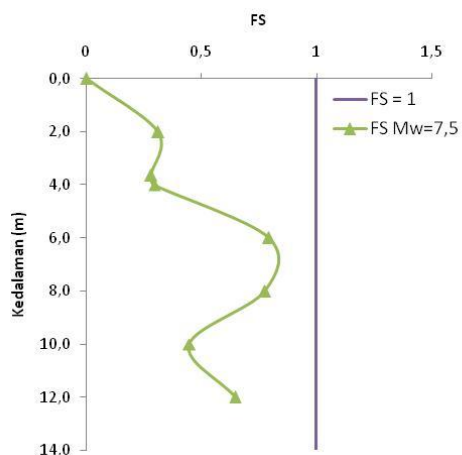


**Gambar 5.49 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-47**



**Gambar 5.50 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-47**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.49 dan Gambar 5.50 menunjukkan bahwa pada Titik DB-47 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 4 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,30 sampai 0,46. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 2,71 meter atau pada batas muka air tanah dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 93,57 %, Hwang dkk (2004) sebesar 94,05 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,46 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,14 %.



**Gambar 5.51 Potensi Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-46**      **Gambar 5.52 Probabilitas Likuifaksi Pada Mw = 7,5 di Titik DB-46**

Dengan dasar penjelasan yang sama seperti sebelumnya maka dari Gambar 5.51 dan Gambar 5.52 menunjukkan bahwa pada Titik DB-46 di kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 4 m terprediksi “Hampir Pasti Likuifaksi” dengan rentang nilai FS yang masuk kriteria tersebut adalah 0,28 sampai 0,31. Sedangkan probabilitas terbesar terjadi pada kedalaman 3,36 meter atau pada batas muka air tanah dengan nilai yang ditunjukkan pada metode Haldar dan Tang (1979) sebesar 93,78 %, Hwang dkk (2004) sebesar 94,94 %, Sonmez dan Gokceoglu (2004) sebesar 99,59 % dan Juang dkk (2008) sebesar 99,32 %.

Dari skema-skema diatas menunjukkan bahwa potensi likuifaksi tidak dapat ditentukan dengan pola yang pasti (linear). Ada variabel-variabel yang harus dilihat dan diperhitungkan, sehingga dapat diketahui besarnya potensi likuifaksi berdasarkan besarnya nilai probabilitas. Hal inilah yang menjadi alasan bahwa model perhitungan probabilitas likuifaksi harus terus dikembangkan agar di dapatkan model probabilitas yang faktual. Hubungan antara FS dan probabilitas likuifaksi dengan *magnitude* gempa 7,5 SR diatas menunjukkan bahwa semakin kecil FS maka probabilitasnya semakin besar, dan nilai FS pada suatu titik didapa berdasarkan data awal berupa N-SPT. Sehingga dapat diambil pengertian bahwa semakin besar nilai N-SPT, maka semakin kecil probabilitas likuifaksi.



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis potensi likuifaksi dengan menggunakan metode probabilitas berdasarkan data *insitu test* berupa N-SPT di 12 titik pada proyek pembangunan *New International Yogyakarta Airport* yang tersebar di Desa Glagah dan Palihan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

6. Potensi likuifaksi terjadi pada saat nilai probabilitas diatas 35 %, dan jika nilai probabilitas kejadian diatas 85 % maka tingkat bahaya likuifaksi terdeskripsi *almost certain that it will liquefy* atau hampir pasti likuifaksi. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode Haldar & Tang (1979), Hwang dkk (2004), Sonmez & Gokceoglu (2005), dan Juang dkk (2004) pada 12 titik sampel terdapat potensi likuifaksi pada seluruh titik sampel. Potensi likuifaksi dengan tingkat bahaya *hampir pasti likuifaksi* atau nilai probabilitas kejadian diatas 85 % pada titik DB-81 terjadi pada kedalaman tanah berkisar antara 2 m hingga 12 m, titik DB-79 pada kedalaman 2 m hingga 10 m, titik DB-34 & DB-33 pada kedalaman 1,36 m hingga 8 m, titik DB-13, DB-21, DB-22 pada kedalaman 2 m hingga 8 m, titik DB-15, DB-38, DB-44, DB-47 pada kedalaman 2 m hingga 4 m dan DB-46 pada kedalaman 2 m, 3,63 m, 4 m dan 10 m.
7. Hubungan nilai N-SPT terhadap probabilitas likuifaksi dari hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan nilai N-SPT akan berkorelasi dengan penurunan nilai probabilitas likuifaksi. Penambahan nilai N-SPT terkoreksi ( $(N_1)_{60cs}$ ) yang pada penelitian berkisar antara 0 sampai 137,329 berkorelasi dengan meningkatnya nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan rentang nilai 0,049 sampai 1,003. Selanjutnya penambahan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menyebabkan penurunan nilai probabilitas likuifaksi. Dari 12 titik yang digunakan, nilai probabilitas likuifaksi  $\geq 85\%$  terjadi pada nilai N-SPT berkisar antara 0 sampai 20 dan  $< 85\%$  pada rentang nilai N-SPT 20-50.

8. Semakin kecil nilai skala magnitudo gempa maka semakin besar nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Terlihat pada magnitudo gempa 6,5 SR nilai CRR lebih besar dibandingkan nilai CRR pada skala magnitudo 7,5 SR dan 8,5 SR. Semakin besar nilai CRR maka semakin kecil probabilitas likuifaksi.

## 6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Memperluas area penelitian dengan mencakup seluruh wilayah proyek pembangunan *New Internastional Yogyakarta Airport* dengan analisis perhitungan pada interval kedalaman lapisan tanah yang lebih kecil.
2. Analisis probabilitas likuifaksi dapat dikembangkan lagi dengan menggunakan metode lain yang faktual dan mutakhir. Sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan metode ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana*. Pemerintah Republik Indonesia. Jakarta.
- Artati, H.K., Pawirodikromo, W., dan Purwanto, E. 2020. Analisis Potensi Likuifaksi pada Pasir Vulkanik di Pantai Glagah Kulonprogo Berdasarkan Data N-SPT. *Jurnal Teknisia*. XXV(2) 108-120. Yogyakarta.
- Cetin, K.O., et al. 2004. Standard Penetration Test-Based Probabilistic And Deterministic Assessment Of Seismic Soil Liquefaction Potential. *Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE 130(12). 1314–340.
- Das, Braja M., 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid I. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Farichah, H., dan Sari, P.T. K. 2019. Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4 (1), 68-76. Surabaya.
- Haldar, A. and Tang, H.W. 1979. Probabilistic Evaluation of Liquefaction Potential. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE Vol. 105, No.GT2. pp 145-153.
- Hatmoko, J. T. 2016. *Dinamika Tanah dan Liquefaction Cetakan ke 01*. Cahaya Atma Pustaka. Yogyakarta.
- Idriss, I. M., 1999. An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential. in Proceedings. *TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction*. Publication No.FHWA-RD99-165. Federal Highway Administration. January

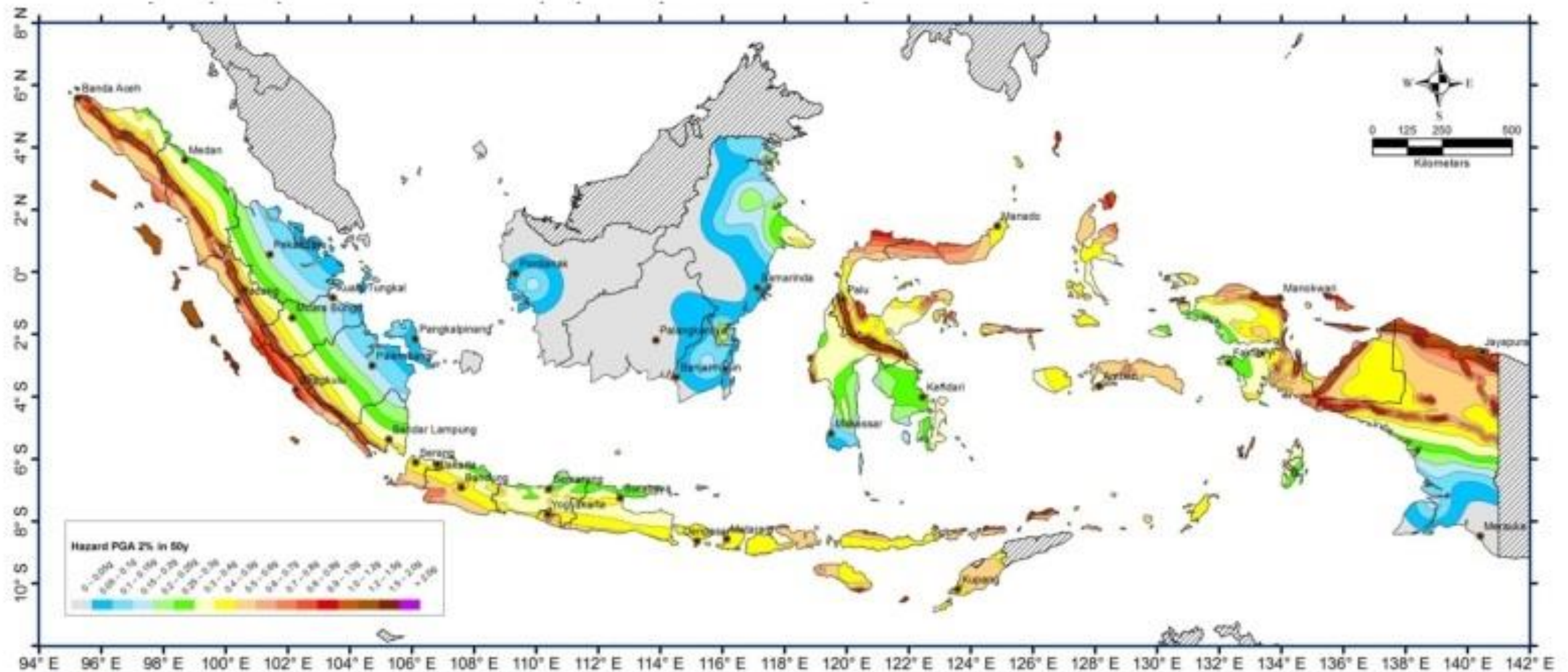
- Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. 2003. “ *Relating  $K\sigma$  and  $K\sigma'$  to SPT Blow Count and to CPT Tip Resistance for Use in Evaluating Liquefaction Potential*” .
- Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. 2004. “*Semi-Empirical Procedures For Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes*”. Department Of Civil and Environmental Engineering University Of California.
- Idriss, I.M., and Boulanger, R.W. 2008. “*Soil Liquefaction During Earthquake*”. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) Publication No.MNO-12. California.
- Juang, C.H., Jianye, C., and Zhe, L., 2013. Assessing SPT-based probabilistic models for liquefaction potential evaluation: a 10-year update. *Georisk*. Vol. 7 No. 3:137-150.
- Lestari, R.A. 2018. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Data SPT (*Standar Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Monalisa, A. 2014. Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Probabilitas Sederhana Berdasarkan Data Cone Penetration Test di Kelurahan Lempuing, Kota Bengkulu. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Bengkulu. Bengkulu.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan Cetakan I*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Robertson, O.K. and Wride, C.E. 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35:442-459.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. ASCE, 97(9), pp.1249-1273.

- Seed, H.B. and Idriss, I.M. 1982. *Ground Motions and Soil Liquefaction dering Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland.
- Stamatakos, J. 2018. Liquefaction Consortium To Improve Earthquake Models. (Online). Southwest Research Institut. (<https://www.swri.org/technology-today/liquefaction-consortium-earthquake-models>. Diakses 20 Maret 2021).
- Standar Nasional Indonesia. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. SNI 1726. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- Towhata, I. 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer Science & Business Media, Berlin.
- Tini, Tohari, A., dan Iryanti, M. 2017. Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Menggunakan Metode SPT (*Standar Penetration Test*) dan CPT (*Cone Penetration Test*) di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Wahana Fisika*, 2(1), 8-2. Bandung.
- Warriessandy, D.N., dan Sambodho, K. 2010. Studi Risiko Kerentanan Tanah Akibat *Soil Liquefaction* Karena Gempa Bumi Di Wilayah Pesisir Kota Pacitan. (<http://repository.its.ac.id/81809>. di akses 28 Desember 2020).
- Youd, T.L. and Idriss, I.M. 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Vol. 127 No. 4 : 297 – 313.



# LAMPIRAN

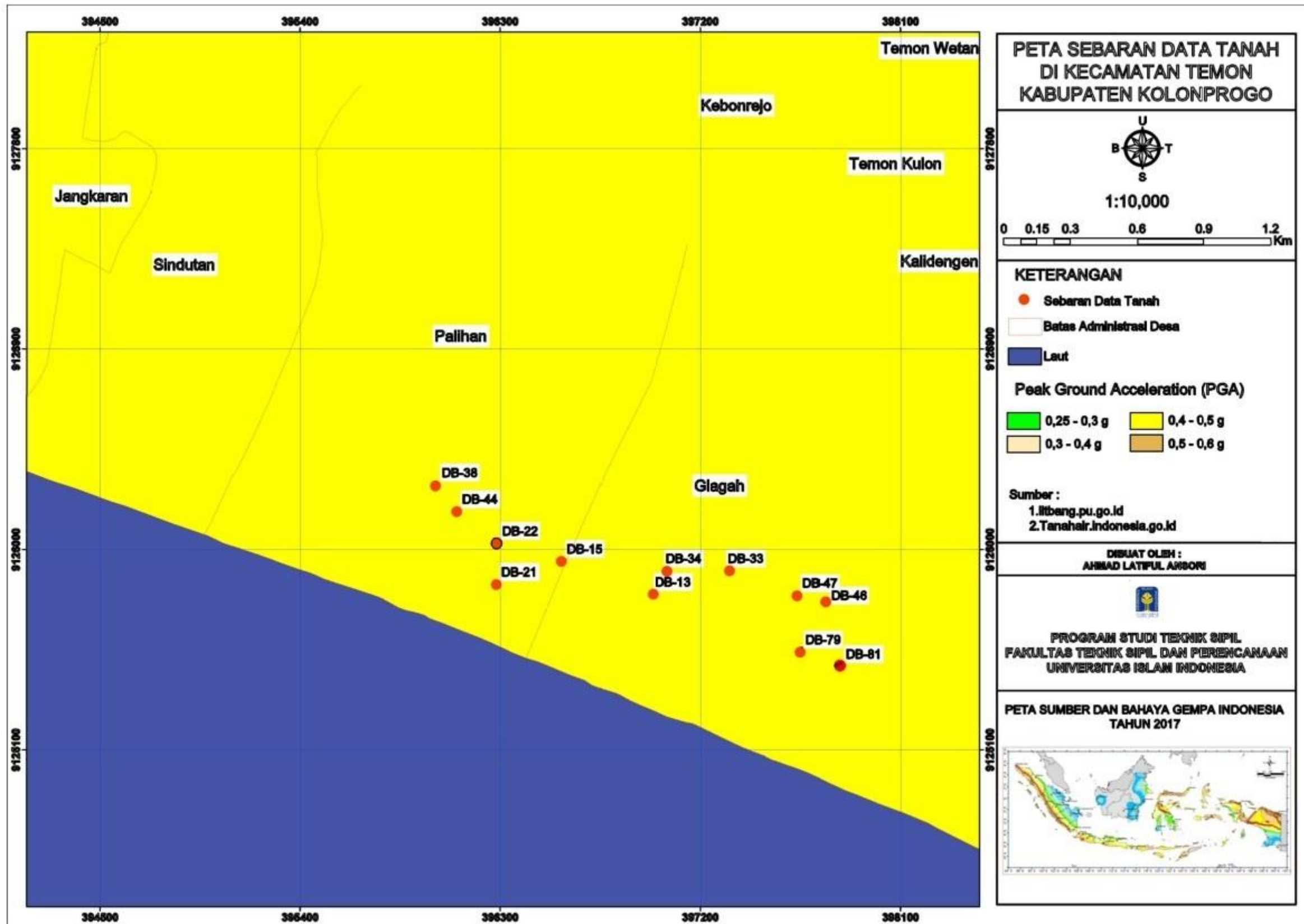
Lampiran 1 Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017



	<b>TIM PEMUTAKHIRAN PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPABUMI INDONESIA TAHUN 2017</b>		<b>PETA SUMBER DAN BAHAYA GEMPABUMI INDONESIA TAHUN 2017</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prof. Dr. Masyhur Irsyam (Ketua)</li> <li>• Ir. Lutfi Faizal (Wakil Ketua)</li> <li>• Dr. Danny Hilman Natawidjaja (Ketua Pokja Geologi)</li> <li>• Dr. Irwan Meilano (Ketua Pokja Geodesi)</li> <li>• Prof. Dr. Sri Widyanoro (Ketua Pokja Seismologi)</li> <li>• Dr. Wahyu Triyoso (Ketua Pokja Katalog)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ariska Rudyanto, M.Phil. (Ketua Pokja GMPE)</li> <li>• Dr. Sri Hidayati (Ketua Pokja SHA)</li> <li>• Dr. M. Asrurifak</li> <li>• Dr. M. Ridwan</li> <li>• Prof. Dr. Phil Cumming</li> </ul>	 <p>Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat</p>	<p>Jakarta, 4 September 2017</p> <p>Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat</p>  <p>Dr. Ir. M. Basuki Hadimoeljono, M. Sc.</p>





Lampiran 2 Peta Titik Lokasi Data Sampel







### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta													
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Glagah <b>Easting</b> : 397829 m <b>Northing</b> : 9125478 m		<b>Date Commenced</b> : 18-Apr-17 <b>Date Completed</b> : 20-Apr-17 <b>Bore Master</b> : Nanang <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 5.6 m											
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT			Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (m)	N Value								
0															
1															
2				Fine SAND, dark grey, dry, loose											
3															
4				Fine SAND, dark grey, dry, medium dense											
5															
6				Fine SAND, dark grey, moist, medium dense											
7															
8				Fine SAND w/ few fine gravel, dark grey, moist, medium dense to very dense											
9															
10				Fine SAND, dark grey, wet, very dense											
11															
12				Medium SAND, dark grey, wet, very dense											
13															
14															
15															
16				<i>end of drilling at 16.0 m</i>											
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 81</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta												
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Glagah <b>Easting</b> : 397647 m <b>Northing</b> : 9125538 m		<b>Date Commenced</b> : 11-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 11-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Aris <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 5.15 m										
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	N Value								
0														
1				Fine SAND, grey, dry, medium dense										
2						11/30								
3				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense										
4						13/30								
5														
6				Medium SAND, dark grey, wet, very dense		21/30								
7														
8				Medium SAND w/ few fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/18								
9														
10				Medium SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/23								
11														
12				Coarse SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/11								
13														
14				<i>end of drilling at 14.0 m</i>		50/8								
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 79</b>
--	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta													
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Glagah <b>Easting</b> : 397050 m <b>Northing</b> : 9125902 m		<b>Date Commenced</b> : 29-Apr-17 <b>Date Completed</b> : 30-Apr-17 <b>Bore Master</b> : Aris <b>Field Engineer</b> : Hasan Tri Atmojo		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : m											
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	N Value									
0															
1				Fine SAND, dark grey, moist, loose to medium dense											
2				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense			11/30								
3															
4							14/30								
5															
6							29/30								
7				Coarse SAND, very dark grey, wet, medium dense to very dense											
8							50/27								
9															
10							50/17								
11															
12				Coarse SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, very dense			50/11								
13															
14				<i>end of drilling at 14.0 m</i>											
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 34</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta														
Client : PT. Angkasa Pura I Location : Glagah Easting : 397331 m Northing : 9125904 m		Date Commenced : 27-Apr-17 Date Completed : 28-Apr-17 Bore Master : Aris Field Engineer : Hasan Tri Atmojo		Weather : Clear Drilling Rig : DM-01 Core Diameter : 73 mm Water Depth : - 1.36 m												
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT			Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (m)	N Value									Blow / cm
0				Fine SAND, dark brown, moist, loose												
1																
2				Fine SAND, dark grey, wet, loose												
3																
4																
5																
6																
7				Coarse SAND, dark grey, wet, loose to very dense												
8																
9																
10																
11				Coarse SAND w/ few fine gravel, wet, very dense												
12																
13				<i>end of drilling at 12.0 m</i>												
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 33</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> <small>DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta</small>													
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Glagah, Temon <b>Easting</b> : 386987 m <b>Northing</b> : 9125798 m		<b>Date Commenced</b> : 11-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 12-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Birin <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 5.21 m											
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	FieldPP Test q <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
						Depth (m)	N Value								
0				Fine SAND, grey, dry, medium dense											
1				Fine SAND, grey, moist, medium dense											
2				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense to very dense											
3				Medium SAND, dark grey, wet, very dense											
4				Medium SAND w/ few fine gravel, dark grey, wet, very dense											
5				Medium SAND w/ little fine gravel, dark grey, wet, very dense											
6				Coarse SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, very dense											
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14				end of drilling at 14.0 m											
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 13</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta													
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Palihan, Temon <b>Easting</b> : 396574 m <b>Northing</b> : 9125946 m		<b>Date Commenced</b> : 8-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 9-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Birin <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 3.15 m											
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT			Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (m)	N Value								
0															
1															
2				Fine SAND, grey, dry, medium dense				12/30							
3															
4				Fine SAND, dark grey, wet, loose to medium dense				5/30							
5															
6				Medium SAND, dark grey, wet, dense				50/22							
7															
8				Medium SAND w/ little fine gravel, dark grey, wet, very dense				50/18							
9															
10				Medium SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense				50/20							
11															
12				<i>end of drilling at 12.0 m</i>				50/14							
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 15</b>
---	--	-------------------------------

### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT



		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta													
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Palihan <b>Easting</b> : 396280 m <b>Northing</b> : 9125843 m		<b>Date Commenced</b> : 14-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 14-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Aris <b>Field Engineer</b> : Hasan Tri Atmojo		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 2.09 m											
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT			Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (m)	N Value								
0				Fine SAND, dark grey, dry, loose											
1				Coarse SAND, dark grey, moist, loose											
2				Coarse SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, loose to very dense				8/30							
3															
4				Coarse SAND w/ fine gravel, very dark grey, wet, very dense				15/30							
5															
6				Coarse SAND w/ coarse gravel, black, wet, very dense				50/28							
7															
8				end of drilling at 12.0 m				50/25							
9															
10								50/8							
11								50/7							
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															
29															
30															

- Undisturbed Sample (UDS)
- Disturbed Sample (UDS)
- Mazier Sample
- Piston Sample

- PP - Pocket Penetrometer
- LL - Liquid Limit
- PL - Plastic Limit
- PI - Plasticity Index

Bore Hole :  
**DB - 21**

### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT



		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta												
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Palihan <b>Easting</b> : 396284 m <b>Northing</b> : 9126027 m		<b>Date Commenced</b> : 12-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 12-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Birin <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 3.16 m										
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Blow / cm								
0														
1														
2				Fine SAND, grey, dry, medium dense		20/30								
3														
4				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense to very dense		17/30								
5														
6				Medium SAND, dark grey, wet, very dense		50/28								
7														
8				Medium SAND w/ little fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/26								
9														
10				Medium SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/11								
11														
12				end of drilling at 12.0 m		50/9								
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 22</b>
---	--	-------------------------------





### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta												
Client : PT. Angkasa Pura I Location : Palihan Easting : 396008 m Northing : 9126285 m		Date Commenced : 5-Mei-17 Date Completed : 6-Mei-17 Bore Master : Aris Field Engineer : Yanuar Rifa'i		Weather : Clear Drilling Rig : DM-01 Core Diameter : 73 mm Water Depth : - 2.06 m										
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Blow / cm								
0														
1														
2				Fine SAND, dark grey, dry, loose		15/30								
3														
4				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense		37/30								
5				Medium SAND, dark grey, wet, medium dense to dense										
6														
7														
8														
9														
10				Medium SAND w/ little medium gravel, dark grey, wet, dense to very dense		50/13								
11														
12														
13				<b>end of drilling at 12.0 m</b>										
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 38</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta												
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Palihan, Temon <b>Easting</b> : 396104 m <b>Northing</b> : 9126170 m		<b>Date Commenced</b> : 7-Jun-17 <b>Date Completed</b> : 8-Jun-17 <b>Bore Master</b> : Birin <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 3.25 m										
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Blow / cm								
0				Fine SAND, brown, dry, medium dense										
1				Fine SAND, grey, dry, medium dense										
2				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense to dense		12/30								
3														
4				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense to dense		19/30								
5														
6				Fine SAND w/ trace fine gravel, dark grey, wet, dense		50/19								
7				Medium SAND w/ few fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/11								
8				Medium SAND w/ little fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/9								
9														
10				Medium SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, very dense		50/8								
11														
12				<b>end of drilling at 12.0 m</b>										
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														





  

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 44</b>
---	--	-------------------------------



### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta														
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Glagah <b>Easting</b> : 397633 m <b>Northing</b> : 9125792 m		<b>Date Commenced</b> : 20-Mei-17 <b>Date Completed</b> : 21-Mei-17 <b>Bore Master</b> : Aris <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 2.71 m												
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT			Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Depth (m)	N Value									Blow / cm
0																
1				Fine SAND, dark brown, dry, loose												
2				Fine SAND, grey, dry, loose												
3				Fine SAND, dark grey, wet, medium dense												
4				Medium SAND w/ some fine gravel, dark grey, wet, medium dense to dense												
5				Medium SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense												
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13				<i>end of drilling at 12.0 m</i>												
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																

 Undisturbed Sample (UDS)  Disturbed Sample (UDS)  Mazier Sample  Piston Sample	PP - Pocket Penetrometer LL - Liquid Limit PL - Plastic Limit PI - Plasticity Index	Bore Hole : <b>DB - 47</b>
--	--	-------------------------------


### Lampiran 3 Data Uji Lapangan N-SPT

		<b>SUB SURFACE EXPLORATION LOG</b> <b>ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008</b> DED Bandara Kulon Progo Yogyakarta												
<b>Client</b> : PT. Angkasa Pura I <b>Location</b> : Dusun Glagah <b>Easting</b> : 397765 m <b>Northing</b> : 9125766 m		<b>Date Commenced</b> : 20-Mei-17 <b>Date Completed</b> : 21-Mei-17 <b>Bore Master</b> : Nanang <b>Field Engineer</b> : Yanuar Rifa'i		<b>Weather</b> : Clear <b>Drilling Rig</b> : DM-01 <b>Core Diameter</b> : 73 mm <b>Water Depth</b> : - 3.63 m										
Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	N SPT		Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
					Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	N Value								
0				Fine SAND, dark brown, dry, loose										
1														
2				Fine SAND, dark grey, dry, loose			8/30							
3														
4				Fine SAND, dark grey, wet, loose			10/30							
5														
6				Medium SAND, dark grey, wet, dense			50/23							
7				Medium SAND w/ little fine gravel, dark grey, wet, very dense										
8				Medium SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense			50/20							
9														
10				Medium SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense			50/24							
11				Coarse SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense										
12				Coarse SAND w/ mostly fine gravel, dark grey, wet, very dense			50/19							
13				<i>end of drilling at 12.0 m</i>										
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														


  

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: black; border: 1px solid black;"></span> Undisturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black;"></span> Disturbed Sample (UDS)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dashed;"></span> Mazier Sample</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; border-style: dotted;"></span> Piston Sample</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PP - Pocket Penetrometer</li> <li>LL - Liquid Limit</li> <li>PL - Plastic Limit</li> <li>PI - Plasticity Index</li> </ul>	Bore Hole : <b>DB - 46</b>
---	--	-------------------------------


## Lampiran 4 Data Properties Tanah

				Form no. (No. Formulir)		:								
				Issue (Diterbitkan)		:								
Revision (Revisi)		:		Date : 2 August 2017										
PROJECT		DED New Yogyakarta International Airport												
LOCATION		Kulonprogo, DIY												
CLIENT		PT. Angkasa Pura I												
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)				
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>								
28	DB-07	11.00-12.00	DS		17,48	14,60			19,67					
29	DB-08	02.00-03.00	DS	3,38	14,59	14,59	0,58	17,50	7,06	0,00	98,35		1,65	1,65
30	DB-08	04.00-5.00	DS	3,28	16,35	14,28	0,57	35,47	14,52	0,00	96,02		3,98	3,98
31	DB-08	08.00-09.00	DS	2,84	15,50	15,50	0,47	49,45	15,15	0,41	98,92	0,66	0,01	0,68
32	DB-08	10.00-11.00	DS	2,78	15,92	14,08	0,50	35,82	13,07	0,00	99,64	0,36	0,01	0,37
33	DB-09	02.00-03.00	DS	3,47	14,01	14,01	0,60	9,18	4,04	0,00	91,54		8,46	8,46
34	DB-09	04.00-05.00	DS	3,16	17,38	14,75	0,54	47,55	17,84	0,00	99,55		0,45	0,45
35	DB-09	10.0-11.00	DS	2,83	15,51	15,51	0,46	47,50	14,42	5,99	93,88	0,14	0,00	0,14
36	DB-09	11.00-12.00	DS	2,85	16,52	14,79	0,49	34,47	11,67	4,72	92,27	2,96	0,06	3,02
37	DB-11	2.00-3.00	DS	3,20	17,67	14,94	0,54	49,41	18,27	0,00	99,08		0,92	0,92
38	DB-11	4.00-5.00	DS	3,25	17,95	15,72	0,53	41,67	14,22	0,00	96,67		3,33	3,33
39	DB-11	10.00-11.00	DS	2,82	16,87	15,59	0,46	27,42	8,20	11,57	88,04		0,40	0,40
40	DB-11	11.00-12.00	DS	2,84	17,50	16,18	0,44	29,42	8,17	4,92	94,93		0,15	0,15
41	DB-13	2.00-4.00	DS	3,32						0,00	91,22		8,78	8,78


## Lampiran 4 Data Properties Tanah

				Form no. (No. Formulir)		:								
				Issue (Diterbitkan)		:								
Revision (Revisi)		:		Date : 2 August 2017										
PROJECT		DED New Yogyakarta International Airport												
LOCATION		Kulonprogo, DIY												
CLIENT		PT. Angkasa Pura I												
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)				
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>								
42	DB-13	4.00-5.00	DS	3,35						0,00	98,98	1,02	1,02	
43	DB-13	7.00-8.00	DS	3,04						0,00	95,22	4,79	4,79	
44	DB-13	11.00-12.00	DS	3,12						0,00	95,85	4,15	4,15	
45	DB-31	03.00-04.00	DS	3,49						0,00	82,78	17,23	17,23	
46	DB-31	4.000-5.00	DS		18,19	15,86			14,73					
47	DB-31	07.00-08.00	DS	3,24						0,00	97,32	2,68	2,68	
48	DB-31	09.00-10.00	DS	2,94	16,33	13,59	0,55	49,18	20,18	0,00	99,28	0,72	0,72	
49	DB-31	11.00-12.00	DS	2,85	14,50	12,70	0,56	31,34	14,17	0,00	99,76	0,25	0,25	
50	DB-32	2.00-3.00	DS	3,27	15,34	14,06	0,58	21,62	9,07	0,00	89,88	10,12	10,12	
51	DB-32	6.00-7.00	DS	3,43	19,03	16,10	0,54	53,29	18,22	0,00	99,64	0,36	0,36	
52	DB-32	8.00-9.00	DS	2,94	14,25	12,88	0,57	23,57	10,64	0,00	99,62	0,38	0,38	
53	DB-32	10.00-11.00	DS	2,96	16,39	14,47	0,52	36,02	13,21	0,00	99,20	0,81	0,81	
<b>PARALEL TAXIWAY 1</b>														
54	DB-33	1.00-2.00	DS	-	13,241	13,189	-	-	0,39	-	-	-	-	

### Lampiran 4 Data Properties Tanah


				Form no. (No. Formulir) :										
				Issue (Diterbitkan) :										
				Revision (Revisi) :										
				Date : 2 August 2017										
PROJECT :				DED New Yogyakarta International Airport										
LOCATION :				Kulonprogo, DIY										
CLIENT :				PT. Angkasa Pura I										
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)				
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>								
55	DB-33	6.00-7.00	DS	-	19,435	15,51	-	-	25,31	-	-	-	-	-
56	DB-33	10.00-11.00	DS	-	17,7	14,607	-	-	21,17	-	-	-	-	-
57	DB-33	11.00-12.00	DS	-	17,626	14,74	-	-	19,58	-	-	-	-	-
58	DB-34	1.00-2.00	DS	3,41	13,949	12,917	0,63	16,10	7,99	0,00	99,01	0,99	0,99	
59	DB-34	3.00-4.00	DS	3,40	15,59	14,237	0,59	22,52	9,51	0,00	98,39	1,61	1,61	
60	DB-34	8.00-9.00	DS	3,04	16,807	14,512	0,53	42,36	15,81	0,27	98,43	1,30	1,30	
61	DB-34	10.00-11.00	DS	3,01	15,017	13,438	0,56	27,53	11,76	0,00	98,04	1,96	1,96	
62	DB-35	2.00-3.00	DS	-	13,845	12,777	-	-	8,35	-	-	-	-	
63	DB-35	4.00-5.00	DS	-	14,442	13,118	-	-	10,09	-	-	-	-	
64	DB-35	10.00-11.00	DS	-	14,744	13,035	-	-	13,11	-	-	-	-	
65	DB-35	12.00-13.00	DS	-	17,115	15,158	-	-	12,91	-	-	-	-	
66	DB-36	2.00-3.00	DS	3,28	15,602	14,198	0,58	23,92	9,89	0,00	92,11	7,90	7,90	
67	DB-36	4.00-5.00	DS	3,48	17,149	15,044	0,58	35,86	13,99	0,00	99,55	0,45	0,45	
68	DB-36	10.00-11.00	DS	3,01	16,437	14,615	0,52	34,08	12,46	0,49	98,99	0,53	0,53	

### Lampiran 4 Data Properties Tanah


 <b>NSELAB</b> SOIL LABORATORY PRECISION FOR PERFECTION				Form no. (No. Formulir) :										
				Issue (Diterbitkan) :										
				Revision (Revisi) :										
				Date : 2 August 2017										
PROJECT :				DED New Yogyakarta International Airport										
LOCATION :				Kulonprogo, DIY										
CLIENT :				PT. Angkasa Pura I										
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)				
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>								
69	DB-36	13.00-14.00	DS	2,84	16,056	14,108	0,51	37,27	13,81	0,00	99,83	0,18	0,18	
70	DB-37	1.00-2.00	DS	3,34	15,606	13,955	0,59	27,44	11,83	0,00	89,64	10,37	10,37	
71	DB-37	3.00-4.00	DS	3,21	17,019	13,937	0,57	52,64	22,11	0,00	98,45	1,56	1,56	
72	DB-37	10.00-11.00	DS	3,13	16,206	14,727	0,54	26,94	10,04	0,00	100,31	-0,31	-0,31	
73	DB-37	11.00-12.00	DS	3,11	17,214	15,586	0,51	31,35	10,44	0,00	100,63	-0,63	-0,63	
74	DB-43	0.00-0.50	DS	3,17	-	-	-	-	-	0,00	90,25	9,75	9,75	
75	DB-43	0.50-1.00	DS	3,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>PARALEL TAXIWAY 2</b>														
76	DB-15	1.00-2.00	DS	3,35						0,00	91,29	8,71	8,71	
77	DB-15	3.00-4.00	DS	3,30						0,00	93,41	6,59	6,59	
78	DB-15	5.00-6.00	DS	3,00						0,00	99,92	0,08	0,08	
79	DB-15	8.00-9.00	DS	1,98						4,58	94,89	0,52	0,52	
80	DB-16	0.00-1.00	DS	3,16						0,00	84,95	15,06	15,06	
81	DB-16	3.00-4.00	DS	3,29						0,00	93,75	6,25	6,25	




### Lampiran 4 Data Properties Tanah

 <p><b>NSELAB</b> SOIL LABORATORY PRECISION FOR PERFECTION</p>				Form no. (No. Formulir) :													
				Issue (Diterbitkan) :													
				Revision (Revisi) :													
				Date : 2 August 2017													
PROJECT :				DED New Yogyakarta International Airport													
LOCATION :				Kulonprogo, DIY													
CLIENT :				PT. Angkasa Pura I													
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)							
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200			
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>									%	%	%
96	DB-20	1.00-2.00	DS	3,67	-	-	-	-	-	0,00	94,07	5,93		5,93			
97	DB-20	3.00-4.00	DS	2,95	-	-	-	-	-	0,00	99,71	0,29		0,29			
98	DB-20	5.00-6.00	DS	3,09	-	-	-	-	-	0,00	99,73	0,27		0,27			
99	DB-20	8.00-9.00	DS	2,94	-	-	-	-	-	1,40	97,01	1,60		1,60			
100	DB-21	2.00-3.00	DS	2,87						0,00	99,16	0,84		0,84			
101	DB-21	4.00-5.00	DS	2,82						0,61	98,22	1,17		1,17			
102	DB-21	7.00-8.00	DS	2,81						0,73	98,44	0,83		0,83			
103	DB-21	11.00-12.00	DS	2,83						1,72	97,48	0,80		0,80			
104	DB-22	0.00-1.00	DS	3,47						0,00	96,76	3,25		3,25			
105	DB-22	3.00-4.00	DS	3,20						0,00	99,48	0,52		0,52			
106	DB-22	5.00-6.00	DS	3,54						0,00	99,55	0,45		0,45			
107	DB-22	8.00-9.00	DS	3,00						1,67	98,02	0,31		0,31			
108	DB-23	2.00-3.00	DS	3,07						0,00	99,50	0,50		0,50			
109	DB-23	4.00-5.00	DS	2,98						0,00	99,02	0,98		0,98			

## Lampiran 4 Data Properties Tanah

				Form no. (No. Formulir)		:								
				Issue (Diterbitkan)		:								
Revision (Revisi)		:		Date : 2 August 2017										
PROJECT				DED New Yogyakarta International Airport										
LOCATION				Kulonprogo, DIY										
CLIENT				PT. Angkasa Pura I										
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)				
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>								
110	DB-23	7.00-8.00	DS	3,46						2,69	96,31	1,00	1,00	
111	DB-23	11.00-12.00	DS	2,89						2,78	96,06	1,17	1,17	
112	DB-44	1.00-2.00	DS	3,44						0,00	97,83	2,17	2,17	
113	DB-44	3.00-4.00	DS	3,38						0,00	99,14	0,87	0,87	
114	DB-44	5.00-6.00	DS	3,17						0,00	99,35	0,66	0,66	
115	DB-44	8.00-9.00	DS	3,04						1,41	98,16	0,44	0,44	
116	DB-46	0.00-1.00	DS	3,12						0,00	77,63	22,38	22,38	
117	DB-46	3.00-4.00	DS	2,97						0,00	88,02	11,99	11,99	
118	DB-46	5.00-6.00	DS	3,24						0,00	95,01	5,00	5,00	
119	DB-46	9.00-10.00	DS	2,89						5,47	89,83	4,70	4,70	
120	DB-47	0.00-1.00	DS	3,04						0,40	83,91	15,70	15,70	
121	DB-47	3.00-4.00	DS	3,01						0,00	94,47	5,53	5,53	
122	DB-47	5.00-6.00	DS	2,94						1,78	97,52	0,71	0,71	
123	DB-47	8.00-9.00	DS	2,85						2,15	97,27	0,59	0,59	

### Lampiran 4 Data Properties Tanah

				Form no. (No. Formulir) :													
				Issue (Diterbitkan) :													
				Revision (Revisi) :													
				Date : 2 August 2017													
PROJECT :				DED New Yogyakarta International Airport													
LOCATION :				Kulonprogo, DIY													
CLIENT :				PT. Angkasa Pura I													
No.	Bore Hole	Depth (m)	Sample Type	Gs	Density		n	Sr	Wn	Particle Size Distribution (PSD)							
					$\gamma_m$	$\gamma_d$				Gravel	Sand	Silt	Clay	% finer by weight passing sieve # 200			
					kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>									%	%	%
152	DB-78	1.00-2.00	DS	2,82						0,00	95,61						
153	DB-78	3.00-4.00	DS	3,32						0,06	93,52						
154	DB-78	5.00-6.00	DS	2,96						1,72	97,86						
155	DB-78	8.00-9.00	DS	2,84						7,28	102,10						
156	DB-79	2.00-3.00	DS	3,12	-	-	-	-	-	0,00	92,09	7,91		7,91			
157	DB-79	4.00-5.00	DS	3,84	-	-	-	-	-	0,00	99,14	0,86		0,86			
158	DB-79	7.00-8.00	DS	3,06	-	-	-	-	-	0,00	96,44	3,56		3,56			
159	DB-79	11.00-12.00	DS	2,95	-	-	-	-	-	11,70	87,57	0,73		0,73			
160	DB-81	1.00-2.00	DS	3,24	12,549	11,982	0,64	8,72	4,73	0,00	95,55	4,46		4,46			
161	DB-81	2.00-3.00	DS	3,05	13,269	11,976	0,61	20,63	10,79	0,00	97,75	2,25		2,25			
162	DB-81	8.00-9.00	DS	3,07	17,196	14,251	0,54	53,03	20,66	0,00	88,63	11,37		11,37			
163	DB-81	15.00-16.00	DS	2,83	16,673	13,971	0,52	51,41	19,34	0,00	99,08	0,92		0,92			
<b>TAXIWAY APRON</b>																	
164	DB-64	3.00-4.00	DS	3,06						0,00	97,96	2,05		2,05			

### Lampiran 5 Tabel Perhitungan Potensi Likuifaksi Metode Determinan

Titik Bor	MAT (m)	Lapisan	H (m)	Jenis Tanah	Gs	αmax/g	N - SPT				Density (kN/m <sup>3</sup> )				n	e	rd	σ <sub>v</sub> kN/m <sup>2</sup>	U kN/m <sup>2</sup>	σ' <sub>v</sub> kN/m <sup>2</sup>	(σ/σ')	CSR kN/m <sup>2</sup>	Faktor Koreksi (N1)60					Faktor (N <sub>1</sub> ) <sub>60CS</sub>	Faktor (N <sub>1</sub> ) <sub>60CS</sub>	CRR 7.5	SF	Cek Metode Determinan	MSF 6.5	CRR 6.5	MSF 8.5	CRR 8.5		
							Blow	cm	FC (%)	MSF	γ <sub>b</sub>	γ <sub>d</sub>	γ <sub>sat</sub>	γ'									C <sub>n</sub>	C <sub>e</sub>	C <sub>b</sub>	C <sub>r</sub>	C <sub>s</sub>											
							9	30	4.46	1	12,549	11,982	17,721										0.64	1,778	0,985	23,964	0										23,964	1,000
DB - 81	5,6	1	2	Fine SAND	3,24	0,55	9	30	4,46	1	12,549	11,982	17,721		0,64	1,778	0,985	23,964	0	23,964	1,000	0,352	1,523	1	1	0,75	1	10,28133	0,0	1,0	10,28133	0,115607	0,328402	LIKUIFAKSI	1,441922	0,166697	0,725846	0,083913
		2	4	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	13,269	11,976	17,653		0,61	1,564	0,969	47,916	0	47,916	1,000	0,347	1,303	1	1	0,75	1	15,63416	0,0	1,0	15,63416	0,166491	0,480409	LIKUIFAKSI	1,441922	0,240067	0,725846	0,120847
		3	5,6	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	13,269	11,976	17,653		0,61	1,564	0,957	67,078	0	67,078	1,000	0,342	1,168	1	1	0,75	1	14,0127	0,0	1,0	14,0127	0,150289	0,439203	LIKUIFAKSI	1,441922	0,216704	0,725846	0,109086
		3	6	Fine SAND	3,05	0,55	16	30	2,25	1	13,269	11,976	17,653	7,843	0,61	1,564	0,954	74,139	3,924	70,215	1,056	0,360	1,148	1	1	0,75	1	13,77874	0,0	1,0	13,77874	0,148014	0,410976	LIKUIFAKSI	1,441922	0,213425	0,725846	0,107435
		4	8	Fine SAND	3,07	0,55	14	30	11,37	1	17,196	14,251	19,151	9,341	0,54	1,174	0,939	112,441	23,544	88,897	1,265	0,425	1,044	1	1	0,75	1	10,96605	1,3	1,0	11,77277	0,12331	0,290477	LIKUIFAKSI	1,441922	0,177804	0,725846	0,089504
		5	10	Fine SAND	3,07	0,55	50	19	11,37	1	17,196	14,251	19,151	9,341	0,54	1,174	0,907	150,743	43,164	107,579	1,401	0,454	0,958	1	1	0,75	1	56,70993	1,3	1,0	55,30544	0,368271	0,81054	LIKUIFAKSI	1,441922	0,531018	0,725846	0,267308
		6	12	Fine SAND	3,07	0,55	50	25	11,37	1	17,196	14,251	19,151	9,341	0,54	1,174	0,854	189,045	62,784	126,261	1,497	0,457	0,884	1	1	0,75	1	39,79877	1,3	1,0	39,21175	0,098186	0,214895	LIKUIFAKSI	1,441922	0,141577	0,725846	0,071268
		7	14	Medium SAND	3,07	0,55	50	18	11,37	1	17,196	14,251	19,151	9,341	0,54	1,174	0,800	227,347	82,404	144,943	1,569	0,449	0,822	1	1	0,75	1	51,34391	1,3	1,0	50,1988	0,313753	0,699232	LIKUIFAKSI	1,441922	0,452407	0,725846	0,227736
DB - 79	5,15	1	2	Fine SAND	3,12	0,55	11	30	7,91	1	12,205	11,606	17,713		0,62	1,632	0,985	23,212	0,000	23,212	1,000	0,352	1,531	1	1	0,75	1	12,63314	0,3	1,0	12,50472	0,136804	0,388614	LIKUIFAKSI	1,441922	0,197261	0,725846	0,099299
		2	4	Fine SAND	3,84	0,55	13	30	0,86	1	17,372	16,805	22,347		0,55	1,222	0,969	56,822	0,000	56,822	1,000	0,347	1,236	1	1	0,75	1	12,05445	0,0	1,0	12,05445	0,131684	0,379974	LIKUIFAKSI	1,441922	0,189878	0,725846	0,095582
		3	5,15	Fine SAND	3,84	0,55	13	30	0,86	1	17,372	16,805	22,347		0,55	1,222	0,961	76,148	0,000	76,148	1,000	0,343	1,113	1	1	0,75	1	10,85255	0,0	1,0	10,85255	0,120712	0,351504	LIKUIFAKSI	1,441922	0,174057	0,725846	0,087618
		3	6	Fine SAND	3,84	0,55	21	30	0,86	1	17,372	16,805	22,347	12,537	0,55	1,222	0,954	95,143	8,339	86,804	1,096	0,374	1,055	1	1	0,75	1	16,61741	0,0	1,0	16,61741	0,176742	0,472754	LIKUIFAKSI	1,441922	0,254848	0,725846	0,128287
		4	8	Medium SAND	3,06	0,55	50	20	3,56	1	15,908	17,662	21,733	11,923	0,41	0,695	0,939	138,609	27,959	110,651	1,253	0,420	0,945	1	1	0,75	1	53,14975	0,0	1,0	53,14975	0,336632	0,800698	LIKUIFAKSI	1,441922	0,485398	0,725846	0,244343
		5	10	Medium SAND	3,06	0,55	50	23	3,56	1	15,908	17,662	21,733	11,923	0,41	0,695	0,907	182,075	47,579	134,497	1,354	0,439	0,856	1	1	0,75	1	41,84681	0,0	1,0	41,84681	0,177769	0,404979	LIKUIFAKSI	1,441922	0,256329	0,725846	0,129033
		6	12	Coarse SAND	2,95	0,55	50	11	0,73	1	17,080	15,070	19,757	9,947	0,48	0,923	0,854	221,590	67,199	154,391	1,435	0,438	0,793	1	1	0,75	1	81,09974	0,0	1,0	81,09974	0,574576	1,311867	TIDAK LIKUIFAKSI	1,441922	0,828493	0,725846	0,417053
		7	14	Coarse SAND	2,95	0,55	50	8	0,73	1	17,080	15,070	19,757	9,947	0,48	0,923	0,800	261,105	86,819	174,286	1,498	0,429	0,739	1	1	0,75	1	103,9136	0,0	1,0	103,9136	0,75047	1,751083	TIDAK LIKUIFAKSI	1,441922	1,082119	0,725846	0,544725
DB - 34	1,36	1	1,36	Fine SAND	3,41	0,55	11	30	0,99	1	13,949	12,917	18,558		0,63	1,703	0,990	17,567	0	17,567	1,000	0,354	1,595	1	1	0,75	1	13,16042	0,0	1,0	13,16042	0,142073	0,401586	LIKUIFAKSI	1,441922	0,204859	0,725846	0,103123
		1	2	Fine SAND	3,41	0,55	11	30	0,99	1	13,949	12,917	18,558	8,748	0,63	1,703	0,985	29,444	6,2784	23,166	1,271	0,447	1,532	1	1	0,75	1	12,6373	0,0	1,0	12,6373	0,137123	0,306462	LIKUIFAKSI	1,441922	0,197272	0,725846	0,09953
		2	4	Fine SAND	3,4	0,55	14	30	1,61	1	15,59	14,237	19,463	9,653	0,59	1,439	0,969	68,370	25,898	42,472	1,610	0,558	1,347	1	1	0,75	1	14,14494	0,0	1,0	14,14494	0,151581	0,271705	LIKUIFAKSI	1,441922	0,218567	0,725846	0,110024
		3	6	Coarse SAND	3,4	0,55	29	30	1,61	1	15,59	14,237	19,463	9,653	0,59	1,439	0,954	107,296	45,518	61,778	1,737	0,592	1,202	1	1	0,75	1	26,1481	0,0	1,0	26,1481	0,31658	0,534393	LIKUIFAKSI	1,441922	0,456483	0,725846	0,229788
		4	8	Coarse SAND	3,04	0,55	50	27	1,3	1	16,807	14,512	19,216	9,406	0,53	1,128	0,939	145,728	65,138	80,589	1,808	0,607	1,088	1	1	0,75	1	45,33942	0,0	1,0	45,33942	0,242861	0,40017	LIKUIFAKSI	1,441922	0,350187	0,725846	0,17628
		5	10	Coarse SAND	3,01	0,55	50	17	1,96	1	15,017	13,438	18,486	8,676	0,56	1,273	0,907	182,700	84,758	97,941	1,865	0,605	1,001	1	1	0,75	1	66,21474	0,0	1,0	66,21474	0,454538	0,751475	LIKUIFAKSI	1,441922	0,655408	0,725846	0,329924
		6	12	Coarse SAND	2,98	0,55	50	17	1,96	1	15,017	13,438	18,556	8,546	0,56	1,273	0,854	219,413	103,978	115,034	1,907	0,582	0,927	1	1	0,75	1	61,35123	0,0	1,0	61,35123	0,413007	0,709566	LIKUIFAKSI	1,441922	0,595525	0,725846	0,29978
		7	14	Coarse SAND	2,95	0,55	50	11	1,96	1	15,017	13,438	18,227	8,417	0,56	1,273	0,800	255,867	124,998	131,868	1,940	0,555	0,865	1	1	0,75	1	88,41947	0,0	1,0	88,41947	0,631641	1,137948	TIDAK LIKUIFAKSI	1,441922	0,910777	0,725846	0,458474
DB - 33	1,36	1	1,36	Fine SAND	3,54	0,55	8	30	5	1	13,241	13,189	19,279		0,62	1,632	0,990	17,937	0,000	17,937	1,000	0,354	1,591	1	1	0,75	1	9,545105	0,0	1,0	9,545105	0,109131	0,30847	LIKUIFAKSI	1,441922	0,157358	0,725846	0,079212
		1	2	Fine SAND	3,54	0,55	8	30	5	1	13,241	13,189	19,279	9,469	0,62	1,632	0,985	30,275	6,278	23,997	1,262	0,444	1,523	1	1	0,75	1	9,136832	0,0	1,0	9,136832	0,105589	0,237742	LIKUIFAKSI	1,441922	0,152251	0,725846	0,076641
		2	4	Fine SAND	3,54	0,55	17	30	5	1	13,241	13,189	19,279	9,469	0,62	1,632	0,969	68,833	25,898	42,934	1,603	0,556	1,343	1	1	0,75	1	17,12654	0,0	1,0	17,12654	0,182197	0,327922	LIKUIFAKSI	1,441922	0,262714	0,725846	0,132247
		3	6	Coarse SAND	3,51	0,55	50	27	5	1	19,435	15,51	20,890	11,080	0,55	1,222	0,954	110,613	45,518	65,095	1,699	0,580	1,180	1	1	0,75	1	49,18301	0,0	1,0	49,18301	0,293629	0,506604	LIKUIFAKSI	1,441922	0,42339	0,725846	0,213129
		4	8	Coarse SAND	3,51	0,55	50	23	5	1	19,435	15,51	20,890	11,080</																								

Lampiran 6 Tabel Hasil Analisis Probabilitas Likuifaksi (Mw 7,5)

DATA TANAH		Haldar & Tang (1979)														Hwang dkk (2004)		Sonmez dan Gokceoglu (2005)		Juang dkk (2008)				
		KOEFSIEN VARIANSI CSR							KOEFSIEN VARIANSI CRR													PROBABILITAS		
Titik Bor	H	CSR	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Ω <sup>2</sup> CSR	CRR	Q1	Q2	Q3	Ω <sup>2</sup> CRR	FS	1-Ω <sup>2</sup> CSR	1-Ω <sup>2</sup> CRR	PL	PL (100%)	PL	PL (100%)	PL	PL (100%)	PL	PL (100%)
81	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,116	1,0	2,0	0,56237	11,852	0,32840	1,089	12,852	0,93	92,579	0,93	92,624	0,99	99,205	0,99	98,807
	4	0,347	0,1	0,2	0,015	0,015	0,184	0,091	0,166	0,7	1,3	0,56237	4,303	0,48041	1,091	5,303	0,87	87,491	0,83	83,096	0,96	95,752	0,95	95,126
	5,6	0,342	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,093	0,150	0,8	1,5	0,56237	5,677	0,43920	1,093	6,677	0,89	88,980	0,86	85,849	0,97	97,122	0,96	96,484
	6	0,360	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,091	0,148	0,8	1,5	0,56237	5,988	0,41098	1,091	6,988	0,90	89,893	0,88	87,681	0,98	97,850	0,97	97,247
	8	0,425	0,1	0,2	0,020	0,020	0,189	0,086	0,123	1,0	1,7	0,56237	9,505	0,29048	1,086	10,505	0,94	93,566	0,95	94,592	1,00	99,541	0,99	99,248
	10	0,454	0,1	0,2	0,022	0,022	0,196	0,087	0,368	0,3	0,4	0,56237	0,651	0,81054	1,087	1,651	0,71	70,803	0,61	61,170	0,68	68,169	0,73	72,782
	12	0,457	0,1	0,2	0,023	0,024	0,208	0,092	0,098	1,1	0,5	0,56237	2,890	0,21489	1,092	3,890	0,96	96,456	0,98	97,698	1,00	99,881	1,00	99,760
	14	0,449	0,1	0,2	0,024	0,025	0,222	0,099	0,314	0,3	0,4	0,56237	0,706	0,69923	1,099	1,706	0,77	76,675	0,68	68,231	0,81	80,632	0,82	82,418
	16	0,435	0,1	0,2	0,025	0,026	0,238	0,108	0,381	0,4	0,4	0,56237	0,749	0,87698	1,108	1,749	0,67	67,074	0,57	57,229	0,60	60,037	0,66	66,468
	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,137	1,7	2,8	0,56237	47,264	0,38861	1,089	48,264	0,92	92,324	0,89	89,090	0,98	98,320	0,98	97,762
	4	0,347	0,1	0,2	0,016	0,016	0,184	0,091	0,132	1,9	3,0	0,56237	56,801	0,37997	1,091	57,801	0,93	92,651	0,90	89,622	0,98	98,479	0,98	97,942
	5,15	0,343	0,1	0,2	0,018	0,018	0,185	0,093	0,121	2,0	3,3	0,56237	78,580	0,35150	1,093	79,580	0,93	93,441	0,91	91,319	0,99	98,924	0,98	98,461
	6	0,374	0,1	0,2	0,020	0,020	0,186	0,090	0,177	1,4	2,1	0,56237	20,313	0,47275	1,090	21,313	0,90	89,631	0,84	83,613	0,96	96,037	0,95	95,401
	8	0,420	0,1	0,2	0,022	0,022	0,189	0,087	0,337	0,7	0,7	0,56237	1,927	0,80070	1,087	2,927	0,75	74,764	0,62	61,772	0,69	69,350	0,74	73,692
	10	0,439	0,1	0,2	0,023	0,024	0,196	0,088	0,178	1,4	0,9	0,56237	5,620	0,40498	1,088	6,620	0,90	90,071	0,88	88,063	0,98	97,984	0,97	97,392
	12	0,438	0,1	0,2	0,024	0,025	0,208	0,094	0,575	0,4	0,4	0,56237	0,846	1,31187	1,094	1,846	0,50	49,537	0,37	36,810	0,20	19,699	0,30	30,025
14	0,429	0,1	0,2	0,025	0,026	0,222	0,101	0,750	0,3	0,3	0,56237	0,602	1,75108	1,101	1,602	0,31	31,047	0,24	23,912	0,06	6,269	0,13	12,527	
1,36	0,354	0,1	0,2	0,010	0,010	0,180	0,089	0,142	1,3	2,2	0,56237	18,720	0,40159	1,089	19,720	0,91	91,118	0,88	88,278	0,98	98,058	0,97	97,472	
2	0,447	0,1	0,2	0,014	0,012	0,181	0,081	0,137	1,3	2,3	0,56237	20,985	0,30646	1,081	21,985	0,93	93,456	0,94	93,791	0,99	99,417	0,99	99,080	
4	0,558	0,1	0,2	0,020	0,017	0,184	0,078	0,152	1,2	2,0	0,56237	15,761	0,27171	1,078	16,761	0,94	94,210	0,95	95,473	1,00	99,660	0,99	99,416	
6	0,592	0,1	0,2	0,023	0,020	0,186	0,078	0,317	0,6	1,1	0,56237	2,992	0,53439	1,078	3,992	0,86	85,556	0,79	79,409	0,93	93,315	0,93	92,868	
8	0,607	0,1	0,2	0,026	0,022	0,189	0,079	0,243	0,8	0,6	0,56237	2,094	0,40017	1,079	3,094	0,91	90,555	0,88	88,367	0,98	98,088	0,98	97,505	
10	0,605	0,1	0,2	0,028	0,024	0,196	0,082	0,455	0,4	0,4	0,56237	0,862	0,75148	1,082	1,862	0,75	74,721	0,65	64,850	0,75	75,064	0,78	78,094	
12	0,582	0,1	0,2	0,030	0,026	0,208	0,088	0,413	0,5	0,5	0,56237	0,939	0,70957	1,088	1,939	0,77	76,779	0,68	67,554	0,80	79,580	0,82	81,596	
14	0,555	0,1	0,2	0,031	0,027	0,222	0,095	0,632	0,5	0,3	0,56237	0,835	1,13795	1,095	1,835	0,56	56,129	0,44	43,897	0,32	31,751	0,42	42,417	
1,36	0,354	0,1	0,2	0,010	0,010	0,180	0,089	0,109	3,0	4,9	0,56237	317,701	0,30847	1,089	318,701	0,95	95,159	0,94	93,687	0,99	99,399	0,99	99,057	
2	0,444	0,1	0,2	0,014	0,013	0,181	0,081	0,106	3,1	5,1	0,56237	380,548	0,23774	1,081	381,548	0,96	96,251	0,97	96,889	1,00	99,813	1,00	99,648	
4	0,556	0,1	0,2	0,020	0,017	0,184	0,078	0,182	1,7	2,7	0,56237	43,351	0,32792	1,078	44,351	0,93	93,476	0,93	92,650	0,99	99,211	0,99	98,814	
6	0,580	0,1	0,2	0,023	0,020	0,186	0,078	0,294	1,1	0,9	0,56237	4,380	0,50660	1,078	5,380	0,87	86,842	0,81	81,315	0,95	94,667	0,94	94,101	
8	0,586	0,1	0,2	0,026	0,023	0,189	0,080	0,319	1,0	0,9	0,56237	3,947	0,54494	1,080	4,947	0,85	85,475	0,79	78,685	0,93	92,745	0,92	92,360	
10	0,578	0,1	0,2	0,028	0,025	0,196	0,083	0,980	0,3	0,3	0,56237	0,649	1,69468	1,083	1,649	0,34	33,840	0,25	25,241	0,07	7,193	0,14	13,955	
12	0,552	0,1	0,2	0,030	0,026	0,208	0,089	0,639	0,3	0,5	0,56237	0,817	1,15823	1,089	1,817	0,55	55,255	0,43	43,001	0,30	30,054	0,41	40,787	
2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,182	1,4	2,3	0,56237	23,620	0,51563	1,089	24,620	0,89	88,970	0,81	80,697	0,94	94,251	0,94	93,717	
4	0,347	0,1	0,2	0,015	0,015	0,184	0,091	0,187	1,4	2,2	0,56237	22,511	0,53843	1,091	23,511	0,88	88,413	0,79	79,132	0,93	93,101	0,93	92,676	
5,21	0,343	0,1	0,2	0,017	0,017	0,185	0,093	0,171	1,6	2,4	0,56237	30,514	0,49932	1,093	31,514	0,90	89,666	0,82	81,812	0,95	94,986	0,94	94,399	
6	0,379	0,1	0,2	0,019	0,018	0,186	0,089	0,236	1,2	1,8	0,56237	12,304	0,62269	1,089	13,304	0,85	85,432	0,73	73,356	0,88	87,523	0,88	87,927	
8	0,442	0,1	0,2	0,022	0,020	0,189	0,085	0,157	1,9	0,9	0,56237	10,594	0,35527	1,085	11,594	0,92	91,842	0,91	91,100	0,99	98,872	0,98	98,398	
10	0,465	0,1	0,2	0,025	0,022	0,196	0,087	0,587	0,5	0,5	0,56237	0,988	1,26146	1,087	1,988	0,53	53,166	0,39	38,729	0,23	22,637	0,33	33,243	
12	0,459	0,1	0,2	0,027	0,024	0,208	0,093	0,631	0,4	0,4	0,56237	0,869	1,37488	1,093	1,869	0,48	47,648	0,35	34,555	0,17	16,571	0,26	26,417	
14	0,443	0,1	0,2	0,029	0,026	0,222	0,100	0,800	0,3	0,3	0,56237	0,625	1,80550	1,100	1,625	0,30	30,186	0,23	22,705	0,06	5,507	0,11	11,307	
2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,142	1,3	2,4	0,56237	23,226	0,40224	1,089	24,226	0,91	91,320	0,88	88,237	0,98	98,044	0,97	97,457	
3,15	0,349	0,1	0,2	0,014	0,014	0,182	0,090	0,129	1,5	2,6	0,56237	32,732	0,36902	1,090	33,732	0,92	92,347	0,90	90,285	0,99	98,664	0,98	98,154	
4	0,398	0,1	0,2	0,016	0,015	0,184	0,086	0,069	2,9	6,7	0,56237	555,412	0,17450	1,086	556,412	0,97	97,274	0,99	98,819	1,00	99,953	1,00	99,891	
6	0,471	0,1	0,2	0,020	0,017	0,186	0,082	0,381	0,5	0,5	0,56237	1,115	0,80807	1,082	2,115	0,73	72,653	0,61	61,321	0,68	68,466	0,73	73,012	
8	0,531	0,1	0,2	0,022	0,019	0,189	0,081	0,466	0,4	0,5	0,56237	0,885	0,87779	1,081	1,885	0,69	68,583	0,57						

Lampiran 6 Tabel Hasil Analisis Probabilitas Likuifaksi (Mw 6,5)

DATA TANAH		Haldar & Tang (1979)														Hwang dkk (2004)		Sonmez dan Gokceoglu (2005)		Juang dkk (2008)					
Titik Bor	H	KOEFSIEN VARIANSI CSR					KOEFSIEN VARIANSI CRR					PROBABILITAS				PL	PL (100%)	PL	PL (100%)	PL	PL (100%)				
		CSR	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q <sup>2</sup> CSR	CRR	Q1	Q2	Q3	Q <sup>2</sup> CRR	FS	1+Q <sup>2</sup> CSR							1+Q <sup>2</sup> CRR	PL	PL (100%)	
81	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,167	1,0	2,0	0,390012	10,250	0,47353	1,089	11,250	0,89	88,682	0,84	83,561	0,96	96,008	0,95	95,374	
	4	0,347	0,1	0,2	0,015	0,015	0,184	0,091	0,240	0,7	1,3	0,390012	3,641	0,69271	1,091	4,641	0,80	80,415	0,69	68,660	0,81	81,282	0,83	82,928	
	5,6	0,342	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,093	0,217	0,8	1,5	0,390012	4,845	0,63330	1,093	5,845	0,83	82,922	0,73	72,636	0,87	86,669	0,87	87,228	
	6	0,360	0,1	0,2	0,018	0,018	0,186	0,091	0,213	0,8	1,5	0,390012	5,117	0,59260	1,091	6,117	0,84	84,267	0,75	75,410	0,90	89,761	0,90	89,787	
	8	0,425	0,1	0,2	0,020	0,020	0,189	0,086	0,178	1,0	1,7	0,390012	8,195	0,41885	1,086	9,195	0,90	89,930	0,87	87,176	0,98	97,663	0,97	97,047	
	10	0,454	0,1	0,2	0,022	0,022	0,196	0,087	0,531	0,3	0,4	0,390012	0,445	1,16874	1,087	1,445	0,49	49,189	0,43	42,545	0,29	29,207	0,40	39,961	
	12	0,457	0,1	0,2	0,023	0,024	0,208	0,092	0,142	1,1	0,5	0,390012	2,405	0,30986	1,092	3,405	0,94	93,551	0,94	93,615	0,99	99,387	0,99	99,041	
	14	0,449	0,1	0,2	0,024	0,025	0,222	0,099	0,452	0,3	0,4	0,390012	0,493	1,00824	1,099	1,493	0,58	58,152	0,50	50,097	0,45	44,507	0,54	53,848	
	16	0,435	0,1	0,2	0,025	0,026	0,238	0,108	0,550	0,4	0,4	0,390012	0,531	1,26454	1,108	1,531	0,46	45,996	0,39	38,609	0,22	22,446	0,33	33,038	
	79	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,197	1,7	2,8	0,390012	41,245	0,56035	1,089	42,245	0,89	89,079	0,78	77,624	0,92	91,854	0,92	91,578
		4	0,347	0,1	0,2	0,016	0,016	0,184	0,091	0,190	1,9	3,0	0,390012	52,439	0,54789	1,091	53,439	0,90	89,675	0,78	78,481	0,93	92,580	0,92	92,214
		5,15	0,343	0,1	0,2	0,018	0,018	0,185	0,093	0,174	2,1	3,3	0,390012	72,952	0,50684	1,093	73,952	0,91	90,822	0,81	81,298	0,95	94,656	0,94	94,091
		6	0,374	0,1	0,2	0,020	0,020	0,186	0,090	0,255	1,4	2,1	0,390012	18,679	0,68167	1,090	19,679	0,85	85,206	0,69	69,390	0,82	82,357	0,84	83,775
		8	0,420	0,1	0,2	0,022	0,022	0,189	0,087	0,485	0,8	0,7	0,390012	1,628	1,15454	1,087	2,628	0,61	61,434	0,43	43,163	0,30	30,357	0,41	41,080
		10	0,439	0,1	0,2	0,023	0,024	0,196	0,088	0,256	1,4	0,9	0,390012	5,062	0,58395	1,088	6,062	0,85	84,537	0,76	76,003	0,90	90,353	0,90	90,287
		12	0,438	0,1	0,2	0,024	0,025	0,208	0,094	0,828	0,4	0,4	0,390012	0,638	1,89161	1,094	1,638	0,28	28,428	0,21	20,936	0,05	4,513	0,10	9,649
14		0,429	0,1	0,2	0,025	0,026	0,222	0,101	1,082	0,3	0,3	0,390012	0,414	2,52493	1,101	1,414	0,11	11,429	0,12	11,883	0,01	1,272	0,03	3,442	
34		1,36	0,354	0,1	0,2	0,010	0,010	0,180	0,089	0,205	1,3	2,2	0,390012	16,260	0,57906	1,089	17,260	0,87	86,987	0,76	76,339	0,91	90,678	0,91	90,564
		2	0,447	0,1	0,2	0,014	0,012	0,181	0,081	0,198	1,5	2,3	0,390012	21,878	0,44189	1,081	22,878	0,90	90,457	0,86	85,672	0,97	97,044	0,96	96,404
		4	0,558	0,1	0,2	0,020	0,017	0,184	0,078	0,219	1,4	2,0	0,390012	15,982	0,39178	1,078	16,982	0,91	91,281	0,89	88,893	0,98	98,259	0,98	97,694
		6	0,592	0,1	0,2	0,023	0,020	0,186	0,078	0,456	0,7	1,1	0,390012	2,696	0,77055	1,078	3,696	0,77	77,208	0,64	63,644	0,93	92,893	0,76	76,420
		8	0,607	0,1	0,2	0,026	0,022	0,189	0,079	0,350	0,9	0,6	0,390012	1,873	0,57701	1,079	2,873	0,84	83,579	0,76	76,479	0,91	90,811	0,91	90,678
		10	0,605	0,1	0,2	0,028	0,024	0,196	0,082	0,655	0,5	0,4	0,390012	0,674	1,08357	1,082	1,674	0,57	57,103	0,46	46,396	0,37	36,706	0,47	47,014
		12	0,582	0,1	0,2	0,030	0,026	0,208	0,088	0,596	0,5	0,5	0,390012	0,745	1,02314	1,088	1,745	0,61	60,507	0,49	49,342	0,43	42,883	0,52	52,640
		14	0,555	0,1	0,2	0,031	0,027	0,222	0,095	0,911	0,5	0,3	0,390012	0,615	1,64083	1,095	1,615	0,35	34,507	0,27	26,588	0,08	8,225	0,15	15,494
	33	1,36	0,354	0,1	0,2	0,010	0,010	0,180	0,089	0,157	3,0	4,9	0,390012	277,957	0,44479	1,089	278,957	0,93	93,303	0,85	85,481	0,97	96,959	0,96	96,317
		2	0,444	0,1	0,2	0,014	0,013	0,181	0,081	0,152	3,2	5,1	0,390012	352,779	0,34281	1,081	353,779	0,95	94,806	0,92	91,819	0,99	99,038	0,99	98,599
		4	0,556	0,1	0,2	0,020	0,017	0,184	0,078	0,263	1,8	2,7	0,390012	40,757	0,47284	1,078	41,757	0,91	90,677	0,84	83,608	0,96	96,033	0,95	95,398
		6	0,580	0,1	0,2	0,023	0,020	0,186	0,078	0,423	1,1	0,9	0,390012	3,969	0,73048	1,078	4,969	0,80	79,729	0,66	66,196	0,77	77,373	0,80	79,880
		8	0,586	0,1	0,2	0,026	0,023	0,189	0,080	0,461	1,1	0,9	0,390012	3,458	0,78576	1,080	4,458	0,78	77,577	0,63	62,695	0,71	71,121	0,75	75,056
		10	0,578	0,1	0,2	0,028	0,025	0,196	0,083	1,413	0,3	0,3	0,390012	0,448	2,44359	1,083	1,448	0,13	13,234	0,13	12,742	0,01	1,471	0,04	3,880
		12	0,552	0,1	0,2	0,030	0,026	0,208	0,089	0,921	0,3	0,5	0,390012	0,605	1,67007	1,089	1,605	0,33	33,471	0,26	25,847	0,08	7,645	0,15	14,635
		13	2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,262	1,4	2,3	0,390012	20,550	0,74350	1,089	21,550	0,84	84,303	0,65	65,359	0,76	75,952	0,79
4			0,347	0,1	0,2	0,015	0,015	0,184	0,091	0,269	1,5	2,2	0,390012	21,365	0,77637	1,091	22,365	0,84	83,805	0,63	63,280	0,72	72,219	0,76	75,901
5,21			0,343	0,1	0,2	0,017	0,017	0,185	0,093	0,247	1,7	2,4	0,390012	28,729	0,71998	1,093	29,729	0,86	85,577	0,67	66,875	0,78	78,494	0,81	80,750
6			0,379	0,1	0,2	0,019	0,018	0,186	0,089	0,340	1,2	1,8	0,390012	11,259	0,89786	1,089	12,259	0,79	79,358	0,56	56,036	0,57	57,472	0,64	64,447
8			0,442	0,1	0,2	0,022	0,020	0,189	0,085	0,226	2,0	0,9	0,390012	9,425	0,51227	1,085	10,425	0,88	87,609	0,81	80,927	0,94	94,408	0,94	93,861
10			0,465	0,1	0,2	0,025	0,022	0,196	0,087	0,846	0,5	0,5	0,390012	0,770	1,81892	1,087	1,770	0,33	33,066	0,22	22,419	0,05	5,336	0,11	11,028
12			0,459	0,1	0,2	0,027	0,024	0,208	0,093	0,910	0,5	0,4	0,390012	0,658	1,98247	1,093	1,658	0,27	26,862	0,19	19,239	0,04	3,685	0,08	8,203
14			0,443	0,1	0,2	0,029	0,026	0,222	0,100	1,154	0,3	0,3	0,390012	0,433	2,60339	1,100	1,433	0,11	11,077	0,11	11,117	0,01	1,110	0,03	3,075
15			2	0,352	0,1	0,2	0,010	0,010	0,181	0,089	0,204	1,3	2,4	0,390012	20,205	0,58000	1,089	21,205	0,87	87,393	0,76	76,274	0,91	90,616	0,91
	3,15		0,349	0,1	0,2	0,014	0,014	0,182	0,090	0,186	1,7	2,6	0,390012	33,745	0,53210	1,090	34,745	0,89	89,229	0,80	79,567	0,93	93,435	0,93	92,975
	4		0,398	0,1	0,2	0,016	0,015	0,184	0,086	0,100	3,2	6,7	0,390012	582,951	0,25162	1,086	583,951	0,96	96,253	0,96	96,340	1,00	99,759	1,00	99,563
	6		0,471	0,1	0,2	0,020	0,017	0,186	0,082	0,549	0,6	0,5	0,390012	0,953	1,16517	1,082	1,953	0,57	56,530	0,43	42,699	0,29	29,492	0,40	40,239
	8		0,531	0,1	0,2	0,022	0,019	0,189	0,081	0,672	0,5														

Lampiran 6 Tabel Hasil Analisis Probabilitas Likuifaksi (Mw 8,5)

DATA TANAH		Haldar & Tang (1979)														Hwang dkk (2004)		Sonmez dan Gokceoglu (2005)		Juang dkk (2008)					
Titik Bor	H	KOEFSIEN VARIANSI CSR							KOEFSIEN VARIANSI CRR							PROBABILITAS				PL	PL (100%)	PL	PL (100%)	PL	PL (100%)
		CSR	Ω1	Ω2	Ω3	Ω4	Ω5	Ω²CSR	CRR	Ω1	Ω2	Ω3	Ω²CRR	FS	1+Ω²CSR	1+Ω²CRR	PL	PL (100%)							
81	2	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.084	1.0	2.0	0.7748	14.626	0.23837	1.089	15.626	0.95	94.979	0.97	96.865	1.00	99.811	1.00	99.644	
	4	0.347	0.1	0.2	0.015	0.015	0.184	0.091	0.121	0.7	1.3	0.7748	5.447	0.34870	1.091	6.447	0.92	91.776	0.91	91.481	0.99	98.962	0.99	98.506	
	5,6	0.342	0.1	0.2	0.018	0.018	0.186	0.093	0.109	0.8	1.5	0.7748	7.118	0.31879	1.093	8.118	0.93	92.680	0.93	93.144	0.99	99.304	0.99	98.933	
	6	0.360	0.1	0.2	0.018	0.018	0.186	0.091	0.107	0.8	1.5	0.7748	7.496	0.29831	1.091	8.496	0.93	93.299	0.94	94.205	0.99	99.483	0.99	99.169	
	8	0.425	0.1	0.2	0.020	0.020	0.189	0.086	0.090	1.0	1.7	0.7748	11.772	0.21084	1.086	12.772	0.96	95.725	0.98	97.828	1.00	99.891	1.00	99.776	
	10	0.454	0.1	0.2	0.022	0.022	0.196	0.087	0.267	0.3	0.4	0.7748	1.007	0.58833	1.087	2.007	0.83	82.829	0.76	75.703	0.90	90.056	0.90	90.036	
	12	0.457	0.1	0.2	0.023	0.024	0.208	0.092	0.071	1.1	0.5	0.7748	3.729	0.15598	1.092	4.729	0.98	97.839	0.99	99.198	1.00	99.972	1.00	99.929	
	14	0.449	0.1	0.2	0.024	0.025	0.222	0.099	0.228	0.3	0.4	0.7748	1.074	0.50753	1.099	2.074	0.86	86.359	0.81	81.251	0.95	94.625	0.94	94.062	
	16	0.435	0.1	0.2	0.025	0.026	0.238	0.108	0.277	0.4	0.4	0.7748	1.126	0.63655	1.108	2.126	0.80	79.954	0.72	72.415	0.86	86.400	0.87	87.010	
	2	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.099	1.7	2.8	0.7748	57.678	0.28207	1.089	58.678	0.95	94.501	0.95	94.995	1.00	99.598	0.99	99.327	
	4	0.347	0.1	0.2	0.016	0.016	0.184	0.091	0.096	1.9	3.0	0.7748	69.273	0.27580	1.091	70.273	0.95	94.717	0.95	95.287	1.00	99.636	0.99	99.382	
	5,15	0.343	0.1	0.2	0.018	0.018	0.185	0.093	0.088	2.0	3.3	0.7748	95.752	0.25514	1.093	96.752	0.95	95.265	0.96	96.194	1.00	99.743	1.00	99.540	
6	0.374	0.1	0.2	0.020	0.020	0.186	0.090	0.128	1.4	2.1	0.7748	24.911	0.34315	1.090	25.911	0.93	92.677	0.92	91.799	0.99	99.033	0.99	98.593		
8	0.420	0.1	0.2	0.022	0.022	0.189	0.087	0.244	0.7	0.7	0.7748	2.558	0.58118	1.087	3.558	0.84	83.560	0.76	76.193	0.91	90.537	0.90	90.445		
10	0.439	0.1	0.2	0.023	0.024	0.196	0.088	0.129	1.4	0.9	0.7748	7.049	0.29395	1.088	8.049	0.93	93.450	0.94	94.421	1.00	99.516	0.99	99.214		
12	0.438	0.1	0.2	0.024	0.025	0.208	0.094	0.417	0.4	0.4	0.7748	1.244	0.95221	1.094	2.244	0.67	66.674	0.53	53.034	0.51	50.916	0.59	59.182		
14	0.429	0.1	0.2	0.025	0.026	0.222	0.101	0.545	0.3	0.3	0.7748	0.948	1.27102	1.101	1.948	0.52	52.081	0.38	38.357	0.22	22.048	0.33	32.609		
1,36	0.354	0.1	0.2	0.010	0.010	0.180	0.089	0.103	1.3	2.2	0.7748	22.975	0.29149	1.089	23.975	0.94	93.805	0.95	94.542	1.00	99.534	0.99	99.238		
2	0.447	0.1	0.2	0.014	0.012	0.181	0.081	0.100	1.3	2.3	0.7748	25.729	0.22244	1.081	26.729	0.95	95.488	0.97	97.444	1.00	99.861	1.00	99.726		
4	0.558	0.1	0.2	0.020	0.017	0.184	0.078	0.110	1.2	2.0	0.7748	19.377	0.19722	1.078	20.377	0.96	96.080	0.98	98.238	1.00	99.919	1.00	99.826		
6	0.592	0.1	0.2	0.023	0.020	0.186	0.078	0.230	0.6	1.1	0.7748	3.853	0.38789	1.078	4.853	0.91	90.676	0.89	89.135	0.98	98.334	0.98	97.778		
8	0.607	0.1	0.2	0.026	0.022	0.189	0.079	0.176	0.8	0.6	0.7748	2.761	0.29046	1.079	3.761	0.94	94.203	0.95	94.592	1.00	99.541	0.99	99.248		
10	0.605	0.1	0.2	0.028	0.024	0.196	0.082	0.330	0.4	0.4	0.7748	1.264	0.54546	1.082	2.264	0.85	84.860	0.79	78.649	0.93	92.716	0.92	92.335		
12	0.582	0.1	0.2	0.030	0.026	0.208	0.088	0.300	0.5	0.5	0.7748	1.358	0.51504	1.088	2.358	0.86	86.040	0.81	80.738	0.94	94.279	0.94	93.743		
14	0.555	0.1	0.2	0.031	0.027	0.222	0.095	0.458	0.5	0.3	0.7748	1.231	0.82597	1.095	2.231	0.72	71.860	0.60	60.235	0.66	66.299	0.71	71.339		
1,36	0.354	0.1	0.2	0.010	0.010	0.180	0.089	0.079	3.0	4.9	0.7748	386.470	0.22390	1.089	387.470	0.96	96.434	0.97	97.393	1.00	99.857	1.00	99.719		
2	0.444	0.1	0.2	0.014	0.013	0.181	0.081	0.077	3.1	5.1	0.7748	462.878	0.17256	1.081	463.878	0.97	97.258	0.99	98.863	1.00	99.956	1.00	99.895		
4	0.556	0.1	0.2	0.020	0.017	0.184	0.078	0.132	1.7	2.7	0.7748	52.921	0.23802	1.078	53.921	0.95	95.380	0.97	96.878	1.00	99.812	1.00	99.646		
6	0.580	0.1	0.2	0.023	0.020	0.186	0.078	0.213	1.1	0.9	0.7748	5.541	0.36772	1.078	6.541	0.91	91.319	0.90	90.364	0.99	98.685	0.98	98.178		
8	0.586	0.1	0.2	0.026	0.023	0.189	0.080	0.232	1.0	0.9	0.7748	5.015	0.39554	1.080	6.015	0.90	90.422	0.89	88.658	0.98	98.184	0.98	97.611		
10	0.578	0.1	0.2	0.028	0.025	0.196	0.083	0.711	0.3	0.3	0.7748	1.004	1.23007	1.083	2.004	0.55	54.560	0.40	39.978	0.25	24.684	0.35	35.400		
12	0.552	0.1	0.2	0.030	0.026	0.208	0.089	0.464	0.3	0.5	0.7748	1.209	0.84070	1.089	2.209	0.71	71.320	0.59	59.355	0.65	64.501	0.70	69.948		
2	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.132	1.4	2.3	0.7748	28.932	0.37427	1.089	29.932	0.92	92.133	0.90	89.969	0.99	98.578	0.98	98.054		
4	0.347	0.1	0.2	0.015	0.015	0.184	0.091	0.135	1.4	2.2	0.7748	27.584	0.39082	1.091	28.584	0.92	91.726	0.89	88.953	0.98	98.278	0.98	97.715		
5,21	0.343	0.1	0.2	0.017	0.017	0.185	0.093	0.124	1.6	2.4	0.7748	37.313	0.36243	1.093	38.313	0.93	92.586	0.91	90.679	0.99	98.767	0.98	98.274		
6	0.379	0.1	0.2	0.019	0.018	0.186	0.089	0.171	1.2	1.8	0.7748	15.175	0.45197	1.089	16.175	0.90	89.714	0.85	85.005	0.97	96.739	0.96	96.095		
8	0.442	0.1	0.2	0.022	0.020	0.189	0.085	0.114	1.9	0.9	0.7748	13.096	0.25787	1.085	14.096	0.94	94.485	0.96	96.079	1.00	99.731	1.00	99.521		
10	0.465	0.1	0.2	0.025	0.022	0.196	0.087	0.426	0.5	0.5	0.7748	1.417	0.91562	1.087	2.417	0.69	69.018	0.55	55.304	0.55	55.304	0.63	62.724		
12	0.459	0.1	0.2	0.027	0.024	0.208	0.093	0.458	0.4	0.4	0.7748	1.273	0.99795	1.093	2.273	0.65	65.030	0.51	50.624	0.46	45.650	0.55	54.815		
14	0.443	0.1	0.2	0.029	0.026	0.222	0.100	0.581	0.3	0.3	0.7748	0.976	1.31051	1.100	1.976	0.51	51.016	0.37	36.860	0.20	19.772	0.30	30.107		
2	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.103	1.3	2.4	0.7748	28.453	0.29196	1.089	29.453	0.94	93.899	0.95	94.519	1.00	99.530	0.99	99.234		
3,15	0.349	0.1	0.2	0.014	0.014	0.182	0.090	0.093	1.5	2.6	0.7748	40.010	0.26785	1.090	41.010	0.95	94.587	0.96	95.646	1.00	99.681	0.99	99.447		
4	0.398	0.1	0.2	0.016	0.015	0.184	0.086	0.050	2.9	6.7	0.7748	675.474	0.12666	1.086	676.474	0.98	98.014	1.00	99.628	1.00	99.989	1.00	99.968		
6	0.471	0.1	0.2	0.020	0.017	0.186	0.082	0.276	0.5	0.5	0.7748	1.571	0.58653	1.082	2.571	0.83	83.024	0.76	75.286	0.90	90.178	0.90	90.139		
8	0.531	0.1	0.2	0.022	0.019	0.189	0.081	0.338	0.4	0.5	0.7748	1.292	0.63714	1.081	2.292	0.81	80.724	0.72	72.375	0.86	86.351	0.87	86.970		
10	0.564	0.1	0.2	0.024	0.019	0.196	0.083	0.280	0.5	0.5	0.7748	1.511	0.49534	1.083	2.511	0.87	86.931	0.82	82.083	0.95	95.155	0.95	94.558		
12	0.570	0.1	0.2	0.025	0.020	0.208	0.088	0.409	0.3	0.4	0.7748	1.016	0.71695	1.088	2.016	0.77	76.537	0.67	67.072	0.79	78.812	0.81	80.997		
2	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.076	3.8	6.2	0.7748	986.840	0.21536	1.089	987.840	0.97	96.925	0.98	97.682	1.00	99.880	1.00	99.758		
2,09	0.352	0.1	0.2	0.010	0.010	0.181	0.089	0.075	3.9	6.3	0.7748	1067.893	0.21422	1.089	1068.893	0.97	96.969	0.98	97.720	1.00	99.883	1.00	99.762		
4	0.497	0.1	0.2	0.016	0.014	0.184	0.080	0.117	2.4	3.7	0.7748	160.425	0.23511	1.080	161.425	0.96	95.902	0.97	96.988	1.00					