

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DI TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL SERPONG

Eko Rudi Iswanto¹⁾, Heri Syaeful²⁾, Sriyana³⁾

¹⁾³⁾ PKSEN-BATAN, Jl. Kuningan Barat Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710

²⁾ PTBGN-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya Lebak Bulus, Jakarta Selatan 12440

email: ekorudi@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DI TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL SERPONG. Fenomena berubahnya sifat sedimen dari keadaan padat menjadi keadan cair yang disebabkan oleh tegangan geser pada saat gempa yang terjadi bolak balik disebut dengan likuifaksi. Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan berat hingga kegagalan struktur. Analisis potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada lokasi RDE bangunan reaktor. Analisis dilakukan dengan metode *simplified* dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT). Dari data tersebut, kemudian dapat dihitung nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistant Ratio* (CRR) dan *Safety Factor* (SF). Berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan, disimpulkan bahwa area bangunan reaktor memiliki lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi pada kedalaman 2 hingga 6 meter dan pada kedalaman 24 meter.

Kata kunci: likuifaksi, *Standard Penetration Test*, *Cyclic Stress Ratio*, *Cyclic Resistant Ratio*

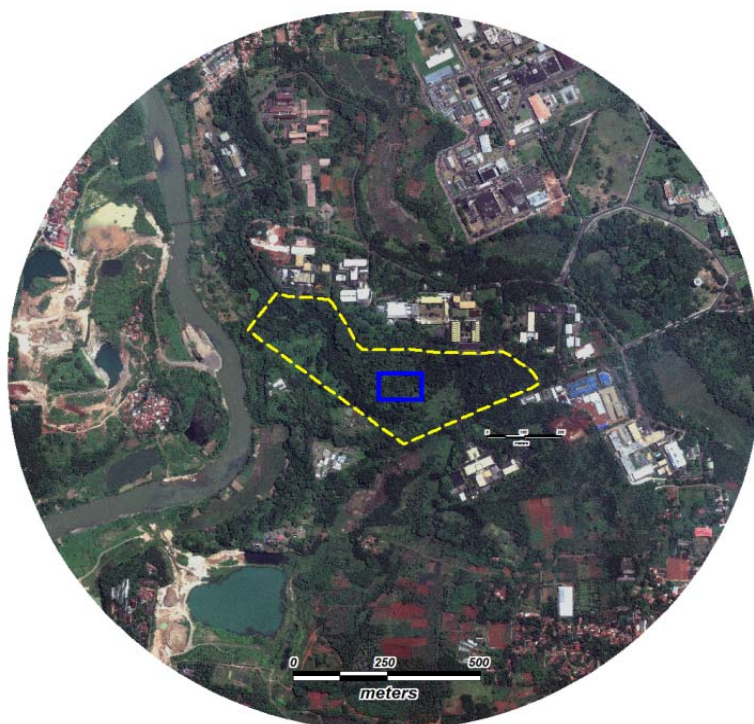
ABSTRACT

POTENTIAL LIQUEFACTION AT EXPERIMENTAL POWER REACTOR SITE, SERPONG. The phenomenon of changing the nature of the sediment from solid state to a liquid state caused by shear stress at the time of an alternating earthquake is called liquefaction. Liquefaction can cause severe damage. Liquefaction analysis aims to determine the potential for liquefaction at the site of RDE especially the reactor building. The analysis was done by simplified method by using *Standard Penetration Test* (SPT) data. From these data, then can be calculated *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistant Ratio* (CRR) and *Safety Factor* (SF). Based on the calculation analysis, it is concluded that the reactor building area has a potentially liquefaction soil layer at depth of 2 to 6 meters and at depth 24 meters.

Keywords: *liquefaction*, *Standard Penetration Test*, *Cyclic Stress Ratio*, *Cyclic Resistant Ratio*

PENDAHULUAN

Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di Serpong merupakan calon lokasi untuk pembangunan fasilitas nuklir dengan persyaratan keselamatan yang tinggi sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Ancaman keselamatan ini dapat ditimbulkan dari bencana alam seperti gempa bumi. Salah satu permasalahan yang ditimbulkan dari gempa bumi antara lain adalah bahaya likuifaksi. Likuifaksi merupakan suatu proses menurunnya kuat geser pada tanah dengan kepadatan lepas, nilai kohesi dan indeks plastisitas yang rendah [1]. Struktur di dalam tanah akan mengalami perubahan susunan dimana tergantung pada kekuatan tanah. Jika kekuatan tanah menurun hingga ke suatu nilai dimana tidak mampu menahan beban struktur, maka pergeseran tanah akan terjadi. Akan tetapi jika sebaliknya, maka akan terjadi penurunan level tanah [2]. Baik pergeseran tanah maupun penurunan level tanah ini tidak akan terjadi pada kondisi tanpa beban artinya tidak adanya beban diatas tanah yang dimaksud [3]. Apabila tegangan efektif tanah bernilai nol maka tanah mengalami proses likuifaksi. Sebagai contoh pada tanah pasir yang jenuh apabila terjadi gempa dapat berpotensi terjadinya likuifaksi. Hal ini mengakibatkan kemampuan tanah dalam menahan beban akan menurun.



Gambar 1. Peta lokasi tapak RDE Serpong^[4]

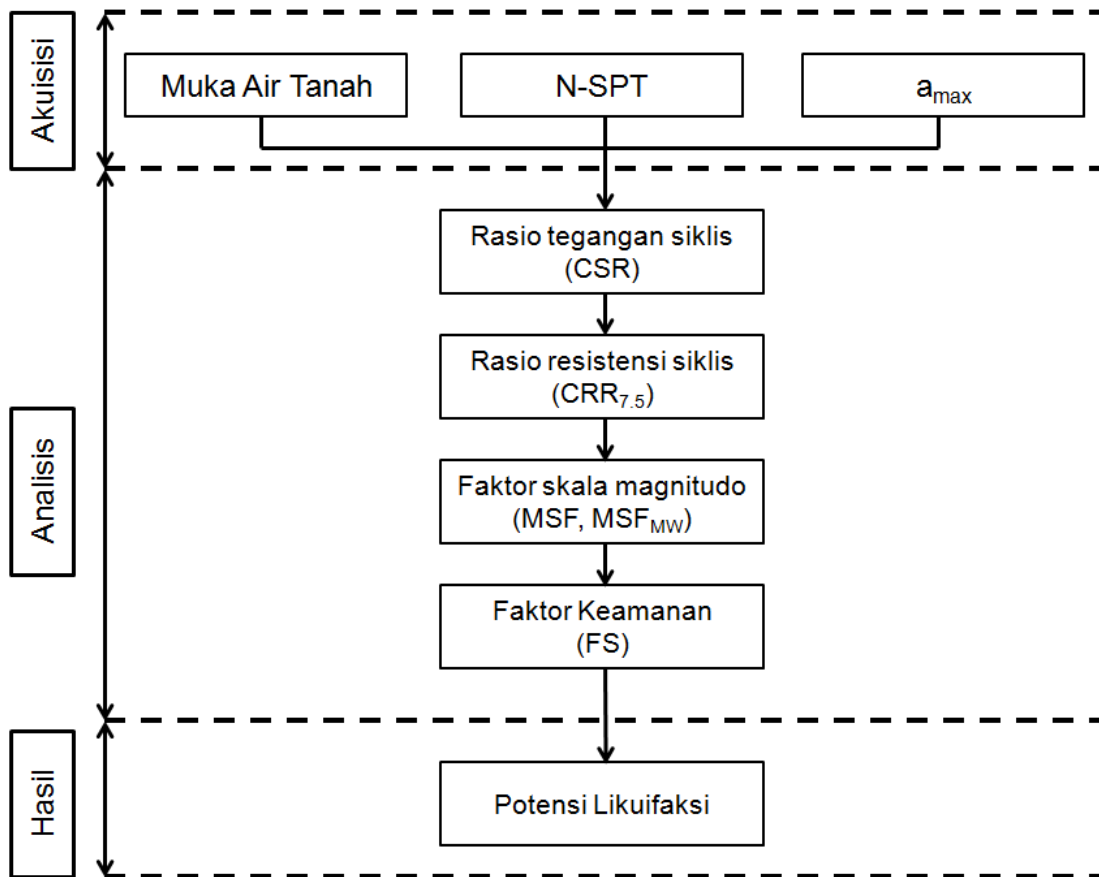
Seed pertama kali mengemukakan ide likuifaksi melalui percobaannya pada pasir dimana terjadinya likuifaksi bergantung pada angka rasio pori atau densitas relatif pasir dan tekanan vertical [5]. Housner dan Jennings [6] membahas secara khusus tentang pembentukan semburan pasir (sand boils) dari segi porositas tanah, permeabilitas, elastisitas, dan tingkat konsolidasi. Semburan pasir (sand boils) disebabkan oleh ketidakseragaman homogenitas dekat permukaan tanah. Scott and Zuckerman [7] menjelaskan bahwa potensi semburan pasir akan muncul bilamana pada lapisan permukaan (diatas lapisan yang cair) dijumpai adanya lanau atau sejenisnya. Lebih lanjut Adailer [8] mengatakan bahwa permeabilitas yang rendah dan adanya kohesi di bagian teratas dari lapisan atas akan menyebabkan semburan pasir yang besar.

Adapun tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi potensi likuifaksi yang mungkin terjadi pada tapak reaktor RDE di Serpong khususnya pada bangunan reaktor. Diharapkan hasil studi ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam kegiatan perencanaan bangunan sipil pada fasilitas nukir RDE di Serpong.

METODOLOGI

Telah banyak dilakukan beberapa percobaan dan analisis data lapangan terkait potensi likuifaksi [9,10]. Sebagai contoh adalah metode praktis dimana metode analisis ini dilakukan dengan menggunakan data pengujian lapangan seperti *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT), dan uji boring. Disamping itu, potensi likuifaksi juga dapat dilakukan berdasarkan uji di laboratorium seperti analisa butiran. Dari beberapa metode tersebut, metode analisis dengan menggunakan data SPT merupakan metode yang paling sering digunakan mengingat kemudahan akan pelaksanaannya.

Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode simplified yang diusulkan kembangkan oleh Youd [11]. Dimulai dengan pengambilan data tanah dari lapangan seperti nilai N-SPT dan profil tanah, kemudian pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai-nilai seperti adalah kelembaban, berat jenis, berat volume, dan parameter tegangan geser tanah. Setelah diperoleh data lapangan dan data laboratorium, *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dapat dihitung. Langkah selanjutnya adalah perhitungan faktor keamanan atau *Safety Factor* (SF). Jika nilai $SF < 1$ maka tanah akan terlikuifaksi sedangkan apabila nilai $SF > 1$ maka tidak akan terjadi likuifaksi. Langkah-langkah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir langkah penelitian^[12]

Perhitungan Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Nilai CSR pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma'_{vo}}{\sigma_{vo}}\right) \times r_d \tag{1}$$

dimana a_{max} adalah percepatan tanah maksimum akibat gempa (dari hasil studi diperoleh 0.29g), g adalah percepatan gravitasi, σ_{vo} adalah tegangan total vertikal overburden, σ'_{vo} adalah tegangan efektif vertikal overburden, r_d adalah koefisien tegangan reduksi. Untuk rasio tegangan total dan tegangan efektif dihitung dengan persamaan berikut[8]:

$$\sigma_{vo} = h\gamma_w + (h_A - h)\gamma_{sat} \tag{2}$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma - u \tag{3}$$

dimana σ_{vo} adalah tegangan total vertikal overburden, γ_w adalah berat volume air, γ_{sat} adalah berat volume tanah jenuh air, h adalah tinggi muka air diukur dari permukaan tanah, h_A adalah jarak antara titik A dengan muka air. Sedangkan u adalah tekanan pori yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$u = h_A \times \gamma_w \tag{4}$$

Koefisien tegangan reduksi (r_d) dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut [9]:

$$r_d = 1.30 - 0.00765z \dots z \leq 9.15m \tag{5a}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \dots 9.15m \leq z \leq 23m \tag{5b}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \dots\dots 23 \leq z \leq 30m \dots\dots(5c)$$

$$r_d = 0.5z \dots\dots z \geq 9.15m \dots\dots(5d)$$

Perhitungan Nilai Resistance Ratio (CRR)

Besarnya nilai CRR dapat dihitung dari data N-SPT yang telah dikoreksi. Menurut Youd dan Iddris, perhitungan tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots(6)$$

dimana $(N_1)_{60}$ adalah N-SPT terkoreksi, N_{SPT} adalah nilai N-SPT yang diperoleh dari uji lapangan, C_N adalah faktor normalisasi N_{SPT} terhadap tegangan overburden, C_E adalah koreksi rasio energi hammer, C_B adalah koreksi untuk diameter lubang bor, C_R adalah faktor koreksi dari panjang batang dan C_S adalah koreksi untuk sampel [13]. Adapun nilai dari masing-masing faktor koreksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai faktor koreksi untuk nilai $(N_1)_{60}$ [13]

Faktor	Variabel Peralatan	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$\frac{2.2}{\left(1.2 + \left(\frac{\sigma_{vs}}{P_s}\right)\right)}$
Rasio tenaga	Palu donat (<i>donut hammer</i>)	C_N	$C_N \leq 1.7$
	Palu pengaman (<i>safety hammer</i>)	C_E	0.5 – 1.0
	Palu otomatis (<i>automatic-trip donut-type hammer</i>)	C_E	0.7 – 1.2
Diameter bor	65 – 115 mm	C_B	1.0
	150 mm	C_B	1.05
	200 mm	C_B	1.15
Panjang batang	< 3 m	C_R	0.75
	3 – 4 m	C_R	0.8
	4 – 6 m	C_R	0.85
	6 – 10 m	C_R	1.0
	10 – 30 m	C_R	1.0
Pengambilan contoh	Tabung standar	C_S	1.0
	Tabung dengan pelapis (<i>liner</i>)	C_S	1.1 – 1.3

Lebih lanjut Youd dan Idris menyebutkan nilai fines content (FC) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$(N_1)_{60FC} = \alpha + [\beta \times (N_1)_{60}] \dots\dots (7)$$

dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase fines content (FC) sebagai mana dapat dilihat pada Table 2 berikut:

Tabel 2. Nilai α dan β untuk masing-masing prosentase FC^[13]

FC	Nilai	
	α	β
$FC \leq 5\%$	$\alpha = 0$	$\beta = 0$
$5\% < FC < 35\%$	$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right]$	$\beta = \left[0.99 - \left(\frac{FC^{1.2}}{1000} \right) \right]$
$FC \geq 35\%$	$\alpha = 5$	$\beta = 1.2$

Pada pasir murni dengan besaran skala gempa $M_w = 7.5$ dan $(N_1)_{60cs} > 37.5$ maka nilai $CRR_{7.5} = 2$, dikarenakan tanah kuat menahan beban gempa sehingga tidak perlu dievaluasi. Sedangkan nilai CRR pada besaran skala gempa $M_w = 7.5$ dengan nilai $(N_1)_{60cs} < 37.5$ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{0.1 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{177} + \frac{20}{[20(N_1)_{60cs} + 42]^2} - \frac{1}{200} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Nilai CRR pada besaran skala gempa selain $M_w = 7.5$ diperlukan faktor koreksi yaitu magnitude scale factor (MSF) sebagai berikut:

$$M_w < 7.5, MSF = \frac{10^{0.24M_w}}{M_w^{0.24}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$M_w > 7.5, MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.26} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga nilai CRR pada skala gempanya adalah:

$$CRR_{M_w} = CRR_{7.5} \times MSF \times K_\sigma \times K_\alpha \quad \dots\dots\dots(11)$$

Untuk variable K_σ dan K_α pada umumnya bernilai 1.

Potensi Likuifaksi

Langkah selanjutnya adalah perhitungan faktor keamanan atau *safety factor* (SF) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{CBR_{M_w}}{CBR} \quad \dots\dots\dots(12)$$

Apabila nilai $FS \leq 1$ berarti tanah memiliki potensi terlikuifaksi, akan tetapi jika sebaliknya maka tidak memiliki potensi terlikuifaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemboran geoteknik

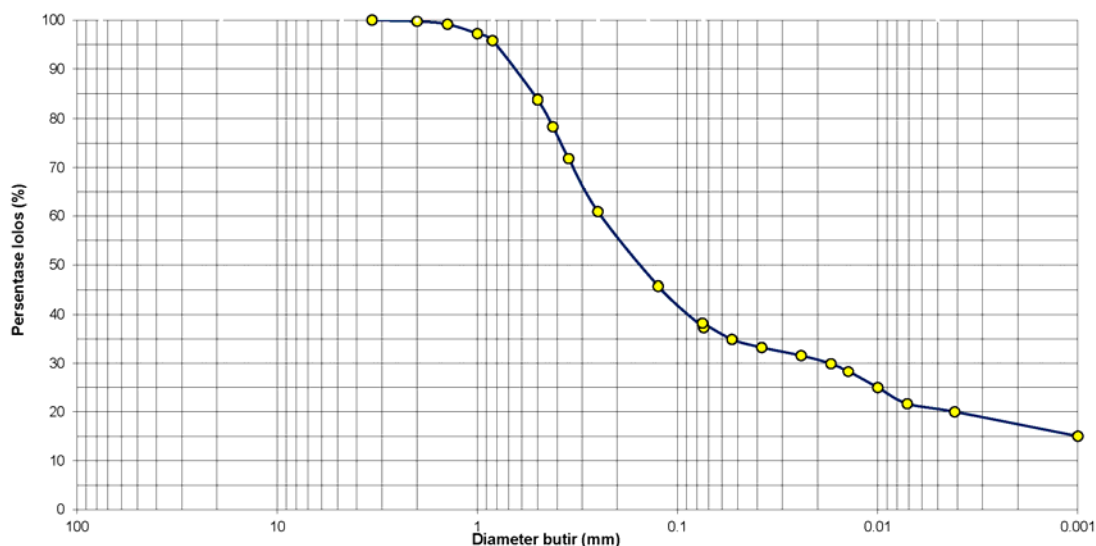
Dalam studi ini hanya menggunakan data bor DH 11 hal ini dikarenakan lokasi lubang bor berada di area bangunan reaktor sehingga sangat mewakili kondisi bawah permukaan dari lokasi studi. Hasil dari pemboran geoteknik yang meliputi antara lain deskripsi material dan nilai N-SPT setiap kedalaman yang ditinjau pada lubang bor DH 11 dapat dilihat pada Table 3. Lapisan pasir lepas dijumpai mulai kedalaman 3 m dengan muka air tanah pada DH 11 ini berada di kedalaman 2 m.

Tabel 3. Hasil eksplorasi tanah DH 11 [8]

Kedalaman (m)	Deskripsi material	N-SPT
0.00 – 2.00	clay to silt	12
2.00 – 3.00	clayey to silty sand, yellowbrown	12
3.00 – 6.00	silty to clayey sand, light brown	17
6.00 – 9.00	silty to clayey sand, light brown	39
9.00 – 12.00	silty to clayey sand, light brown	41
12.00 – 15.00	silty to clayey sand, light brown	54
15.00 – 18.00	silty to clayey sand, light brown	37
18.00 – 21.00	sandy claystone 3	53
21.00 – 24.00	sandy claystone 3	30
24.00 – 27.00	sandy claystone 3	37

Hasil uji laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan dalam rangka mengetahui pembagian ukuran butir tanah (gradasi butir). Pengujian ini terdiri dari dua jenis yaitu pengujian analisa saringan dan pengujian hydrometer. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3, berdasarkan pengujian diperoleh hasil bahwa sekitar 63 % dari tanah sampel tertahan pada saringan No. 200 (0.075 mm) yang artinya tanah tersebut merupakan tanah berbutir kasar.

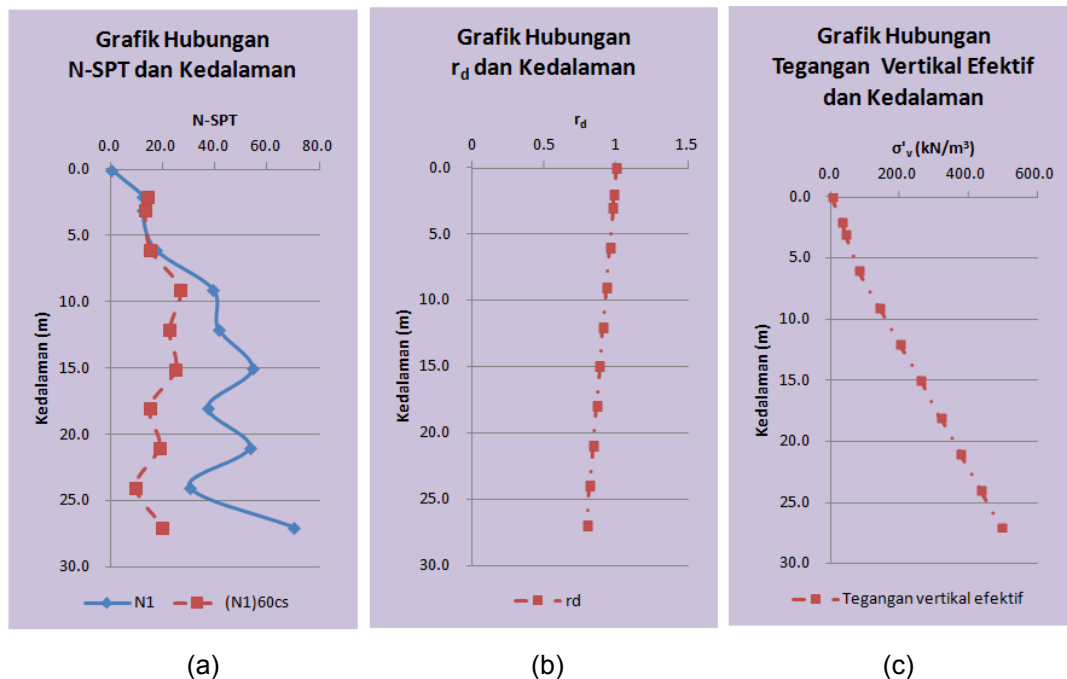


Gambar 3. Distribusi butir hasil analisa ayakan DH-11 [4]

Likuifaksi

Gambar 4(a) menunjukkan nilai N-SPT sebelum dan setelah terkoreksi untuk masing-masing lapisan tanah. Pada pengujian SPT, penggunaan tipe palu dan sistem penjatuhan palu yang berlainan akan menghasilkan nilai N-SPT yang berbeda-beda. Maka dari itu, nilai tersebut harus dikoreksi terhadap standar energi 60%. Nilai N-SPT terkoreksi lebih kecil dari

nilai awal dan secara umum akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini menunjukkan bahwa pada lapisan bawah, tanah memiliki daya dukung yang lebih besar. Untuk besarnya nilai reduksi tegangan dari tiap lapisan tanah ditunjukkan pada Gambar 4(b). Pada permukaan tanah nilai reduksi tegangan adalah sama dengan 1 (satu) dan akan semakin menurun seiring dengan kedalaman.



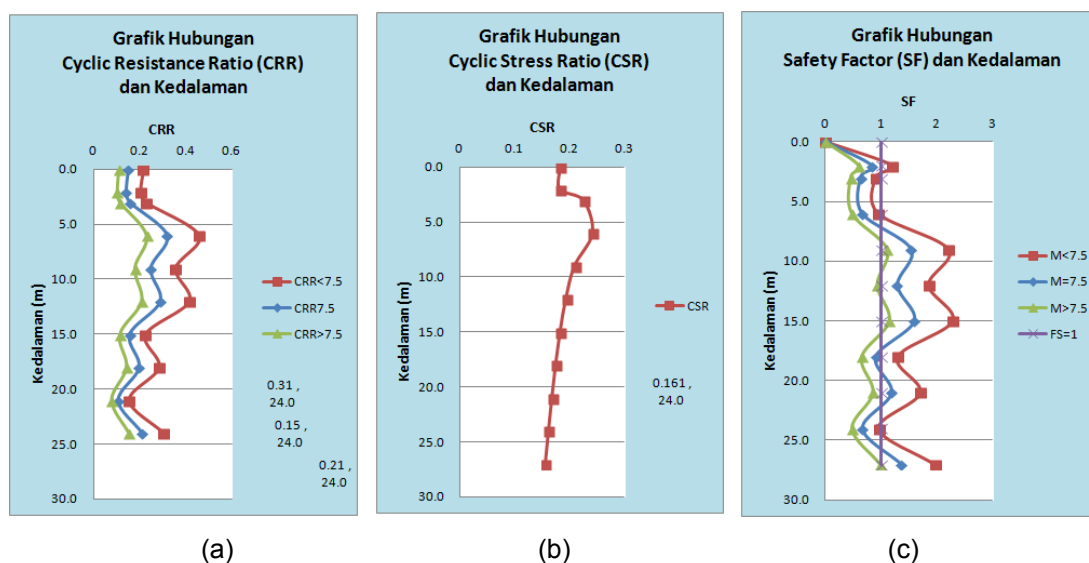
Gambar 4. Variasi dari (a) nilai N-SPT, (b) faktor reduksi r_d , dan (c) tegangan efektif dan overburden dengan kedalaman

Tegangan yang terjadi akibat berat tanah efektif (yang terdendam air) di dalam tanah disebut tegangan vertikal efektif yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Nilai tegangan vertikal efektif 495 kN/m² pada kedalaman 27m ditunjukkan pada Gambar 4(c).

Rasio resistansi siklik (CRR), rasio tegangan siklik (CSR), dan faktor keamanan (SF) dari masing-masing lapisan tanah ditunjukkan pada Gambar 5(a) – (c). Nilai ketahanan lapisan tanah terhadap tegangan siklis dapat dilihat pada Gambar 5(a) dimana perhitungan dilakukan pada tiga jenis magnitudo gempa (M_w) yang berlainan yaitu masing-masing $M_w < 7,5$, $M_w = 7,5$ dan $M_w > 7,5$. Sedangkan CSR yang merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata akibat gempa dengan tegangan vertikal efektif di setiap lapisan ditunjukkan pada Gambar 5(b) dimana nilai CSR dari permukaan hingga kedalaman uji sebesar 0.15 – 0.24.

Gambar 5(c) menjelaskan hubungan faktor keamanan (SF) dengan kedalaman. Lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi dengan magnitudo gempa (M_w) masing-masing $M_w < 7,5$, $M_w = 7,5$ dan $M_w > 7,5$ adalah lapisan yang berada di sebelah kiri garis SF, sedangkan lapisan yang aman terhadap likuifaksi adalah lapisan yang berada di sebelah kanan garis SF. Semakin besar M_w maka SF akan semakin kecil. Sebagai contoh pada kedalaman 6 m dengan $M_w < 7,5$ maka nilai SF adalah 0.95 sedangkan pada kedalaman yang sama dengan $M_w > 7,5$ diperoleh nilai SF 0.48. Secara umum lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi terjadi pada lapisan yang memiliki nilai N-SPT yang rendah. N-SPT mencirikan tingkat perlawanan lapisan terhadap tumbukan yang dapat diinterpretasikan menjadi tingkat kepadatan tanah. N-SPT yang rendah mencerminkan bahwa materialnya bersifat lepas (memenuhi kriteria likuifaksi). Hal itu pula yang menyebabkan nilai CRR menjadi lebih rendah dibandingkan nilai nilai CSR sehingga nilai faktor keamanan kurang

dari satu. Selain itu, semakin besar periode ulang guncangan gempa yang digunakan, maka lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi akan semakin meningkat. Jadi lapisan yang mempunyai potensi terlikuifaksi adalah lapisan di kedalaman 2-6m dan 24m.



Gambar 5. Variasi dari (a) nilai CRR, (b) CSR, dan (c) SF dengan kedalaman

KESIMPULAN

Besarnya nilai SF merupakan indikator dimana suatu area studi memiliki potensi likuifaksi atau tidak memiliki potensi likuifaksi. Besarnya SF berbanding linier dengan magnitude gempa. Semakin besar magnitude gempa suatu area studi maka nilai SF juga akan meningkat sehingga potensi likuifaksi akan naik. Likuifaksi akan berdampak pada struktur reaktor yang mana mensyaratkan keselamatan tinggi. Dapat disimpulkan bahwa area bangunan reaktor memiliki lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi pada kedalaman 2 hingga 6 meter dan pada kedalaman 24 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Tenaga Nuklir yang telah membantu baik dalam bentuk fasilitas, dana maupun peralatan bagi keberhasilan dan kelancaran kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ibrahim Kamal, 2014. "Liquefaction analysis of alluvial soil deposits in Beda south west of Cairo". *Ain Shams Engineering Journal.*, vol. 5, pp. 647-655
2. Dashti S, Bray JD, Pestana JM, Riemer M, Wilson D. "Mechanisms of seismically induced settlement of buildings with shallow foundations on liquefiable soil." *J Geotech Geoenviron Eng* 2010;136(1):151-64.
3. Ishihara K, Yoshimine M. "Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes." *Soils Found* 1992;32(1):173-88.
4. BATAN, "Laporan Evaluasi Tapak RDE Aspek Geoteknik dan Pondasi". Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta, Indonesia, 2016.
5. Seed HB. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. *J Geotechn Eng Div ASCE* 1979; 105(2):201-55.
6. Housner GW, Jennings PC. Generation of artificial earthquakes. *ASCE J Eng Mech Div* 1964;90:113-50.
7. Scott RF, Zuckerman KA. Sand blows and liquefaction, The Great Alaska Earthquake of 1964-engineering publication 1606. Washington DC: National Academy of Sciences; 1972, p. 179-89.

-
8. Adalier K. Post-liquefaction behavior of soil systems. I.S. Thesis, Dept of Civil Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY; 1992
 9. Acacio AA, Kobayashi Y, Towhata I, Bautista RT, Ishihara K. Subsidence of building foundation resting upon liquefied subsoil case studies and assessment. *Soils Found* 2001;41(6):111–28.
 10. Sancio RB, Bray JD, Stewart JP, Youd TL, Durgunoglu HT, Onalp A, et al. Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey. *Soil Dyn Earthq Eng* 2002;22(9–12):1093–102.
 11. Youd, T.L. (2004): "Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 CEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.
 12. Lonteng, C. V. D., dkk., 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di PT. PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2x25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 1 no. 11, Oktober 2013, pp. 705-717.
 13. Youd, T. L., Idriss, I. M., dkk., 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1. *Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 127(10), 817-33.