

ANALISIS KOMPARATIF RISIKO LIKUEFAKSI DENGAN PENDEKATAN EMPIRIS BERDASARKAN NILAI STANDART PENETRATION TEST (SPT) STUDI KASUS: CENTRAL BUSINESS DISTRICT, PIK II

Rani Novia Rhama Delia¹
Universitas Bung Hatta
deliarani09@gmail.com

Indra Farni²
Universitas Bung Hatta
indrafarni@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana gempa bumi dan fenomena likuefaksi. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi likuefaksi di kawasan *Central Business District* (CBD) Pantai Indah Kapuk II, menggunakan pendekatan empiris berdasarkan data *Standard Penetration Test* (SPT). Metode yang digunakan adalah analisis komparatif antara metode Youd et al. (2001) dan *Hyperbolic Function* (HBF) (2012) dengan validasi menggunakan program LiqIT v.4.7.7.5. Data penelitian meliputi lima titik uji SPT dengan variasi magnitudo gempa Mw 6,1; Mw 6,8; dan Mw 7,5 serta percepatan tanah maksimum (PGA) sebesar 0,082g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode HBF menghasilkan nilai *Safety Factor* (SF) yang lebih konservatif, dengan Faktor keamanan mencapai 0,084 hingga 17,684 pada metode HBF dan 0,758 hingga 13,630 pada metode Youd et al sedangkan pogram LiqIT 0,730 hingga 5,000. Nilai faktor keamanan Mw 6,1 dan Mw 6,8 yang pastinya memiliki faktor keamanan yang cukup tinggi sedangkan pada Mw 7,5 memiliki faktor keamanan terendah karena kekuatan gempa yang tinggi.

Kata Kunci: *Likuefaksi, Standard Penetration Test, Tanah Reklamasi, Analisis Empiris*

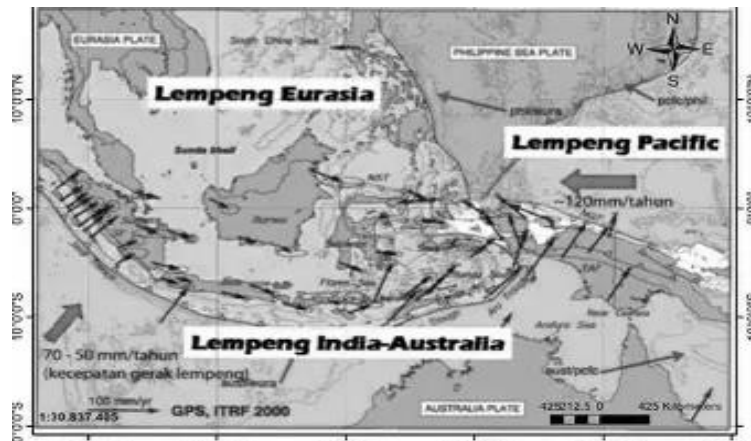
ABSTRACT

Indonesian, located at the confluence of three major tectonic plates, has a high vulnerability to earthquakes and liquefaction phenomena. This study aims to analyze liquefaction potential in the Central Business District (CBD) of Pantai Indah Kapuk II, using empirical approaches based on Standard Penetration Test (SPT) data. The methodology employed comparative analysis between Youd et al. (2001) and Hyperbolic Function (HBF) (2012) methods with validation using LiqIT v.4.7.7.5 software. Research data included five SPT test points with earthquake magnitude variations of Mw 6.1, Mw 6.8, and Mw 7.5, and peak ground acceleration (PGA) of 0.082g. The findings indicate that the HBF method yields more conservative Safety Factor (SF) estimates, with values ranging from 0.084 to 17.684, in contrast to the Youd et al. method's SF range of 0.758 to 13.630. Validation using LiqIT produced SF values between 0.730 and 5.000. For Mw 6.1 and Mw 6.8, the computed SFs denote a satisfactorily high safety margin, whereas the lowest SFs were obtained for Mw 7.5, attributable to the elevated seismic intensity.

Keyword: *Liquefaction, Standard Penetration Test, Reclaimed Land, Empirical Analysis*

PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik sehingga wilayahnya sangat rentan terhadap aktivitas gempa bumi. Kejadian gempa tidak hanya menimbulkan kerusakan struktural, tetapi juga memicu fenomena likuefaksi pada tanah pasir jenuh air yang kehilangan kekuatan geser akibat peningkatan tekanan air pori (Nurlita Fitri & Sawada, 2025). Kawasan *Central Business District* (CBD) Pantai Indah Kapuk II (PIK II) merupakan daerah reklamasi pesisir dengan elevasi rendah dan muka air tanah dangkal. Likuefaksi adalah fenomena geoteknik yang terjadi ketika tanah jenuh air kehilangan kekuatan gesernya akibat peningkatan tekanan air pori selama gempa, sehingga tanah berperilaku seperti fluida (Mina et al., 2018).



Gambar 1 Peta Struktur Tektonik Indonesia
(Bulo et al., 2020)

Berbagai metode empiris berbasis data Standard Penetration Test (SPT) telah banyak digunakan untuk menilai potensi likuefaksi, dari Youd et al. (2001). Selain itu, metode *Hyperbolic Function* (2012) menawarkan pendekatan nonlinier yang lebih sensitif terhadap variabilitas kondisi tanah reklamasi (Wu & Wang, Jui PinSung, 2023). Validasi menggunakan program LiqIT memberikan alternatif perhitungan deterministik dan probabilistik. Namun, perbandingan komprehensif antar metode dalam konteks tanah reklamasi di PIK II belum banyak dikaji.

Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja metode Youd et al. (2001), HBF (2012) dalam menghitung faktor keamanan likuefaksi menggunakan data N-SPT pada lima titik penelitian di CBD PIK II. Validasi dilakukan dengan program LiqIT v.4.7.7.5 untuk menilai konsistensi hasil perhitungan manual dan otomatis. Penelitian ini akan mengkaji Faktor Keamanan untuk memberikan gambaran risiko likuefaksi di lapisan tanah berbeda.

Menurut (Pawirodikromo, 2012) dalam (Trinandi, 2020), terdapat sejumlah aspek yang berpengaruh terhadap terjadinya likuefaksi. Faktor-faktor penyebabnya antara lain meliputi karakteristik getaran gempa, jenis tanah, kedalaman muka air tanah, distribusi ukuran butiran, serta kondisi kepadatan awal tanah. Adapun syarat agar likuefaksi dapat terjadi mencakup intensitas gempa yang cukup besar, jarak episenter gempa, kedalaman muka air tanah yang maksimum, karakteristik butir pasir, serta ketebalan atau rentang lapisan tanah yang berpotensi mengalami likuefaksi.

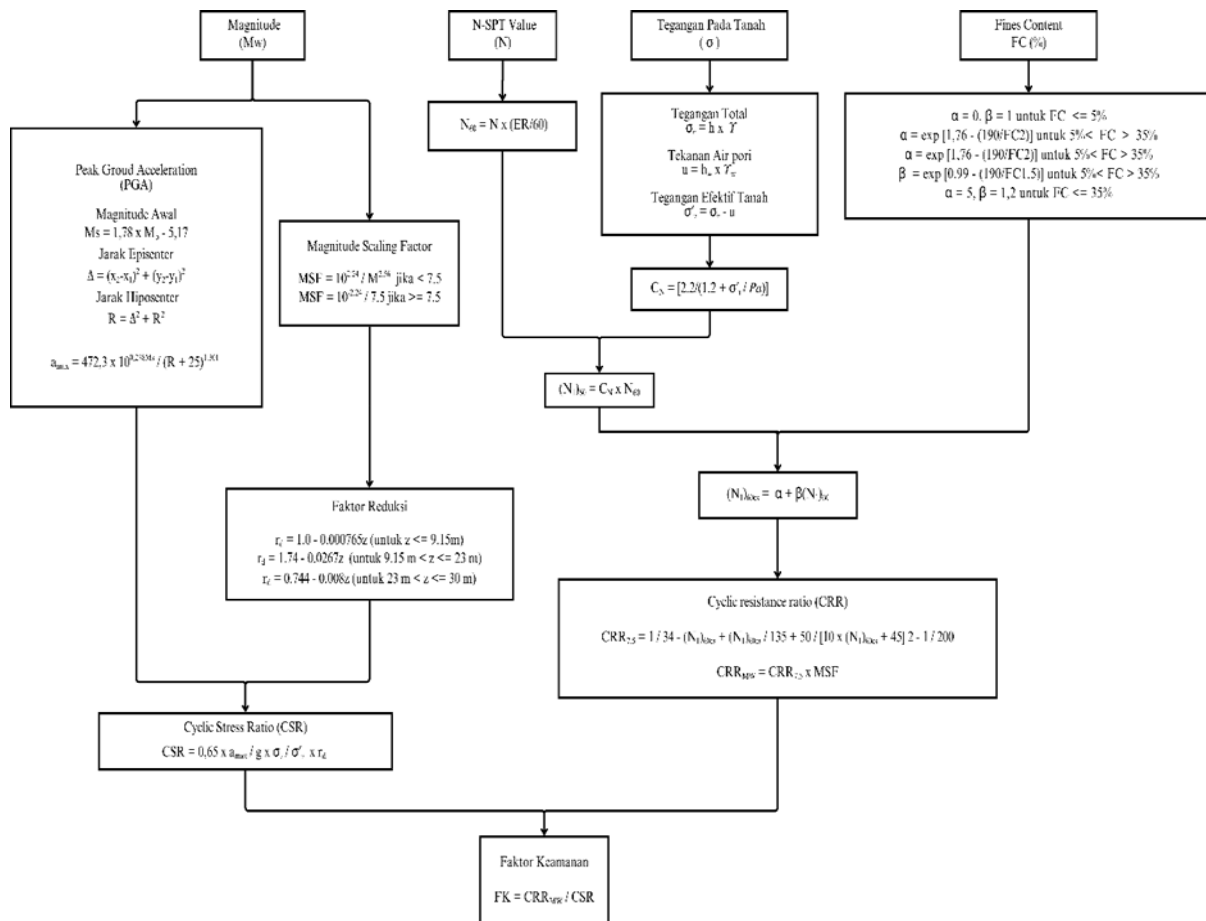
Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoritis bagi pengembangan metodologi empiris likuefaksi berbasis data SPT dan praktis bagi perencana struktur, konsultan geoteknik,

dan pengembang properti. Dengan pemahaman perbandingan keakuratan dan sensitivitas metode, pihak terkait dapat merancang strategi mitigasi risiko yang tepat untuk bangunan di kawasan reklamasi pesisir.

METODE PENELITIAN

1. Metode Youd et al (2001)

Metode Youd et al. (2001) dikenal luas dan telah distandarkan dalam berbagai regulasi internasional (misalnya NCEER) karena menyajikan pendekatan yang sederhana namun tetap mempertimbangkan parameter geoteknik penting seperti energi pukulan, kedalaman, dan magnitude gempa. Youd dan Idriss (2001) memperkenalkan prosedur evaluasi potensi likuefaksi berbasis pendekatan sederhana. Nilai CSR dihitung dengan memasukkan faktor reduksi kedalaman, r_d , yang dipilih sesuai rentang kedalaman lapisan yang dianalisis. Ketahanan tanah terhadap pembebanan siklik dinyatakan sebagai CRR, yang diturunkan dari nilai SPT terkoreksi terhadap energi dan overburden serta disesuaikan untuk pengaruh kandungan halus, menghasilkan parameter $(N_1)_{60cs}$ (Mase, 2018). Alur perhitungan metode ini mulai dari koreksi SPT, estimasi CSR dan CRR, hingga penetapan faktor keamanan. berikut ditampilkan pada bagan prosedur **Gambar 2**.

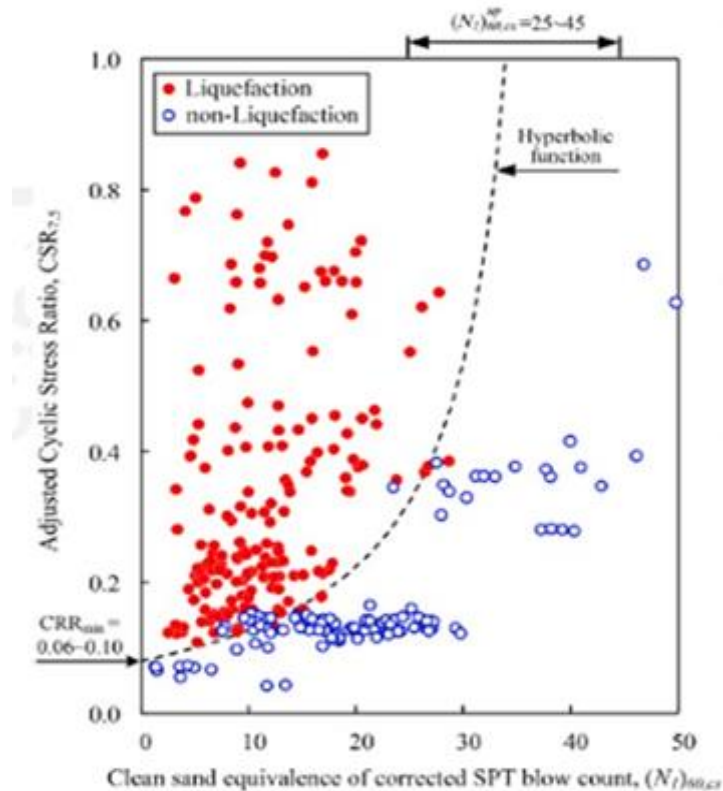


Gambar 2 Metode Youd et al
(Youd et al., 2001)

2. Metode HBF (2012)

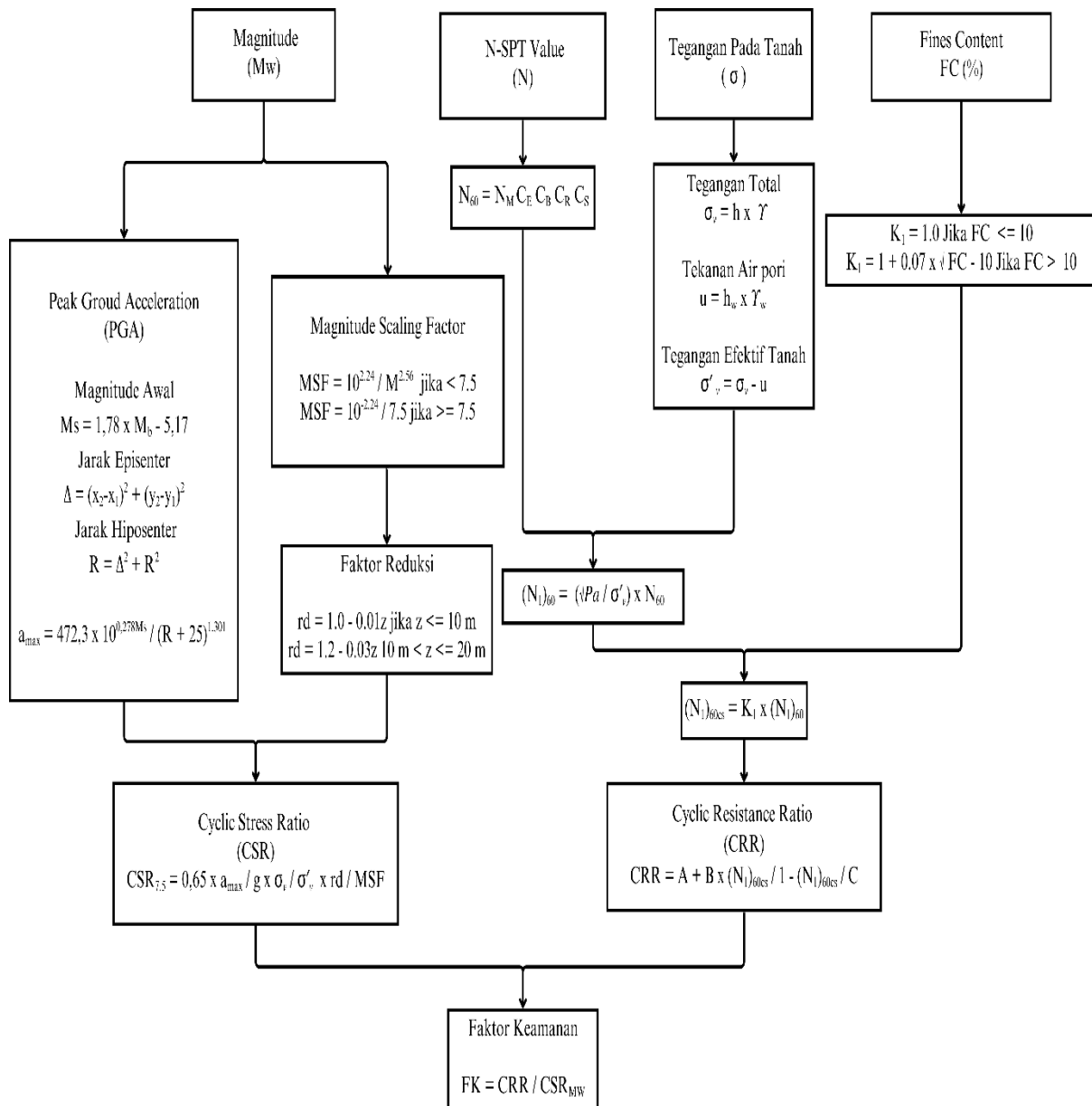
Setelah Gempa Chi Chi yang melanda Taiwan pada tahun 1999, dikembangkanlah metode *Hyperbolic Function* (HBF). Metode ini berakar pada hasil pengujian lapangan di kawasan terdampak gempa. Secara prinsip, HBF merupakan bentuk penyederhanaan yang tetap

berlandaskan pada konsep dasar yang telah dirumuskan oleh Seed et al. (1985) (Hwang et al., 2020). berikut ditampilkan pada bagan prosedur **Gambar 3**.



Gambar 3 Kurva CSR terhadap $(N_1)_{60CS}$

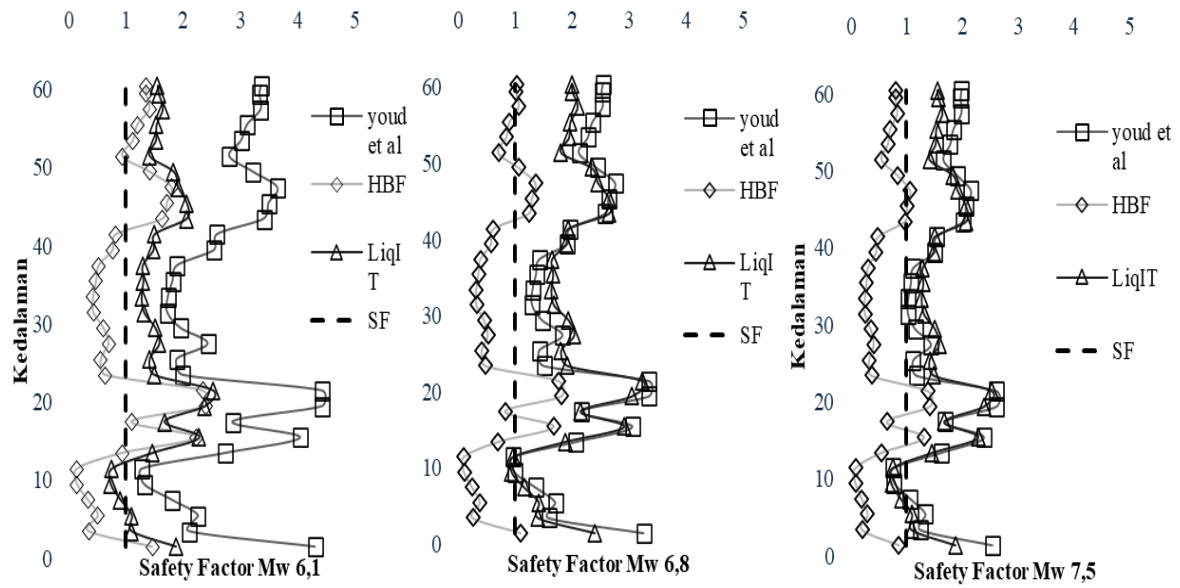
Pada gambar yang ditampilkan dalam Gambar 3, nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) berada di antara Cyclic Stress Ratio untuk gempa bermagnitudo 7,5 ($CSR_{7.5}$) dan nilai koreksi pukulan SPT $(N_1)_{60CS}$, dengan kisaran nilai antara 25 hingga 40. Nilai CRR terkecil pada kurva fungsi hiperbolik berkisar antara 0,06 hingga 0,10. CRR ini berfungsi sebagai batas pembeda antara kondisi tanah yang berpotensi mengalami likuefaksi dan yang tidak. Grafik tersebut pertama kali diperkenalkan oleh Hwang et al. (2012), dengan referensi pada Japan Road Association tahun 1996.



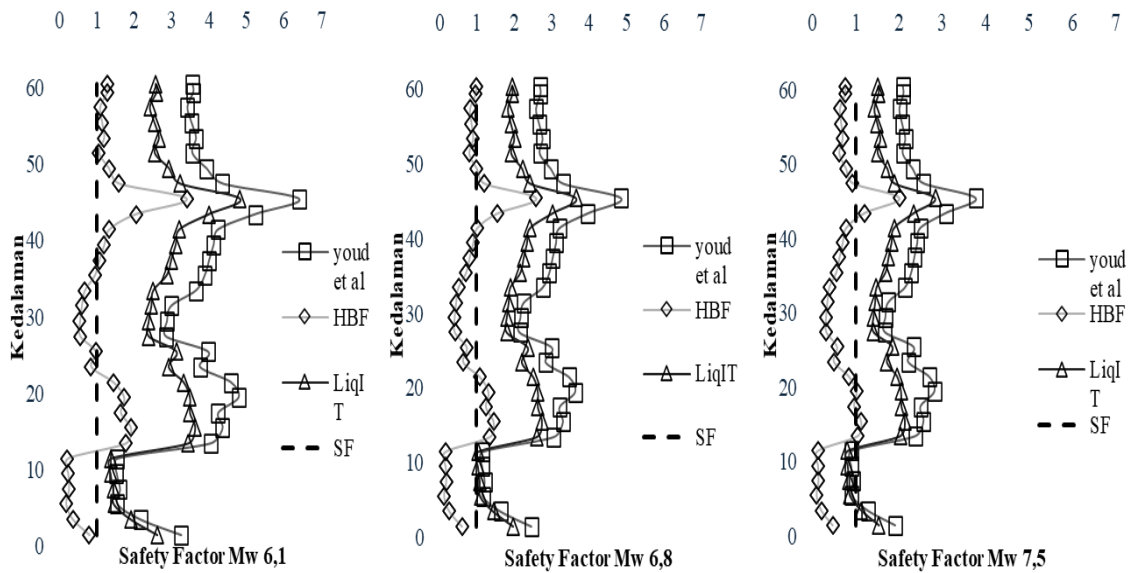
Gambar 4 Metode HBF
(Hwang et al., 2020)

HASIL DAN PEMBAHASAN

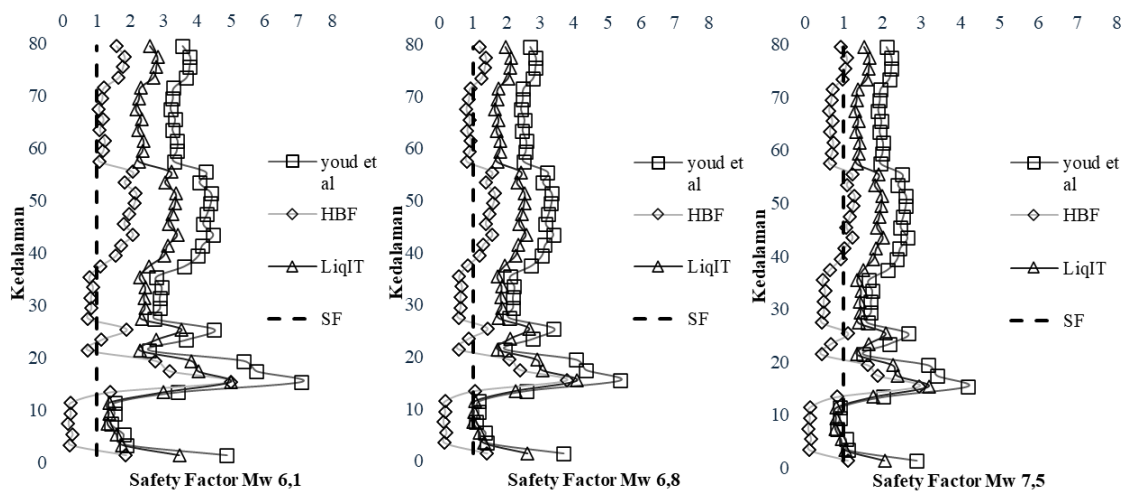
Analisis potensi likuefaksi dengan menggunakan metode Youd et al (2001), HBF (2012), dan validasi hasil program LiqIT disajikan dalam Grafik pada Gambar 4 hingga Gambar 8. Magnitude yang digunakan bervariasi, yaitu M_w 6.1, M_w 6.8, dan M_w 7.5 serta percepatan tanah maksimum (PGA) sebesar 0,082g. Metode perhitungannya sesuai penjelasan pada Metode Penelitian.



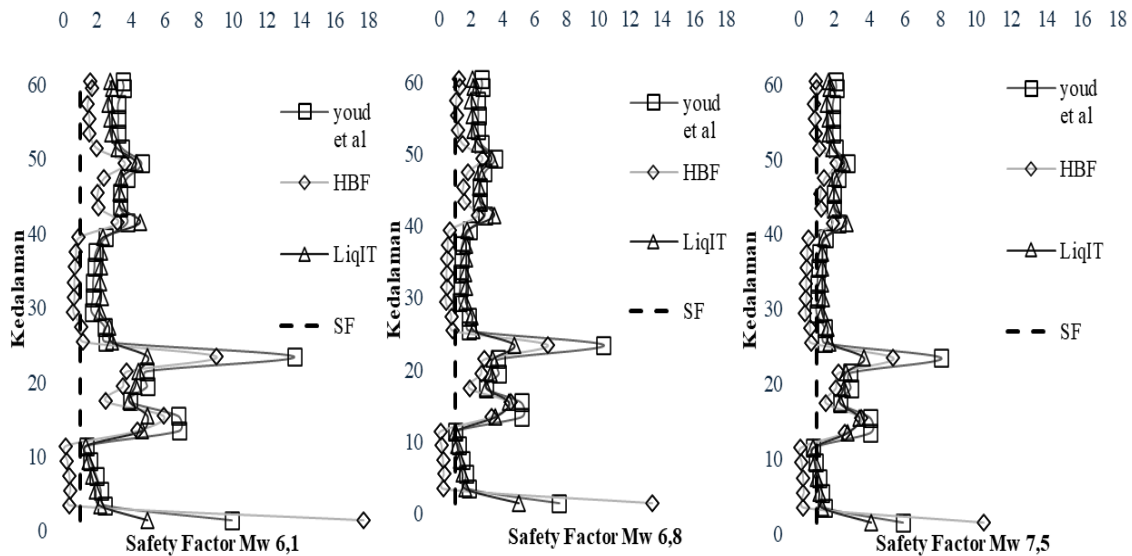
Gambar 5 Hasil Analisis Nilai Safety Factor Titik 1



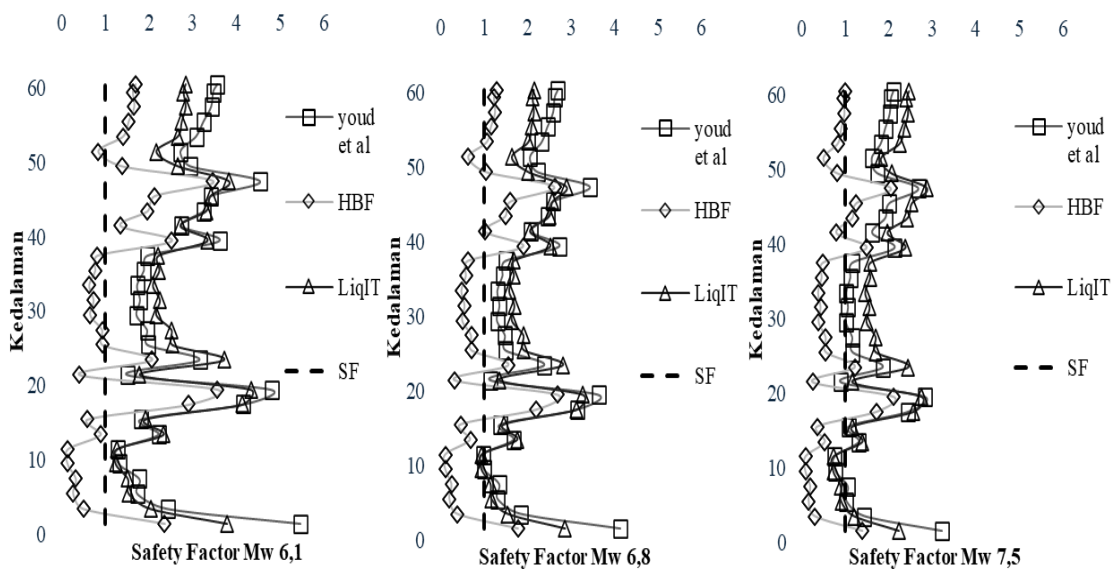
Gambar 6 Hasil Analisis Nilai Safety Factor Titik 2



Gambar 7 Hasil Analisis Nilai Safety Factor Titik 3



Gambar 8 Hasil Analisis Nilai Safety Factor Titik 4



Gambar 9 Hasil Analisis Nilai Safety Factor Titik 5

Grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai *Safety Factor* (FS) hasil perhitungan dengan metode manual (Youd et al. dan HBF) serta perangkat lunak LiqIT pada berbagai variasi magnitudo gempa. Secara umum, metode LiqIT menghasilkan nilai *safety factor* yang lebih tinggi dibandingkan dua metode manual, sehingga memberikan gambaran yang relatif lebih optimis terhadap ketahanan tanah terhadap likuefaksi. Metode Youd et al. berada pada urutan berikutnya, dengan nilai FS sedikit lebih rendah dari LiqIT, tetapi tetap lebih besar dibandingkan metode HBF. Adapun metode HBF cenderung memberikan nilai FS paling rendah, yang berarti menunjukkan potensi likuefaksi paling tinggi di antara ketiga metode tersebut.

Selain itu, peningkatan magnitudo gempa dari Mw 6,1, Mw 6,8 dan Mw 7,5 memberikan pengaruh yang signifikan dalam menurunkan nilai *safety factor* pada semua metode. Penurunan paling tajam terjadi pada lapisan tanah dangkal, sehingga lapisan ini teridentifikasi sebagai zona paling rentan terhadap likuefaksi. Pada kedalaman lebih besar dari 30 – 40 m, nilai FS

cenderung stabil di atas 1,0 untuk seluruh metode, menandakan kondisi yang lebih aman dari potensi likuefaksi.

Temuan ini menegaskan bahwa semakin besar magnitudo gempa, semakin tinggi pula risiko likuefaksi yang dapat terjadi, khususnya pada lapisan tanah permukaan dengan kondisi lepas atau tidak terkonsolidasi sempurna.

Gabungan dari ketiga metode ini memberikan perspektif menyeluruh. Youd dan LiqIT memberi baseline deterministik yang kuat, sementara HBF memperluas analisis menjadi berbasis probabilitas, yang penting untuk perencanaan zonasi dan mitigasi risiko di wilayah reklamasi seperti PIK 2. Maka, HBF lebih cocok dalam mengidentifikasi lapisan kritis, meskipun hasil dari LiqIT tetap digunakan sebagai pembandingan dan validasi awal. Oleh karena itu, metode HBF dinilai lebih sensitif dan realistis dalam mendeteksi potensi likuefaksi lokal, khususnya pada tanah reklamasi seperti yang ditemukan di PIK 2. Namun disarankan dalam penggunaan metode HBF gunakan data lokal tanah terkhususnya pada perhitungan parameter CRR untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai kondisi tanah lokal karena metode HBF menggunakan pendekatan berbasis probabilitas dan lokal, dikembangkan dari pengalaman gempa besar Taiwan (Hwang et al., 2020).

KESIMPULAN

Hasil analisis pada metode youd et al dan HBF pengaruh variasi besaran magnitudo gempa terhadap potensi likuifasi berdasarkan perbandingan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR). Nilai CRR bervariasi berkisar 0,008 sampai 1,140. Nilai CSR dengan antara 0,021 sampai 0,099. Pada LiqIT didapatkan Nilai CRR bervariasi berkisar 0,070 sampai 0,458. Nilai CSR bervariasi berkisar 0,050 sampai 0,090 kemudian dapat dianalisis dengan membandingkan kedua nilai tersebut sehingga didapat nilai Safety Factor.

Hasil perhitungan faktor keamanan terhadap bahaya likuefaksi metode Youd et al (2001), Nilai Safety Factor (SF) pada titik 1 bervariasi antara 0,758 - 4,438, pada titik 2 bervariasi antara 0,900 - 6,415, pada titik 3 bervariasi antara 0,840 - 7,095, pada titik 4 bervariasi antara 0,819 - 13,630, dan pada titik 5 bervariasi antara 0,758 - 5,473.

Hasil perhitungan faktor keamanan terhadap bahaya likuefaksi metode HBF (2012) Nilai Safety Factor (SF) pada titik 1 bervariasi antara 0,084 - 2,403, pada titik 2 bervariasi antara 0,101 - 3,411, pada titik 3 bervariasi antara 0,093 - 4,999, pada titik 4 bervariasi antara 0,096 - 17,684, dan pada titik 5 bervariasi antara 0,087 - 3,566.

Sedangkan pada LiqIT di dapatkan hasil faktor keamanan pada titik 1 bervariasi antara 0,730 - 3,240, pada titik 2 bervariasi antara 0,810 - 4,830, pada titik 3 bervariasi antara 0,790 - 5,000, pada titik 4 bervariasi antara 0,810 - 5,000, dan 203 pada titik 5 bervariasi antara 0,730 - 4,330, dimana nilai faktor keamanan Mw 6,1 SR yang pastinya memiliki faktor keamanan yang tinggi sedangkan pada Mw 7,5 memiliki faktor keamanan terendah karena kekuatan gempa yang tinggi.

Selain besar magnitudo gempa klasifikasi tanah juga mempengaruhi rendah atau tingginya nilai faktor keamanan yang didapatkan.

REFERENSI

- Bulo, D., Djayus, Supriyanto, & Hendrawanto, B. (2020). Penentuan Titik Epicenter Dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempabumi Berdasarkan Data Seismogram. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 3(1), 1–8.
- Hwang, J. H., Khoshnevisan, S., Juang, C. H., & Lu, C. C. (2020). Soil liquefaction potential evaluation – An update of the HBF method focusing on research and practice in Taiwan. *Engineering Geology*, 280, 105926. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105926>
- Mase, L. Z. (2018). Studi Kehandalan Metode Analisis Likuifaksi Menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(1), 53. <https://doi.org/10.5614/jts.2018.25.1.7>
- Mina, E., Indera, R., & Sudirman. (2018). ANALISA POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA SPT (STUDI KASUSPROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BARU UNTIRTA SINDANG SARI). *Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa* |, 7(1).
- Nurlita Fitri, S., & Sawada, K. (2025). Comprehensive Assessment for Liquefaction Vulnerability in Indonesia: Empirical and Element Simulation Approaches. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 11(1), 326–345. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2025-011-01-019>
- Trinandi, M. (2020). ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI PADA WILAYAH KOTA PADANG MENGGUNAKAN VARIASI MAGNITUDE GEMPA DENGAN METODE EMPIRIS. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peta_Kota_Padang.png
- Wu, M. H., & Wang, Jui PinSung, C. Y. (2023). Performance of Hbf Method for Soil Liquefaction Assessment. *Journal of GeoEngineering*, 18(4), 195–202. [https://doi.org/10.6310/jog.202312_18\(4\).3](https://doi.org/10.6310/jog.202312_18(4).3)
- Youd, T. ., Idriss, I. ., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. . L., Jr, L. F. H., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koedster, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., ... Stokoe II, K. H. (2001). Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report From the. *Manager*, 126(April), 297–313. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0034163356&partnerID=40&md5=df5381544c7ef52ba84974e9aa67a996>