

**KAJIAN POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE
PENETRATION TEST DAN INDEKS KEANDALAN
“STUDI KASUS BANDARA MINANGKABAU, PADANG
SUMATERA BARAT”**

***STUDY OF POTENTIALS LIQUEFACTION USING THE
PENETRATION TEST AND RELIABILITY INDEX METHOD
"CASE STUDY OF MINANGKABAU AIRPORT, WEST SUMATERA
PADANG"***

¹ Zaenudin, ² Sri Wulandari.

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma Korespondensi:
Zaenudin.2794@gmail.com

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Gunadarma
Korespondensi: swulanb@yahoo.com

Abstrak

Bandara Internasional Minangkabau (BIM) adalah infrastruktur udara yang penting di Indonesia, terletak di kota Padang. Pada 30 September 2009, terjadi gempa bumi dengan besarnya (ML) 7,9 SR. dan percepatan puncak mencapai 0,28 g. Gempa ini akan digunakan untuk referensi dalam analisa likuifaksi. Likuifaksi perlu di analisa untuk mengidentifikasi potensi kerusakan. Mitigasi perlu dilakukan sebelum memulai pengembangan BIM pada Master Design Bandara Internasional Minangkabau. Metode analisa potensi likuifaksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode uji penetrasi standart (SPT) dan probabilistik/Reliabilitas index (β). Perbandingan antara rasio stres siklik (CSR) dan rasio resistensi siklik (CRR) adalah faktor keamanan. Faktor keamanan lebih besar dari satu maka tidak berpotensi likuifaksi, tetapi jika faktor keamanan lebih kecil dengan satu maka berpotensi likuifaksi. Hasil analisa dari potensi likuifaksi menunjukkan potensi di beberapa titik di wilayah BIM, seperti area taxi Way, Apron dan terminal kargo bandara. Potensi likuifaksi rata – rata terjadi karna (FS) < 1 pada kedalaman 7-16 m, itu berarti potensi likuifaksi merupakan likuifaksi dalam.

Kata Kunci: Beban Gempa, Mitigasi, *standart penetration test* (SPT), *Probabilistic/Reliability Index*(β)

Abstract

Bandara International Minangkabau (BIM) is a necessary air infrastructure in Indonesia, located in the city of Padang. On 30 September 2009, an earthquake with a magnitude (ML) 7.9 SR. and peak acceleration reached 0.28 g. This earthquake will have been used for reference in the Analysis of liquefaction. The liquefaction needs to Analysis for identification of damages potential. Mitigation requires to incur before starting the BIM development base on the Master Design of Bandara International Minangkabau. The liquefaction potential analysis methods used in this research are the Standard Penetration Test (SPT) and Probabilistic/Reliability Index (β) methods. The comparison between cyclic stress ratio (CSR) and cyclic resistance ratio (CRR) is a Safety factor. The safety factor is more significant than 1, then not potentially liquefaction, but if the Safety factor is smaller with 1, then potentially liquefaction. The Analysis of the potential liquefaction indicates the potential at some point in the BIM region, such as the Taxi Way Area, Apron, and airport cargo Terminal. The liquidation's average potential shows the Safety Factor (FS) < 1 at a depth of 7-16 m, It means the liquidation that occurs is the depth liquefaction.

Keywords: Earthquake, mitigation, *standard penetration test* (SPT), *Probabilistic/ Reliability Index* (β)

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah getaran asli yang bersumber dari dalam bumi, kemudian bergetar merambat ke permukaan akibat dari rekahan atau lempeng bumi pecah dan bergeser dengan keras (Nur Mustofa, 2010). Indonesia banyak dilintasi Jalur lempeng bumi yang menyebabkan gempa tektonik, dimana gempa ini bersifat regional dan umumnya kerusakan yang ditimbulkan sangat besar.

Gempa Bumi merupakan faktor penyumbang terjadinya peristiwa Likuifaksi. Likuifaksi biasanya terjadi karena kondisi tanah yang berubah. kondisi tersebut bermula dari kondisi drain dalam tanah menjadi kondisi undrain yang disebabkan oleh getaran siklik. akibatnya tekanan pori meningkat dan lebih besar dari tegangan efektif tanah. Adapun beberapa faktor yang bisa menimbulkan likuifaksi, seperti tanah yang berukuran pasir, susunan gradasi butiran tanah dan keseragaman butiran, bentuk butiran tanah membulat dan tidak memiliki ikatan antara butiran, keadaan tanah yang jenuh air, lapisan yang lepas atau kepadatan relatif yang rendah (Pawirodikromo, 2012).

Bandara Internasional Minangkabau (BIM) berlokasi di kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. BIM sangat rawan terhadap gempa. Gempa yang terjadi di BIM dikarenakan wilayah ini berada ± 250 km sebelah timur zona subduksi Sumatera yang bergerak sekitar 52 s/d 60 mm per tahun (Natawidjaja, 2003). Daerah perbatasan lempeng ini merupakan zona seismisitas yang aktif, sehingga banyak terjadi gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh tumbukan antar lempeng tersebut. BIM dijadikan lokasi penelitian karena selain dari memiliki kerentanan bahaya gempa bumi yang tinggi, juga ditinjau dari sisi geologi jenis tanah yang terletak didaerah pesisir pantai barat sumatera, menyebabkan lokasi tersebut memiliki tanah

jenis pasir lepas dan jenuh air, maka dari itu BIM dicurigai memiliki potensi likuifaksi.

Mengacu kepada keputusan menteri perhubungan Republik Indonesia Nomor : KP 379 Tahun 2015 tentang “Rencana Induk Bandar Udara Internasional Minangkabau di Kabupaten Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat”, menunjukkan permintaan kebutuhan pelayanan penumpang dan kargo yang terus meningkat, dan akibatnya rencana pembangunan dan pengembangan fasilitas terus ditingkatkan. (Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2015).

Peningkatan pembangunan fasilitas BIM kemungkinan dilakukan diatas tanah yang memiliki risiko seperti likuifaksi, maka dari itu harus ada solusi mengenai upaya mitigasi dan perbaikan kesetabilan tanah sebelum dibangun fasilitas bandara di BIM. Oleh karena itu Penelitian ini akan mencoba memaparkan daerah – daerah bagian dari infrastruktur bandara yang memiliki potensi likuifaksi, supaya bisa dilakukan upaya peninjauan nantinya terhadap dampak yang akan ditimbulkan.

Metode yang digunakan untuk mengetahui potensi likuifaksi yaitu metode Standart Penetration Test (SPT) dengan metode Konsep Indeks Keandalan Reliability Index- β untuk mengetahui besarnya potensi likuifaksi. Dengan membandingkan faktor keamanannya dari dua metode ini akan menghasilkan gambaran daerah yang memiliki potensi likuifaksi dan sebagai bahan pembandingan untuk proses mitigasi lanjutan.

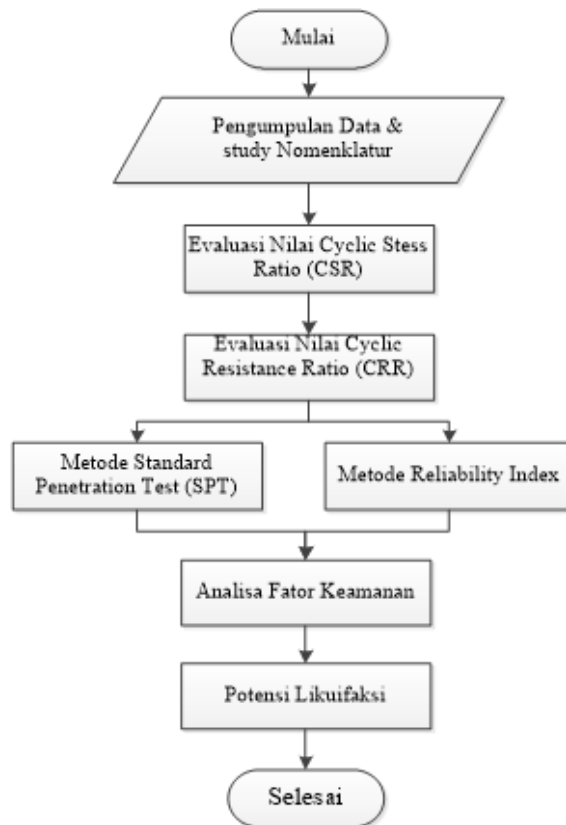
METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian.

Bandara Internasional Minangkabau secara administratif berlokasi di Kelurahan Nagari Kataping Kecamatan Batang Anai, Kabupaten Padang Pariaman, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 1 Lokasi Bandara Internasional Minangkabau



Gambar 2 Diagram Alur Analisa Poensi Likuifaksi

Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data menggunakan data sekunder, dengan mengumpulkan data yang didapatkan dari intansi terkait, seperti; PT Angkasapura II berupa penyelidikan tanah adapun Laporan USGS berupa Mw, amax, hiposenter dan episenter.

Teknik Analisa Pengolahan Data

Tahapan berikutnya merupakan analisa potensi likuifaksi yang dihitung berdasarkan hasil pengujian lapangan, dari hasil analisa akan menunjukan lokasi penelitian tersebut berpotensi atau tidak, dan akan di analisa peristiwa likuifaksi itu menggunakan metode

berdasarkan data uji lapangan seperti metode *Standart Penetration Test* (SPT), dan Metode *Probabilistic/ Reliability*

Metode *standart penetration test* (SPT) menghitung faktor keamanan dari rasio nilai *cyclic stress ratio* (CSR) dan nilai *cyclic resistance ratio* (CRR). Apabila faktor keamanan lebih besar dari satu maka tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan jika faktor keamanan lebih kecil sama dengan satu maka berpotensi likuifaksi.

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot \frac{a_{maks}}{g} \cdot r_d$$

(1)

Dimana :

T_{av} : tegangan geser rata-rata akibat gempa (kN/m²)

a_{maks} : percepatan permukaan tanah maksimum (g)

g : percepatan gravitasi (g)

σ_{vo} : tegangan total tanah (kN/m²)

σ'_{vo} : tegangan efektif tanah (kN/m²)

r_d : faktor reduksi tegangan

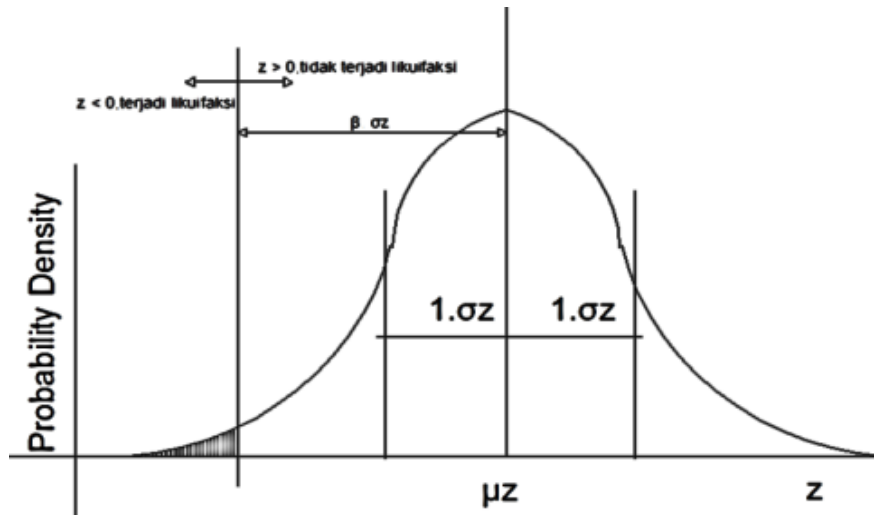
$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{((10 \cdot (N_1)_{60cs}) + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2)$$

Dimana :

$(N_1)_{60}$: Nilai N-SPT yang telah dikoreksi

$(N_1)_{60cs}$: Nilai N-SPT $(N_1)_{60}$ yang telah diekivalenkan terhadap pasir bersih.

Adapun metode *Probabilistic/ Reliability index* menunjukkan seberapa besar peluang terjadinya likuifaksi dengan menunjukan besar presentasi kejadiannya dengan menghitung indeks keandalan. Tujuannya setelah mendapat berapa besar, maka bisa digunakan untuk bahan pertimbangan perbaikan tanah prioritas, jika mendapatkan presentasi kejadian yang besar maka dibutuhkan perbaikan yang serius, dan jika nilai presentasi kejadian tidak terlalu besar maka perbaikan tidak sebanyak yang mendaat presentasi kejadiannya besar.



Gambar 3 Batas terjadinya likuifaksi dan indeks reabilitas β

Berdasarkan Gambar3 tersebut indeks keandalan β bisa kita tentukan:

$$\beta = \frac{1}{\delta_z} = \frac{\mu_z}{\sigma_z}$$

$$= \frac{\mu_{\ln R} - \mu_{\ln S}}{\sqrt{\sigma_{\ln R}^2 + \sigma_{\ln S}^2}}$$

$$= \frac{\ln \left[\frac{\mu_R \left(\frac{\delta_S^2 + 1}{\delta_R^2 + 1} \right)^{\frac{1}{2}}}{\mu_S \left(\frac{\delta_R^2 + 1}{\delta_S^2 + 1} \right)^{\frac{1}{2}}} \right]}{\left[\ln(\delta_R^2 + 1) \ln(\delta_S^2 + 1) \right]^{\frac{1}{2}}}$$

Nilai indeks keandalan β berdasarkan dari data statistik yang ada maka (Wang dan Yang, 2001) memberikan memberikan rumus sebagai berikut,

$$\beta = 0,013 + \frac{\ln(FS)}{0,7758}$$

(3)

Yang mana *faktor of safety* FS adalah,

$$FS = \frac{\mu_R}{\mu_S}$$

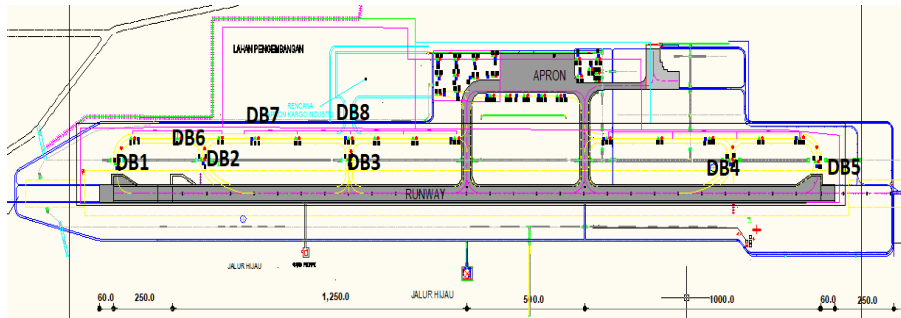
(4)

Sebagai contoh analisa, maka diambil beberapa sampel pengeboran. untuk penelitian ini kita mengambil DB1, DB2, DB3, DB4, lokasi untuk penyelidikan potensi likuifaksi di daerah sekitar akses *taxyway* dan mengambil DB5, DB6, DB7, DB8, lokasi untuk penyelidikan potensi likuifaksi di daerah sekitar akses *taxyway 1*. Stratigraf bisa dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

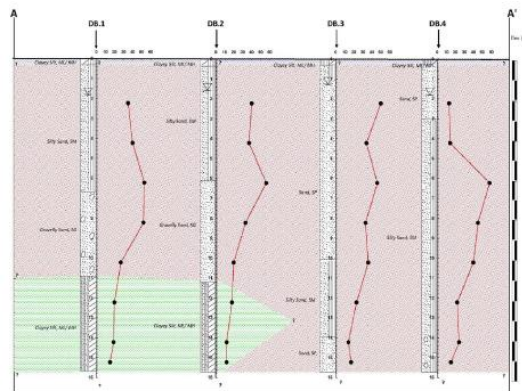
Tabel 1 Penyebaran Titik Lokasi Survey

No	Lokasi	Jumlah	Volume			Keterangan
			Bo r	Sond ir	Tes PIT	
1	Akses Taxiway	5	5	5	5	B1-B2-B3-B4-B5
						S1-S2-S3-S4-S5
						T1-T2-T3-T4-T5
2	Taxyway 1	1	9	9	4	B6-B7-B8-B9-B10-B11-B12-B13-B14
						S6-S7-S8-S9-S10-S11-S12-S13-S14
						T6-T7-T8-T9
3	Taxyway 2	1	5	5	3	B15-B16-B17-B18-B19
						S15-S16-S17-S18-S19
						T10-T11-T12
4	Apron1	1	10	10	10	B20-B21-B22-B23-B24-B25-B26-B27-B28-B29
						S20-S21-S22-S23-S24-S25-S27-S28-S29-S30
						T13-T14-T15-T16-T17-T18-T19-T20-T21-T22
5	Apron2	1	6	6	4	B35-B36-B37-B38-B39-B40
						S35-S36-S37-S38-S39-S40
						T27-T28-T29-T30
6	Pelasaran Apron Eksistinsing	1	5	5	4	B30-B31-B32-B33-B34
						S30-S31-S32-S33-S34
						T23-T24-T25-T26
Jumlah			40	40	30	

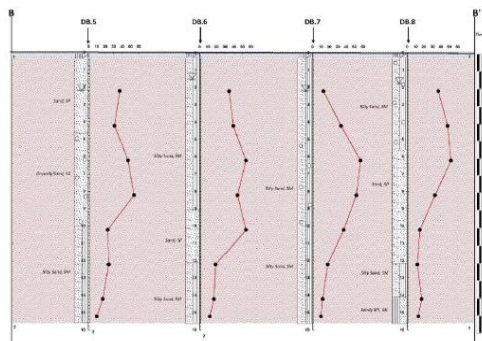
Sumber : PT Kogas Driyap Konsultan



Gambar 3 Site Plan Bandara International Minangkabau



Gambar 4 Stratigraf Lapisan Tanah DB1, DB2, DB3, DB4 Lokasi Penyelidikan



Gambar 5 Stratigraf Lapisan Tanah DB5, DB6, DB7, DB8 Lokasi Penyelidikan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Likuifaksi Berdasarkan Metode Standart Penetration Test (SPT)

Perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan metode *Standart Penetration Test* (SPT) pada Bore hole 1 kedalaman 3 meter dapat dilihat pada Tabel 3.

Potensi Likuifaksi Berdasarkan Metode Indeks Keandalan (*Reliability Index*), β

Perhitungan potensi likuifaksi berdasarkan metode Keandalan (*Reliability Index*), β pada BH 1 kedalaman 12 meter dapat dilihat pada Tabel 4.

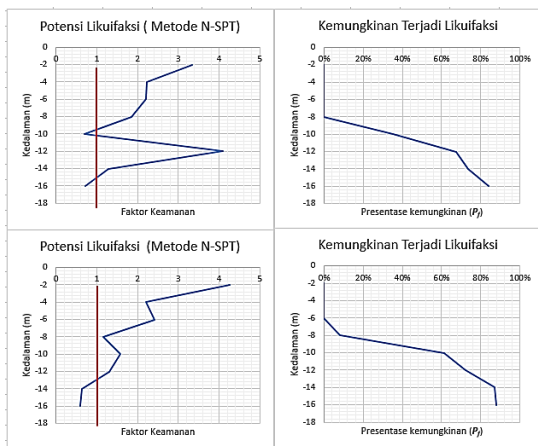
Tabel 3 Hasil Perhitungan Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode SPT Bor Hole 1

Lapisan	F_C	M_L	R	A	β	A
Lapisan – 1	38,8	7,9	45	5,00	1,50	0,28
Lapisan – 2	35	7,9	45	5,00	1,50	0,28

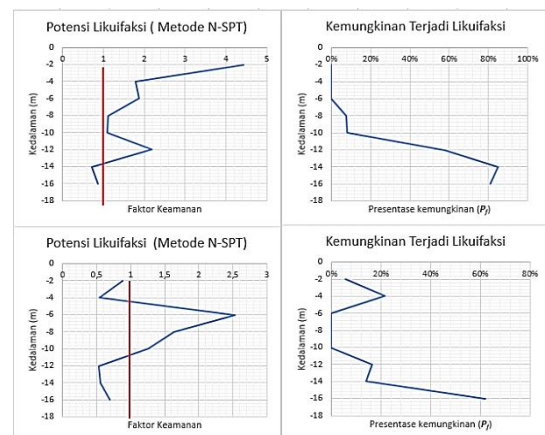
Elev	N-SPT	$(N_i)_{60}$	$(N_i)_{60cs}$	$CRR_{7,5}$	MSF	$CRR_{7,5C}$	CSR	FS
0								
-2	35	74,82	117,24	0,85	0,86	0,73	0,22	3,33
-4	40	74,93	117,39	0,85	0,86	0,73	0,33	2,23
-6	53	62,07	98,11	0,71	0,86	0,61	0,28	2,17
-8	52	54,13	86,19	0,61	0,86	0,53	0,29	1,83
-10	27	25,55	43,32	0,21	0,86	0,18	0,29	0,61
-12	20	17,47	31,20	0,58	0,86	0,50	0,30	1,70
-14	19	15,49	28,23	0,38	0,86	0,32	0,29	1,10
-16	15	11,51	22,26	0,25	0,86	0,21	0,29	0,72

Tabel 4 Hasil Perhitungan Potensi Likuifaksi Menggunakan Metode Keandalan (Reliability Index), β Bore Hole 1

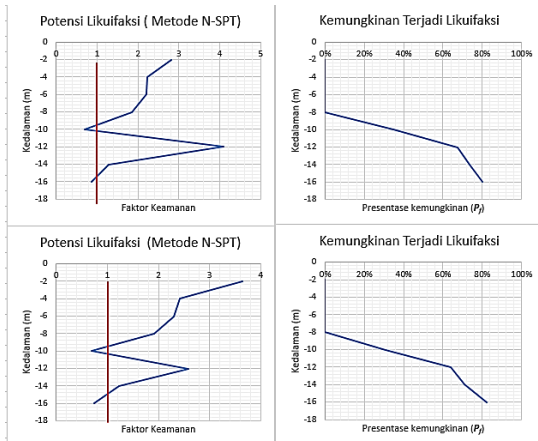
Elev(m)	$(N1)_{60}$	μ_{CRR}	μ_{CSR}	μ_z	F_S	B	$\phi(\beta)$	Pf
0								
-2	74,82	110,39	0,23	110,16	483,61	7,95	1,00	0,00%
-4	74,93	111,94	0,34	111,60	329,33	7,46	1,00	0,00%
-6	62,07	21,18	0,35	20,83	61,19	5,29	1,00	0,00%
-8	54,13	8,22	0,35	7,88	23,81	4,07	1,00	0,00%
-10	25,55	0,47	0,34	0,12	1,36	0,38	0,65	35,09%
-12	17,47	0,24	0,34	-0,10	0,71	-0,45	0,32	67,54%
-14	15,49	0,21	0,33	-0,13	0,62	-0,63	0,26	73,66%
-16	11,51	0,15	0,33	-0,18	0,46	-1,00	0,16	84,18%



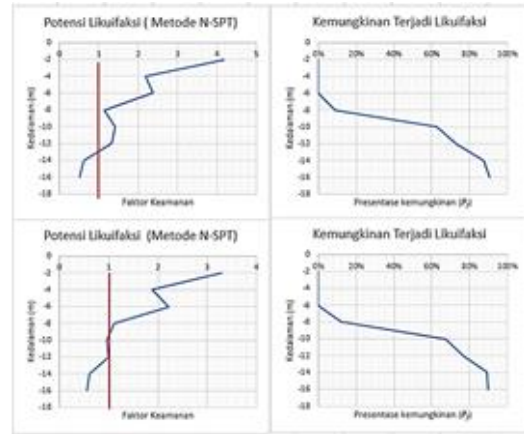
Gambar 6 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB1, DB2,



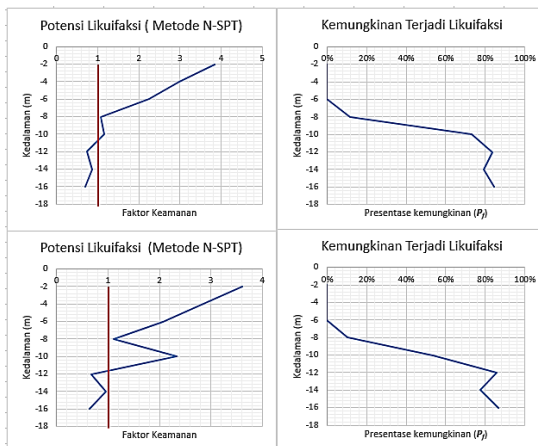
Gambar 07 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB3, DB4.



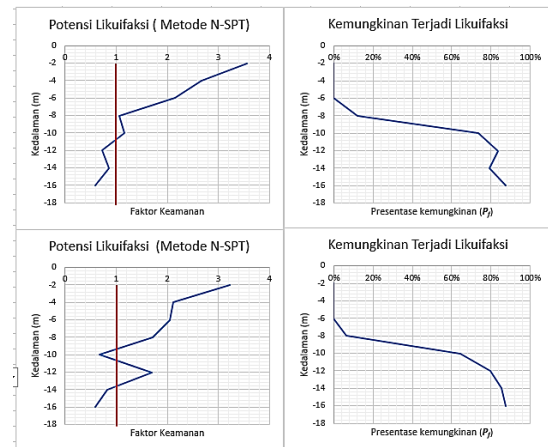
Gambar 08 Grafik hasil Analisa potensi likuifaksi DB6, DB7.



Gambar 09 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB8, DB9.



Gambar 10 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB23, DB25.



Gambar 11 Grafik hasil Analisa potemsi likuifaksi DB31, DB39.

Dari grafik menunjukan bahwa potensi likuifaksi terjadi kedalaman lebih dari 8m. bahwa potensi likuifaksi merupakan likuifaksi dalam. Bahaya likuifaksi dalam akan meningkat jika potensi likuifaksi berada pada topografi yang berkontur seperti perbukitan atau pegunungan.

1. Potensi likuifaksi pada DB1, DB2, berada di kedalaman 10 m dan 14 m dengan indek keandalan 40%-80%.
2. Potensi likuifaksi pada DB3, DB4. berada di kedalaman 8 m dan 4 m dengan indek keandalan 20%-80%.
3. Potensi likuifaksi pada DB6, DB7. berada di kedalaman 10 m dengan indek keandalan 20%-80%.

4. Potensi likuifaksi pada DB8, DB9,berada di kedalaman 8 m dan 13 m dengan indek keandalan 20%-85%.
5. Potensi likuifaksi pada DB23, DB25,berada di kedalaman 8 m d dengan indek keandalan 20%-80%.
6. Potensi likuifaksi pada DB31, DB39,berada di kedalaman 10 m d dengan indek keandalan 25%-85%.

Dari grafik indek keandalan/kemungkinan menunjukan bahwa potensi likuifaksi sudah ada pada kedalaman 4m dengan presentasi yang kecil, dan semakin dalam potensi likuifaksi semakin besar. Adapun dibeberapa kejadian potensi terjadinya likuifaksi tetap ada, walaupun dari

segi faktor keamanan menunjukkan sudah aman, atau sebaliknya contohnya di DB 4.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian potensi likuifaksi ini, terdiri dari :

1. Lokasi penelitian yang berada di Bandara International Minangkabau memiliki potensi gempa bumi dikarenakan berada di pertemuan lempang serta adanya patahan. Kondisi tanah yang didominasi tanah pasir berupa pasir lepas menyebabkan penelitian ini memiliki potensi.
2. Gempa yang pernah terjadi merupakan gempa yang cukup besar dengan magnitudo (M_L) 7,9 SR dan percepatan puncak yang terjadi mencapai 0.28 g.
3. Adapun titik lokasi penelitian yang rentan terkena likuifaksi berada hampir semua titik pengujian dengan kedalaman lebih dari 8 meter, melingkupi daerah Apron, *Taxi Way* terminal kargo bandara. Peristiwa likuifaksi terjadi akibat siklik yang biasanya berupa gempa bumi. Diketuainya potensi dan titik lokasi yang rawan terjadi likuifaksi, diharapkan dapat mempertimbangkan bagaimana konstruksi yang baik serta mitigasi yang sesuai dengan kondisi tanah di lokasi penelitian.
4. Potensi likuifaksi berdasarkan metode N-SPT merupakan likuifaksi dalam, dengan kedalaman dari 8m lebih.
5. Potensi likuifaksi berdasarkan metode ideks keandalan menunjukkan bahwa potensi likuifaksi sudah ada pada kedalaman 4m dan semakin dalam potensi likuifaksi semakin besar. jadi potensi terjadinya likuifaksi tetap ada pada kedalaman 4m, walaupun dari segi faktor keamanan menunjukkan sudah aman atau $SF > 1$.
6. Beberapa upaya mitigasi yang dapat dilakukan, dapat berupa metode *stone coloum*, *Soil mixing*, dan pondasi yang

dimasukkan ke tanah yang kuat sehingga bebannya *friction* dan *end bearing* pada material keras, sehingga pada saat terjadi likuifaksi, tidak berpengaruh terhadap bangunan yang ada atasnya. Serta dapat melakukan perbaikan tanah dengan cara diberikan tumbukan kuat, sehingga material pasir yang lemah bias menjadi kuat dan tidak berpotensi terhadap likuifaksi. Upaya ini perlu dipertimbangkan terlebih dahulu agar dapat dilakukan mitigasi yang sesuai dengan kondisi tanah dan perencanaan yang akan didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, V. Tandaju, F. J. Manoppo, and J. H. Ticoh, "Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: Pltu Area Gorontalo)," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 8, pp. 1081–1094, 2019, [Online]. Available: <http://puskim.pu.go.id>.
- Anderson, L.R; dkk. 1982. *Liquefaction Potential Map for Davis County. Utah*, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University. Logan. Utah.
- Budiono, Kris; Rahrjo, Purnomo. 2008. *Karakteristik Endapan Sedimen Pantai Terhadap Likuifaksi di Kawasan Pesisir Pangandaran dan Sekitarnya, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat*. Jurnal Geologi, Volume 8 No 3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan. Bandung.
- E. Mina, R. I. Kusuma, and S. Sudirman, "Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Spt (Studi Kasusproyek Pembangunan Gedung Baru Untirta Sindang Sari)," *J. Fondasi*, vol. 7, no. 1, pp. 11–21, 2018, doi: 10.36055/jft.v7i1.3298.
- Ishihara, Kenji; Yoshimine, Mitsutoshi. *Evaluation of Settlement in Sand Deposits Following Liquefaction*

- During. Soil and foundations Vol. 32, No. 1, 173-188. Society of Soil Mechanics and Foundations Engineering. Jepang.*
- Keputusan Menteri Perhubungan republik Indonesia. (2015). rencana induk Bandar Udara Menteri. *Rancangan Induk Badar Udara International Minangkabau Di Kabupaten Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat.*
- Kulhawy F.H; Mayne P.W.1990. *Manual On Estimating Soil Properties For Foundation Design.* Prentice Hall. New Jersey
- M.Idriss, I. (1997). 02. NCEERliqguide.pdf. *NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soil.* Salt Lake City.
- M. Hutagalung and S. D. Tarigan, “Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa (Studi Kasus : Reklamasi Pelabuhan Kontainer Belawan),” *Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 15–33, 2019.
- Muntohar, Agus Setyo. 2010. *Laporan, Mikro-Zonasi dan Penurunan Tanah Akibat Gempa Bumi. Jurnal.* Universitas Muhammadiyah. Yogyakarta.
- Natawidjaja, D.H; 2003. *Neotectonics of the Sumatran fault and paleogeodesy of he Sumatran subduction zone. Ph.D thesis. California Institute of Technology (Caltech).*
- Nur Mustofa. (2010). Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi, Departement Of Geography, Universitas Negeri Semarang*, 7(1), 66. Retrieved from https://journal.unnes.ac.id/artikel_nju/JG/92/93
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Teknik & Rekayasa. Pustaka Pelajar.* Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Putra, Hendri Gusti; Hakam, Abdul; Dody. 2009. *Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data Pengujian (Studi Kasus GOR Haji Agus Salim dan Lapai, Padang).* Jurnal Sipil, Vol. 5 No. 1, Februari 2009, ISSN:1858-2133. Padang.
- Robertson, P.K; Wride, C.E. 1998. *Cyclic Liquefaction Potential Using The Cone Penetration Test. Journal.* 35: 442-459 (1998). Canada