

Perencanaan Reklamasi dan Shore Protection pada Proyek Perpanjangan Runway Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai

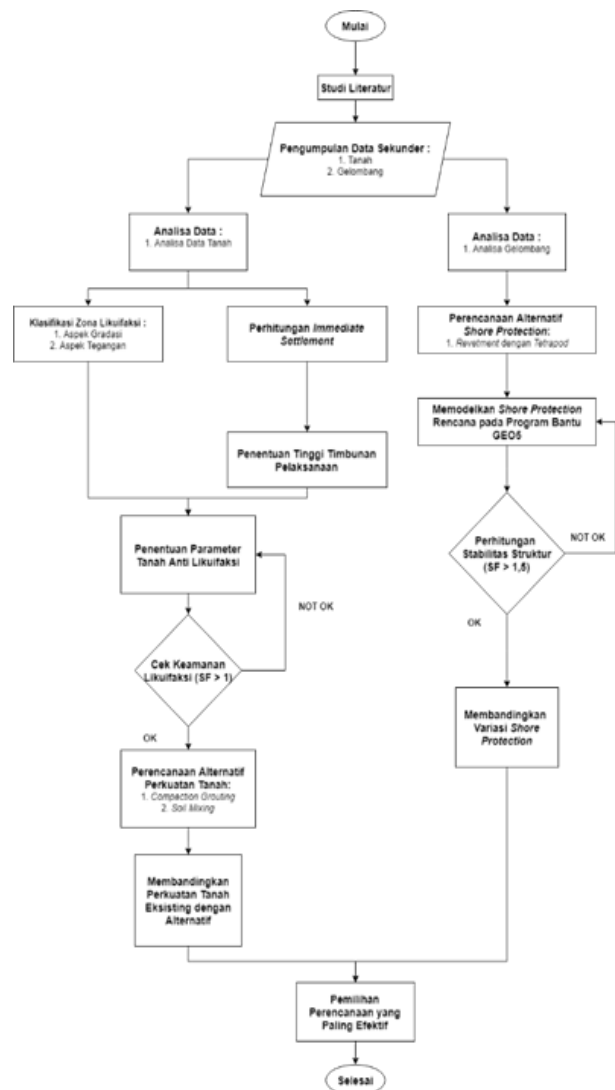
Kautsar Rizki Nashrullah, Yudhi Lastiasih, dan Herman Wahyudi
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: yudhilastiasih@yahoo.com

Abstrak—Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai terus dikembangkan dari tahun ke tahun. Hal tersebut dilakukan demi mendukung kenaikan jumlah pesawat yang sejalan dengan jumlah kenaikan penumpang yang keluar masuk Bandara Ngurah Rai setiap tahunnya. Oleh karena itu, pihak pengelola Bandara Ngurah Rai langsung mengambil langkah konkret dengan melakukan pengembangan air side Bandara. Rencana pengembangan yang akan dilakukan adalah perpanjangan *runway* yang semula memiliki dimensi 3000x45 m akan diperpanjang 400 m sehingga menjadi 3400x45 m. Namun, keterbatasan lahan pada area bandara memaksa pengembangan harus dilakukan mengarah ke sisi pantai sebelah barat Bandara Ngurah Rai. Pengembangan dilakukan dengan membuat daratan baru dari dasar laut atau yang lebih dikenal reklamasi. Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan reklamasi tersebut. Perencanaan reklamasi akan dilakukan dengan memperhatikan likuifaksi karena tanah di daerah reklamasi didominasi oleh tanah pasir ditambah lagi Pulau Bali pernah dilanda gempa dengan kekuatan 7,5 M. Selain itu, untuk menjaga tanah dibelakangnya agar tidak terbawa oleh arus dan gelombang ke laut lepas maka perlu direncanakan *shore protection*nya juga. Saat ini telah direncanakan perbaikan tanah untuk mengantisipasi likuifaksi dengan metode *dynamic compaction* dan *stone column*. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa ada area yang berpotensi mengalami likuifaksi pada tanah lapisan 0-5 m zona D. Maka dari itu direncanakan perbaikan tanah alternatif untuk mengantisipasi likuifaksi tersebut berupa *soil mixing* dan *compaction grouting*. Semua variasi alternatif perbaikan tersebut dibandingkan dengan hasil perencanaan eksisting, ternyata metode perbaikan yang paling efektif untuk mengantisipasi likuifaksi pada Proyek Perpanjangan *Runway* Bandar Udara Ngurah Rai adalah *dynamic compaction*. Selanjutnya untuk *shore protection* dalam penelitian ini direncanakan menggunakan tetrapod dan *revetment* batu pecah. Hasil perbandingan dari kedua perencanaan *shore protection* tersebut menunjukkan bahwa *revetment* batu pecah merupakan *shore protection* yang paling efektif.

Kata Kunci—Reklamasi, Likuifaksi, *Soil Mixing*, *Compaction grouting*, *Dynamic Compaction*, *Stone Column*, *Revetment* dengan Tumpukan Batu, *Revetment* dengan *Tetrapod*.

I. PENDAHULUAN

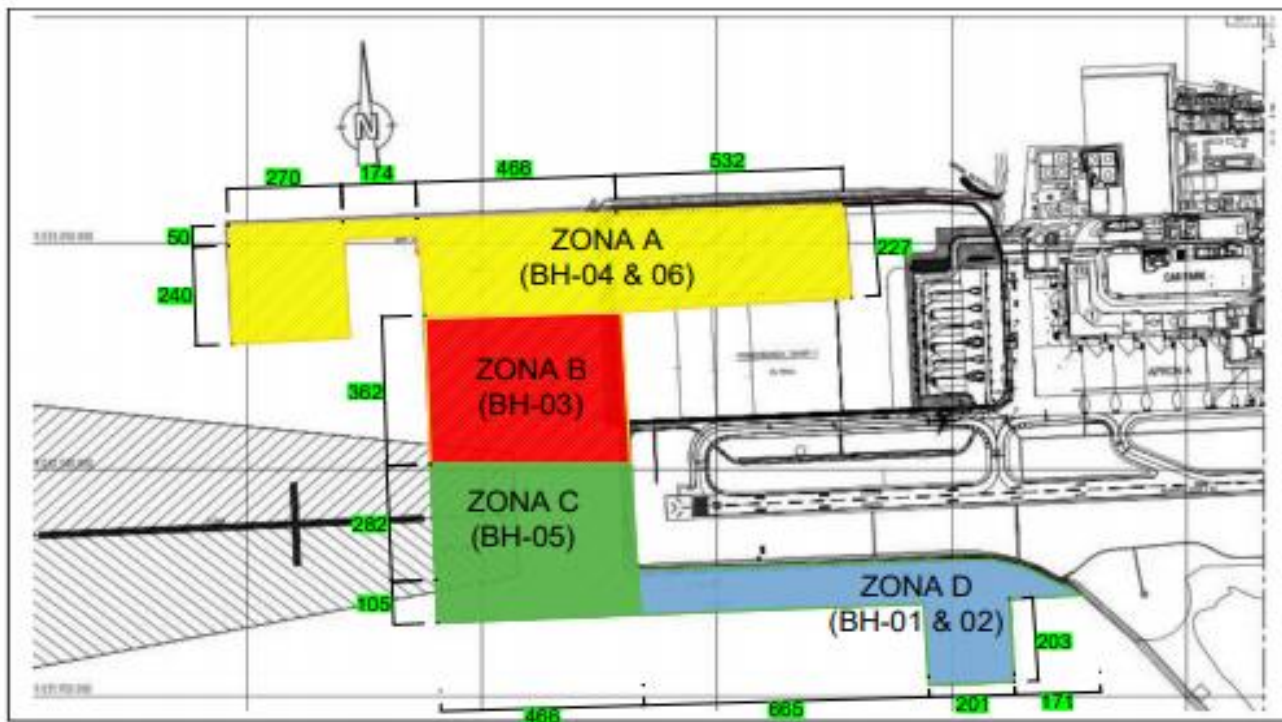
BANDAR Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai atau yang sering disebut Bandar Udara Ngurah Rai didirikan pada Tahun 1930 oleh Department Voor Veerkeer en Waterstaats dengan landasan pacu berupa air strip sepanjang 700 m. Namun, pada Tahun 1947 landasan pacu Bandar Udara tersebut berubah menjadi *runway* yang memiliki panjang 1200 m. Enam belas Tahun kemudian tepatnya pada Tahun 1963, Presiden Soekarno berusaha untuk mengembangkan Bandar Udara Ngurah Rai agar pesawat jet seperti Douglas DC8 dan Boeing 707 dapat mendarat di Bandar Udara tersebut. Akhirnya, pengembangan dilakukan



Gambar 1. Bagan alir perencanaan.

dengan reklamasi pantai sejauh 1500 m ke arah sisi barat Bandara sehingga panjang *runway* menjadi 2700 m dan proyek tersebut dikenal dengan Proyek Reklamasi Pantai Tuban. Namun setelah proyek tersebut selesai, jumlah pesawat yang lalu-lalang melalui Bandar Udara Ngurah Rai terus meningkat setiap tahunnya. Sejalan dengan hal tersebut, angka kenaikan jumlah penumpang yang keluar masuk Bandara Ngurah Rai-pun ikut mengalami kenaikan. Alhasil pada Tahun 1990, pemerintah melakukan pengembangan kembali terhadap *runway* bandara tersebut sehingga panjang *runway* menjadi 3000 m.

Walaupun sudah dilakukan beberapa kali pengembangan, ternyata hal itu masih belum cukup untuk menampung penumpang Bandara Ngurah Rai. Buktinya pada Tahun 2017



Gambar 2. Pembagian zona area reklamasi.

jumlah penumpang Bandara Ngurah Rai telah mencapai 96 % dari kapasitas yang direncanakan yaitu 22 juta penumpang. Melihat hal itu, Perusahaan Pengelola Bandar Udara Ngurah Rai langsung mengambil langkah konkret dengan melakukan pengembangan air side Bandara demi mengantisipasi terjadinya lack of capacity di Tahun 2018. Salah satu rencana pengembangan yang dilakukan adalah perpanjangan *runway* yang semula memiliki dimensi 3000 x 45 m akan diperpanjang 400 m menjadi 3400 x 45 m.

Namun, keterbatasan lahan yang ada di Bandara membuat pengembangan yang dilakukan mengarah ke sisi pantai sebelah barat Bandara dengan membuat daratan baru dari dasar laut atau yang lebih dikenal dengan reklamasi. Reklamasi yang dilakukan seluas 86,99 Ha dengan elevasi timbunan reklamasi pada +4.00 m dari ARP (Aerodrome Reference Point) dan elevasi mercu tanggul reklamasi pada +7.00 m dari ARP.

Sebelum dilakukannya reklamasi ada dua hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu kondisi tanah area reklamasi dan abrasi yang terjadi akibat reklamasi tersebut. Kondisi tanah dasar pada area reklamasi didominasi oleh tanah pasir hingga kedalaman 12 m dan konsistensi tanahnya loose hingga kedalaman ± 3 m. Melihat kondisi tanah yang seperti itu, area reklamasi tersebut memiliki potensi likuifaksi. Namun, bukan hanya dari jenis tanahnya saja yang dapat menyebabkan likuifaksi, melainkan gempa dengan kekuatan lebih dari 6 M juga menjadi salah satu faktor yang menyebabkan likuifaksi terjadi. Pulau Bali pernah dilanda gempa bumi yang cukup dahsyat di Tahun 1815 dengan kekuatan 7,5 M. Oleh karena itu, potensi likuifaksi ini perlu diberikan perhatian khusus. Dengan demikian, pihak pengembang area reklamasi melakukan perbaikan dan perkuatan tanah menggunakan stone column yang memiliki diameter 0,60 m dengan jarak center to center (CTC) 1,80 m.

Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa abrasi yang terjadi akibat reklamasi juga perlu ditinjau terlebih

dahulu. Hal tersebut dilakukan karena sebelumnya pada Tahun 2014, masyarakat di pesisir Pantai Jerman merasakan penambahan kecepatan abrasi akibat Proyek Reklamasi Pantai Tuban. Bahkan garis Pantai Jerman telah berkurang sejauh ± 500 m semenjak dilakukannya proyek tersebut. Oleh karena itu, agar tidak terulang kembali tragedi Pantai Jerman, pihak pengembang area reklamasi merencanakan *shore protection* dengan revetment tumpukan batu.

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini akan direncanakan kembali reklamasi untuk perpanjangan *runway* Bandar Udara Ngurah Rai dengan mempertimbangkan potensi likuifaksi yang ada. Kemudian, untuk bangunan pelindung pantai atau *shore protection*nya akan direncanakan alternatifnya sehingga mendapatkan hasil yang paling efektif.

II. METODOLOGI

Metodologi direpresentasikan berupa diagram alir penelitian. Adapun diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

III. PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Data Tanah

Data tanah dari lokasi proyek reklamasi perpanjangan *runway* Bandar Udara Ngurah Rai tidak dapat langsung digunakan begitu saja namun perlu diolah dengan pendekatan statistik analisis koefisien variasi (CV) terhadap nilai N-SPTnya. Namun karena hasil dari pendekatan tersebut semua nilai koefisien variasi berada di atas 20% maka dilakukanlah pembagian zona pada area reklamasi berdasarkan elevasinya (Gambar 2). Selanjutnya, setelah dilakukan pembagian zona ternyata pada zona A dan D masih terdapat 2 titik bore hole. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan statistik kembali menggunakan analisis selang kepercayaan. Berdasarkan Diktat Mata Kuliah Statistika Dasar Teknik Sipil ITS, jika

Tabel 1.
Hasil analisis data tanah zona A

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	Φ (°)
0-1	13	Sand	19,26	35,26
1-2	13	Sand	19,26	35,26
2-3	13	Sand	19,26	35,26
3-4	13	Sand	19,26	35,26
4-5	13	Sand	19,26	35,26
5-6	13	Sand	19,26	35,26
6-7	40	Sand	21,74	46,58
7-8	40	Sand	21,74	46,58
8-9	40	Sand	21,74	46,58
9-10	40	Sand	21,74	46,58
10-11	48	Sand	23	53,50
11-12	48	Sand	23	53,50
12-13	55	Lime stone	23	60,67
13-14	55	Lime stone	23	60,67
14-15	55	Lime stone	23	60,67

Tabel 2.
Hasil analisis data tanah zona B

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	Φ (°)
0-1	50	Sand	23	55
1-2	50	Sand	23	55
2-3	50	Sand	23	55
3-4	35	Sand	21,49	43,33
4-5	35	Sand	21,49	43,33
5-6	35	Sand	21,49	43,33
6-7	35	Sand	21,49	43,33
7-8	42	Lime stone	21,42	42,47
8-9	42	Lime stone	21,42	42,47
9-10	42	Lime stone	21,42	42,47
10-11	9	Sand	18	34
11-12	14	Sand	19,28	35,28
12-13	14	Sand	19,28	35,28
13-14	14	Sand	19,28	35,28
14-15	14	Sand	19,28	35,28

Tabel 3.
Hasil analisis data tanah zona C

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	Φ (°)
0-1	9	Sand	18	34,00
1-2	9	Sand	18	34,00
2-3	9	Sand	18	34,00
3-4	10	Sand	19,03	35,03
4-5	10	Sand	19,03	35,03
5-6	37	Sand	21,61	44,87
6-7	60	Sand	23	65,00
7-8	37	Sand	21,61	44,87
8-9	18	Sand	19,44	35,44
9-10	18	Sand	19,44	35,44
10-11	8	Silty Sand	14	28,40
11-12	19	Sandy Silt	21	36,46
12-13	8	Silty Sand	14	28,40
13-14	19	Sandy Silt	21	36,46
14-15	60	Lime stone	23	65,00

Tabel 4.
Hasil analisis data tanah zona D

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ_{sat} (kN/m ³)	Φ (°)
0-1	2	Sand	12,60	27,28
1-2	2	Sand	12,60	27,28
2-3	2	Sand	12,60	27,28
3-4	2	Sand	12,60	27,28
4-5	2	Sand	12,60	27,28
5-6	19	Sand	19,63	35,63
6-7	19	Sand	19,63	35,63
7-8	19	Sand	19,63	35,63
8-9	19	Sand	19,63	35,63
9-10	34	Sand	21,45	42,82
10-11	34	Sand	21,45	42,82
11-12	54	Lime stone	23,00	59,00
12-13	54	Lime stone	23,00	59,00
13-14	54	Lime stone	23,00	59,00
14-15	54	Lime stone	23,00	59,00

Tabel 5.
Hasil analisis potensi likuifaksi aspek granulometri tanah

Zona	Titik Bored Hole	Kedalaman (m)	Keterangan
A	BH-04	1,7 – 2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-04	4 – 4,2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-04	11 – 11,3	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-06	1 – 2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
B	BH-06	4 – 5	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-06	14 – 15	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-03	1 – 2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
C	BH-03	4 – 5	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-03	14 – 15	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-05	1 – 1,2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
D	BH-05	6,4 – 6,6	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-05	14,8 – 15	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-01	1 – 2	Berpotensi Likuifaksi
D	BH-01	4 – 5	Berpotensi Likuifaksi
	BH-01	15 – 16	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-02	1 – 2	Tidak Berpotensi Likuifaksi
	BH-02	4 – 5	Tidak Berpotensi Likuifaksi
D	BH-02	14 – 15	Tidak Berpotensi Likuifaksi

Tabel 6.
Hasil analisis likuifaksi aspek tegangan zona A

Kedalaman	N-SP T	Jenis	CSR	N ₁₆₀	CRR _{7,5}	SF: Gempa 7,5 M
0-1	13	Sand	0,085	11,41	0,126	1,486
1-2	13	Sand	0,084	11,41	0,126	1,497
2-3	13	Sand	0,083	12,17	0,133	1,592
3-4	13	Sand	0,083	12,17	0,133	1,604
4-5	13	Sand	0,082	12,93	0,140	1,702
5-6	13	Sand	0,081	12,93	0,140	1,716
6-7	40	Sand	0,073	44,21	-	Not Potential
7-8	40	Sand	0,071	43,83	-	Not Potential
8-9	40	Sand	0,069	43,56	-	Not Potential
9-10	40	Sand	0,067	43,35	-	Not Potential
10-11	48	Sand	0,065	54,47	-	Not Potential
11-12	48	Sand	0,062	54,17	-	Not Potential
12-13	55	Lime stone	0,065	61,78	-	Not Potential
13-14	55	Lime stone	0,062	61,55	-	Not Potential
14-15	55	Lime stone	0,059	61,36	-	Not Potential

jumlah sampel ≤ 30 maka rumus yang digunakan adalah perumusan selang kepercayaan untuk sampel kecil dan tabel distribusi yang digunakan adalah tabel distribusi T.

Pada penelitian ini penulis menggunakan tingkat keyakinan 90% terhadap data yang didapatkan. Tabel 1 merupakan hasil analisis data tanah zona A, zona B (Tabel 2), zona C (Tabel 3), zona D (Tabel 4).

B. Analisis Likuifaksi

Berdasarkan data tanah dari zona A sampai dengan zona D, dapat dilihat bahwa tanah pada zona tersebut didominasi oleh pasir. Selain itu, lokasi semua titik bor berada di bawah permukaan laut. Hal tersebut membuat kondisi tanah pada semua zona menjadi tanah yang jenuh air. Ditambah lagi, riwayat gempa terbesar pada Pulau Bali mencapai 7,5 M.

Tabel 7.
Hasil analisis likuifaksi aspek tegangan zona B

Kedalaman	N-SPT	Jenis Tanah	CSR	N ₁₆₀	CRR _{7,5}	SF: Gempa 7,5 M
0-1	50	Sand	0,065	40,29	-	Not Potential
1-2	50	Sand	0,065	40,29	-	Not Potential
2-3	50	Sand	0,064	42,98	-	Not Potential
3-4	35	Sand	0,064	30,20	-	Not Potential
4-5	35	Sand	0,065	32,26	-	Not Potential
5-6	35	Sand	0,065	32,37	-	Not Potential
6-7	35	Sand	0,064	36,27	-	Not Potential
7-8	42	Lime stone	0,064	43,56	-	Not Potential
8-9	42	Lime stone	0,063	43,57	-	Not Potential
9-10	42	Lime stone	0,062	43,57	-	Not Potential
10-11	9	Sand	0,066	9,87	0,112	1,697
11-12	14	Sand	0,065	15,44	0,164	2,540
12-13	14	Sand	0,063	15,50	0,165	2,621
13-14	14	Sand	0,061	15,55	0,166	2,718
14-15	14	Sand	0,059	15,60	0,166	2,829

Tabel 8.
Hasil analisis likuifaksi aspek tegangan zona C

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	CSR	N ₁₆₀	CRR _{7,5}	SF: Gempa 7,5 M
0-1	9	Sand	0,092	8,23	0,098	1,065
1-2	9	Sand	0,091	8,23	0,098	1,073
2-3	9	Sand	0,091	8,78	0,103	1,132
3-4	10	Sand	0,089	9,70	0,110	1,242
4-5	10	Sand	0,087	10,24	0,115	1,323
5-6	37	Sand	0,077	37,42	-	Not Potential
6-7	60	Sand	0,081	66,68	-	Not Potential
7-8	37	Sand	0,071	40,64	-	Not Potential
8-9	18	Sand	0,070	19,72	0,212	3,030
9-10	18	Sand	0,069	19,73	0,212	3,088
10-11	8	Silty Sand	0,074	9,27	0,107	1,447
11-12	19	Sandy Silt	0,066	22,07	0,243	3,689
12-13	8	Silty Sand	0,070	9,31	0,107	1,539
13-14	19	Sandy Silt	0,061	22,13	0,244	3,970
14-15	60	Lime stone	0,064	69,54	-	Not Potential

Kondisi tersebut membuat tanah di area reklamasi sangat rawan terhadap likuifaksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis likuifaksi terhadap tanah pada area tersebut. Analisis potensi likuifaksi dapat dilakukan berdasarkan 2 aspek, yaitu aspek granulometri tanah dan aspek tegangan.

1) Aspek Granulometri Tanah

Aspek granulometri tanah dilakukan dengan panduan dari Grafik Tsuchida [1]. Grafik tersebut akan menjadi batas apakah tanah berpotensi likuifaksi atau tidak. Oleh karena itu, data hasil analisis granulometri tanah pada area reklamasi akan di plot ke dalam grafik tersebut sehingga didapatkan hasil analisisnya (Tabel 5).

Tabel 9.
Hasil analisis likuifaksi aspek tegangan zona D

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	CSR	N ₁₆₀	CRR _{7,5}	SF: Gempa 7,5 M
0-1	2	Sand	0,212	2,04	0,053	0,250
1-2	2	Sand	0,211	2,04	0,053	0,252
2-3	2	Sand	0,209	2,18	0,054	0,257
3-4	2	Sand	0,208	2,18	0,054	0,259
4-5	2	Sand	0,206	2,31	0,054	0,264
5-6	19	Sand	0,155	21,96	0,241	1,561
6-7	19	Sand	0,124	24,55	0,283	2,286
7-8	19	Sand	0,109	24,55	0,283	2,602
8-9	19	Sand	0,099	24,55	0,283	2,848
9-10	34	Sand	0,092	43,04	-	Not Potential
10-11	34	Sand	0,085	44,10	-	Not Potential
11-12	54	Lime stone	0,086	68,44	-	Not Potential
12-13	54	Lime stone	0,079	67,08	-	Not Potential
13-14	54	Lime stone	0,074	66,03	-	Not Potential
14-15	54	Lime stone	0,069	65,20	-	Not Potential

2) Aspek Tegangan

Analisis potensi likuifaksi berdasarkan aspek tegangan pada prinsipnya, analisis tersebut akan membandingkan antara pengukuran beban akibat gempa atau rasio tegangan siklik (CSR) dan ketahanan tanah terhadap likuifaksi atau rasio tahanan siklik (CRR). Dalam penelitian ini untuk perhitungan CSR menggunakan perumusan Seed & Idris dan untuk perhitungan CRR menggunakan perumusan Rauch [2]. Hasil perbandingan antara CRR dengan CSR adalah safety factor atau SF. Dalam hal ini, lapisan tanah yang memiliki nilai SF < 1 dianggap berpotensi mengalami likuifaksi, sedangkan lapisan tanah yang memiliki nilai SF ≥ 1 dianggap tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Hasil analisis likuifaksi aspek tegangan dapat dilihat pada: Zona A (Tabel 6), Zona B (Tabel 7), Zona C (Tabel 8), dan Zona D (Tabel 9).

3) Aspek Gabungan

Selanjutnya perlu dilakukan analisis dari gabungan kedua aspek sebelumnya agar dapat menentukan zona likuifaksi dengan jelas. Adapun ketentuan penggabungan kedua analisis ini adalah;(1) Bila analisis aspek granulometri tanah menunjukkan berpotensi mengalami likuifaksi dan aspek tegangan juga berpotensi mengalami likuifaksi, maka tanah berpotensi mengalami likuifaksi. Jika terjadi kasus ini ditandai dengan kode P (*Potential*);(2) Bila analisis aspek granulometri tanah menunjukkan tidak berpotensi mengalami likuifaksi dan aspek tegangan juga tidak berpotensi mengalami likuifaksi, maka tanah tidak berpotensi mengalami likuifaksi. Jika terjadi kasus ini ditandai dengan kode NP (*Not Potential*);(3) Bila salah satu aspek menunjukkan berpotensi mengalami likuifaksi dan aspek lainnya menunjukkan tidak berpotensi mengalami likuifaksi, maka tanah sulit untuk terjadi likuifaksi. Jika terjadi kasus ini ditandai dengan kode HP (*Hard to Potential*). Hasil analisis likuifaksi aspek gabungan terlihat pada: Zona A (Tabel 10), Zona B (Tabel 11), Zona C (Tabel 12), dan Zona D (Tabel 13).

Tabel 10.
Hasil analisis likuifaksi aspek gabungan zona A

Kedalaman (m)	Hasil Analisis Aspek			Kesimpulan	
	Granulometri Tanah	Tegangan			
0	-	1	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
1	-	2	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
2	-	3	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
3	-	4	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
4	-	5	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
5	-	6	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
6	-	7	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
7	-	8	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
8	-	9	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
9	-	10	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
10	-	11	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
11	-	12	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
12	-	13	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
13	-	14	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
14	-	15	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP

Tabel 11.
Hasil analisis likuifaksi aspek gabungan zona B

Kedalaman (m)	Hasil Analisis Aspek			Kesimpulan	
	Granulometri Tanah	Tegangan			
0	-	1	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
1	-	2	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
2	-	3	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
3	-	4	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
4	-	5	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
5	-	6	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
6	-	7	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
7	-	8	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
8	-	9	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
9	-	10	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
10	-	11	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
11	-	12	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
12	-	13	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
13	-	14	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
14	-	15	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP

Tabel 12.
Hasil analisis likuifaksi aspek gabungan zona C

Kedalaman (m)	Hasil Analisis Aspek			Kesimpulan	
	Granulometri Tanah	Tegangan			
0	-	1	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
1	-	2	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
2	-	3	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
3	-	4	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
4	-	5	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
5	-	6	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
6	-	7	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
7	-	8	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
8	-	9	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
9	-	10	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
10	-	11	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
11	-	12	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
12	-	13	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
13	-	14	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
14	-	15	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP

Dari hasil analisis aspek gabungan ternyata didapatkan bahwa zona likuifaksi hanya terdapat pada zona D saja tepatnya pada kedalaman 0-5 m (Tabel 13).

C. Parameter Tanah Anti Likuifaksi

Potensi likuifaksi yang ada pada zona D, perlu diantisipasi dengan cara melakukan perbaikan tanah pada zona tersebut. Langkah awal yang perlu dilakukan sebelum menentukan metode perbaikan tanah adalah menentukan nilai N-SPT baru. Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut adalah *trial and error*.

Dari hasil analisis dengan metode tersebut ternyata tanah pada zona D sudah aman terhadap potensi likuifaksi ketika

nilai $N-SPT \geq 9$. Maka dari itu, untuk tanah anti likuifaksi pada zona D ditargetkan nilai N-SPT nya sebesar 9 (Tabel 14).

D. Perbaikan Tanah Akibat Potensi Likuifaksi

Setelah mendapatkan nilai N-SPT target untuk mengantisipasi likuifaksi yaitu 9, Langkah selanjutnya adalah menentukan metode yang akan digunakan untuk mencapai N-SPT tersebut.

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode perbaikan tanah *compaction grouting* dan *soil mixing* yang mana metode ini akan dibandingkan dengan metode perbaikan eksisting yaitu *dynamic compaction* dan *vibro*

Tabel 13.
Hasil analisis likuifaksi aspek gabungan zona D

Kedalaman	Hasil Analisis Aspek Granulometri Tanah	Tegangan	Kesimpulan
0 - 1	-	Berpotensi Likuifaksi	P
1 - 2	Berpotensi Likuifaksi	Berpotensi Likuifaksi	P
2 - 3	-	Berpotensi Likuifaksi	P
3 - 4	-	Berpotensi Likuifaksi	P
4 - 5	Berpotensi Likuifaksi	Berpotensi Likuifaksi	P
5 - 6	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
6 - 7	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
7 - 8	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
8 - 9	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
9 - 10	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
10 - 11	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
11 - 12	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
12 - 13	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
13 - 14	-	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP
14 - 15	Tidak Berpotensi Likuifaksi	Tidak Berpotensi Likuifaksi	NP

Tabel 14.
Parameter tanah anti likuifaksi zona D

Kedalaman (m)	N-SPT Lama	N-SPT Target	Jenis Tanah	CSR	N ₁₆₀	CRR _{7,5}	SF: Gempa 7,5 M
0-1	13	9	Sand	0,092	8,23	0,098	1,065
1-2	13	9	Sand	0,091	8,23	0,098	1,073
2-3	13	9	Sand	0,091	8,78	0,103	1,132
3-4	13	9	Sand	0,090	8,78	0,103	1,140
4-5	13	9	Sand	0,089	9,33	0,107	1,202

Tabel 15.
Hasil perbandingan variasi perbaikan tanah zona D

Variabel Perbandingan	Compaction grouting	Nilai	Dynamic Compaction	Nilai	Stone Column	Nilai
Diameter	0,5 m	1	2 m	3	0,6 m	2
Kedalaman perbaikan	5 m	2	12 m	3	12 m	3
Spasi	3 m	3	3 m	3	1,8 m	2
Target N-SPT	9	1	28	2	30	3
Jumlah titik	15.261	3	15.261	3	76.304	2
Total Nilai		10		14		12

Tabel 16.
Perubahan parameter tanah setelah perbaikan soil mixing pada zona D

Kedalaman (m)	N-SPT Lama	N-SPT Baru	γ _{sat} Lama (kN/m ³)	γ _{sat} Baru	Φ Lama (°)	Φ Baru (°)
1-5	2	8	12,60	17,404	27,28	25,86

Tabel 17.
Perubahan parameter tanah setelah perbaikan compaction grouting pada zona D

Kedalaman (m)	N-SPT Lama	N-SPT Baru	γ _{sat} Lama (kN/m ³)	γ _{sat} Baru	Φ Lama (°)	Φ Baru (°)
1-5	2	9	12,60	18,00	27,28	34,00

Tabel 18.
Perubahan parameter tanah setelah perbaikan stone column pada zona D

Kedalaman (m)	N-SPT Lama	N-SPT Baru	γ _{sat} Lama (kN/m ³)	γ _{sat} Baru	Φ Lama (°)	Φ Baru (°)
1-5	2,00	30,00	12,60	21,21	27,28	39,74
6	19,00	30,00	19,63	21,21	35,63	39,74

Tabel 19.
Perubahan parameter tanah setelah perbaikan dynamic compaction pada zona D

Kedalaman (m)	N-SPT Lama	N-SPT Baru	γ _{sat} Lama (kN/m ³)	γ _{sat} Baru	Φ Lama (°)	Φ Baru (°)
9,1	2,00	26,00	12,00	21,00	26,80	37,00
11,1	6,00	28,00	16,00	21,11	30,00	38,37
13,1	24,00	30,00	19,93	21,21	35,93	39,74

replacement dengan stone column. Pada penelitian ini, untuk perencanaan compaction grouting menggunakan perumusan dari Wong dan untuk perencanaan soil mixing mengacu pada hasil studi Hakam, Yuliet, dan Donal [3-4]. Dari hasil

perbandingan berdasarkan variabel yang telah ditentukan, ternyata metode perbaikan tanah yang paling efektif untuk area reklamasi adalah dynamic compaction karena memiliki nilai tertinggi yaitu 14 (Tabel 15). Perubahan parameter tanah

Tabel 20.
Hasil analisis penentuan tinggi timbunan reklamasi

Zona	Tinggi Timbunan Final Rencana, $H_{Final\ Rencana\ (m)}$	Tinggi Timbunan Pelaksanaan, $H_{Pelaksanaan\ (m)}$	Pemampatan Segera, $S_i\ (m)$
A	14	14,059	0,059
B	9	9,034	0,034
C	13	13,096	0,096
D	6	6,046	0,046

Tabel 21.
Hasil perencanaan *shore protection* tetrapod

Parameter Perhitungan	Tetrapod		Batu Pecah	
	Hasil Perhitungan	Satuan	Hasil Perhitungan	Satuan
Elevasi muka air rencana (DWL)	2,15	m	2,15	m
Elevasi mercu revetment	4,30	m	5,2	m
Berat lapis lindung pertama	0,60	ton	2,5	ton
Tebal lapis lindung pertama	0,70	m	2,4	m
Diameter batu lapis pertama	-	-	1,1	m
Lebar puncak lapis lindung pertama	2	m	3,6	m
Jumlah batu pelindung per-10 m ²	14	unit	7	unit

Tabel 22.
Hasil analisis stabilitas lereng *shore protection* tetrapod

Variabel Perbandingan	Tetrapod	Nilai	Revetment Batu Pecah	Nilai
Berat lapis lindung pertama	0,6 ton	2	2,5 ton	1
Jumlah batu	14 unit	1	7 unit	2
Kestabilan lereng rata-rata	2,18	1	2,41	2
Kestabilan lereng rata-rata saat gempa	1,10	1	1,16	2
Total Nilai		5		7

setelah perbaikan *soil mixing* pada zona D terlihat pada Tabel 16, lalu untuk perubahan parameter tanah setelah perbaikan *compacting grouting* pada zona D ada pada Tabel 17.

Tabel 18 menunjukkan perubahan parameter tanah setelah perbaikan stone column pada Zona D. Sedangkan perubahan tanah setelah perbaikan dinamik kompaksi pada Zona D ditunjukkan pada Tabel 19.

E. Perencanaan Reklamasi

1) Penentuan Tinggi Timbunan Reklamasi

Timbunan reklamasi yang perlu direncanakan ketinggiannya adalah tinggi timbunan final rencana dan tinggi timbunan pelaksanaan reklamasi. Untuk menentukan tinggi timbunan pelaksanaan terlebih dahulu perlu ditentukan variasi tinggi timbunan agar nantinya dapat dibuat grafik $H_{Pelaksanaan}$ VS $H_{Final\ rencana}$ dan S_c VS $H_{Final\ Rencana}$. Adapun penentuan variasi tinggi timbunan akan berbeda pada masing-masing zonanya. Penentuan variasi tinggi timbunan akan bergantung kepada elevasi masing-masing zona karena elevasi tersebut perlu masuk ke dalam range variasi tinggi timbunan tersebut.

Selanjutnya untuk masing-masing tinggi timbunan perlu dicari beban ekuivalennya agar dapat ditentukan settlement yang terjadi akibat tinggi timbunan tersebut dengan perumusan sebagai berikut.

$$q_{timbunan} = H_R \times \gamma_{sat\ timbunan}$$

Dimana:

H_R = tinggi timbunan

$\gamma_{sat\ timbunan}$ = berat volume tanah timbunan kondisi jenuh

Sebagai akibat adanya beban timbunan di atas tanah dasar reklamasi tentunya akan terjadi *settlement* pada tanah dasar tersebut. Namun karena tanah dasar area reklamasi di dominasi oleh tanah pasir, maka *settlement* yang terjadi hanyalah *immediate settlement* saja (Tabel 20).

$$S_i = q \times \sum \frac{h_i}{E'_i}$$

Dimana:

q = tegangan yang bekerja pada permukaan tanah

h_i = tebal lapisan tanah ke-i

E'_i = modulus oedometrik pada lapisan ke-i

$$E'_i = E \times \left(1 - \frac{2 \times \mu^2}{1 - \mu}\right)$$

Dimana:

E = modulus elastisitas young

μ = koefisien poisson

$$H_{pelaksanaan} = \frac{q + S_i \times \gamma_w}{\gamma_{timbunan}}$$

Dimana:

q = beban ekuivalen timbunan

S_i = penurunan segera

γ_w = berat volume air laut

$\gamma_{timbunan}$ = berat volume tanah timbunan

2) Perencanaan *Shore protection*

Dalam perencanaan reklamasi tentunya perlu memperhatikan bangunan pengaman pantainya juga. Hal ini dilakukan untuk menjaga tanah dibelakangnya agar tidak terbawa oleh arus dan gelombang ke laut lepas. Pada penelitian ini digunakan *shore protection* dengan jenis revetment tetrapod dan tumpukan batu pecah (Tabel 21). Perencanaan *shore protection* pada penelitian ini menggunakan perumusan Hudson [5]. *Shore protection* yang telah direncanakan perlu dianalisis stabilitas lerengnya dengan bantuan program bantu GEO5. Dari hasil analisis GEO5 didapatkan bahwa, pada zona C saat kondisi gempa untuk kedua *shore protection* stabilitas lerengnya tidak aman

karena nilai SF-nya berada di bawah 1,1. Oleh karena itu untuk zona C perlu ditambahkan perkuatan lereng dengan 3 unit cerucuk dengan spesifikasi pada Tabel 21 dan Tabel 22. $F'_c = 30 \text{ Mpa}$, $L_{\text{cerucuk}} = 6 \text{ m}$, $D_{\text{cerucuk}} = 0,4 \text{ m}$, $Spasi = 1,2 \text{ m}$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: (1) Tinggi timbunan pelaksanaan untuk mencapai tinggi timbunan final rencana yang direncanakan untuk zona A, B, C, dan D dengan elevasi rencana yaitu +4.00 m dari ARP secara berurutan adalah 14,059 m; 9,034 m; 13,096 m; dan 6,046 m (Tabel 20); (2) Penurunan tanah yang terjadi pada zona A, B, C, dan D secara berurutan adalah 0,059 m; 0,034 m; 0,096 m; dan 0,046 m; (3) Zona yang berpotensi likuifaksi berdasarkan hasil analisis gabungan adalah zona D pada kedalaman 0-5 m (Tabel 13); (4) Perubahan parameter fisis tanah pada area reklamasi sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan tanah dapat dilihat pada Tabel 16–19; (5) Perbaikan

tanah yang paling efektif untuk mengantisipasi likuifaksi pada area reklamasi perpanjangan *Runway* Bandar Udara Ngurah Rai adalah *dynamic compaction* (Tabel 15); (6) *Shore protection* yang paling efektif untuk reklamasi perpanjangan *Runway* Bandar Udara Ngurah Rai adalah *shore protection* tipe *revetment* batu pecah (Tabel 22).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. P. Koester and T. Tsuchida, "Earthquake-Induced Liquefaction of Fine-Grained Soils Considerations from Japanese Research," Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, US, 1988.
- [2] T. L. Youd and I. M. Idriss, "Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils," *J. Geotech. geoenvironmental Eng.*, vol. 127, no. 4, pp. 297–313, 2001.
- [3] A. M. El-Kelesh, M. E. Mossaad, and I. M. Basha, "Model of compaction grouting," *J. Geotech. geoenvironmental Eng.*, vol. 127, no. 11, pp. 955–964, 2001.
- [4] A. Hakam, R. Yuliet, and R. Donal, "Studi pengaruh penambahan tanah lempung pada tanah pasir pantai terhadap kekuatan geser tanah," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 11–22, 2010.
- [5] C. M. D. Boonastria, "Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai Untuk Mengatasi Kemunduran Garis Pantai Teluk Penyus, Cilacap, Jawa Tengah," Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2014.