

ANALISIS PERBANDINGAN SISTEM FONDASI *SLAB-ON-GRADE* DENGAN SISTEM FONDASI *SUSPENDED* PADA TANAH REKLAMASI TIMBUNAN

Kris Timothy Kimadha¹ dan Ir. Aniek Prihatiningsih, M. M.²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
kris.325180059@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 22-01-2022, revisi: 2-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 09-03-2022

ABSTRACT

The vast growth of population in big cities of Indonesia causes a surge in demand for new land areas to inhibit, that calls for a lot of reclamation projects to be built all over Indonesian archipelago. To solve that problem, reclamation projects are made in near shore areas to expand the land area. Land reclamation in near shore area can be done by a number of methods, one of which is the heap system. Heap system is a system that uses soil from another area to pile in the reclamation area to raise the ground level above the sea level. This method is commonly used in beach reclamation projects all around Indonesia. Foundation that is built on reclamation soil can be made with slab-on-grade and suspended systems. Slab-on-grade foundation is a system where the floor slab is being used as a shallow foundation that rests on top of the surface soil. Meanwhile suspended foundation use pile foundations that are in direct connection with the floor slab. This paper will do a strength and settlement comparison between slab-on-grade foundation and suspended foundation on heap system reclamation soil that have strong, solid, and dense layer of soil in near surface level.

Keywords: Beach reclamation, heap system, suspended system, slab-on-grade, strength and settlement comparison

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin cepat terutama di kota-kota besar Indonesia, maka banyak dilakukan proyek reklamasi untuk memenuhi kebutuhan akan lahan tanah yang meningkat tiap tahunnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka reklamasi dilakukan di area pesisir pantai untuk memperluas daratan untuk menambah lahan tanah. Reklamasi pantai dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satu metodenya adalah dengan menggunakan sistem timbunan. Sistem timbunan adalah sistem pembangunan reklamasi pantai yang menggunakan timbunan tanah dari daerah lain di atas tanah pada dasar laut untuk menambah ketinggian permukaan tanah sampai di atas permukaan laut. Metode reklamasi ini umum digunakan pada proyek-proyek reklamasi pesisir pantai di seluruh Indonesia. Pembangunan fondasi pada tanah reklamasi timbunan dapat dilakukan dengan sistem fondasi *slab-on-grade* dan sistem fondasi *suspended*. Sistem fondasi *slab-on-grade* adalah sistem fondasi yang menggunakan pelat lantai beton sebagai fondasi dangkal yang diletakkan pada permukaan tanah. Sedangkan sistem *suspended* adalah sistem fondasi yang menggunakan tiang yang berhubungan langsung dengan pelat lantai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis perbandingan kekuatan dan penurunan sistem fondasi *slab-on-grade* dengan sistem *suspended* pada tanah reklamasi timbunan yang memiliki karakteristik lapisan permukaan tanah yang padat dan keras akibat proses reklamasi.

Kata kunci: Reklamasi pantai, sistem timbunan, sistem *suspended*, *slab-on-grade*, perbandingan kekuatan dan penurunan

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan cepatnya pertumbuhan jumlah penduduk terutama di kota-kota besar Indonesia, maka kebutuhan akan lahan tanah terutama di daerah-daerah metropolitan akan meningkat tiap tahunnya. Lahan tanah banyak diperlukan untuk dijadikan lokasi tempat tinggal, keperluan tempat usaha, atau digunakan sebagai kawasan rekreasi. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan lahan di DKI Jakarta adalah dengan melakukan reklamasi pantai di wilayah pesisir Jakarta Utara. Menurut Direktorat Jasa Kelautan (2019), reklamasi di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia semakin dibutuhkan di masa yang akan datang untuk memenuhi kebutuhan ruang yang muncul karena pertumbuhan ekonomi dan kenaikan paras laut.

Menurut Undang-Undang No. 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Pasal 1 Butir 23, pengertian reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat

sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan atau drainase. Dengan kata lain, reklamasi adalah kegiatan memunculkan lahan baru dengan cara menimbun atau mengeringkan kawasan pesisir wilayah perairan, seperti danau, sungai, atau pantai.

Proyek-proyek reklamasi di Indonesia pada umumnya menggunakan metode timbunan dalam pembuatannya. Metode pembangunan proyek reklamasi dengan sistem timbunan berarti tanah reklamasi menggunakan tanah timbunan dari daerah lain di sekitar area pantai. Tanah reklamasi yang dibuat dengan sistem ini memiliki karakteristik yang padat dan kuat di lapisan sekitar permukaan tanah.

Perencanaan reklamasi terutama reklamasi lahan luas di daerah pantai biasa banyak menuai kontroversi di mata publik, hal ini terjadi karena reklamasi pantai dapat berdampak pada ekosistem di sekitar kawasan reklamasi. Menurut Puspasari *et al.* (2017), Perubahan-perubahan yang dapat terjadi adalah perubahan pola arus, erosi, sedimentasi, kualitas air, serta perubahan komposisi dan kelimpahan biota pada ekosistem yang direklamasi.

Pada tanah reklamasi, ada berbagai sistem fondasi yang dapat digunakan, misalnya sistem fondasi *suspended* dan *slab-on-grade*. Sistem fondasi *slab-on-grade* adalah sistem fondasi yang menggunakan pelat lantai dasar sebagai fondasi dangkal yang diletakkan di atas permukaan tanah. Sedangkan, sistem fondasi *suspended* ialah sistem fondasi yang menggunakan pembangunan sistem *suspended/elevated*, dimana digunakan tiang fondasi yang langsung bertemu dengan *concrete slab* tanpa melalui *pile cap* dahulu.

Batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reklamasi yang diteliti adalah reklamasi kawasan pesisir pantai dengan menggunakan timbunan tanah.
2. Analisis menggunakan data penyelidikan tanah di daerah reklamasi Jakarta Utara.
3. Kedua sistem fondasi dibangun untuk menopang pelat lantai bangunan dengan dimensi 6 x 6 x 0,25 m.
4. Spesifikasi tiang yang akan digunakan pada sistem fondasi *suspended* adalah tiang pancang *spun pile* dengan diameter 1000 mm.
5. Beban gempa tidak diperhitungkan.
6. Parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan tanah adalah daya dukung tanah dan penurunan tanah.
7. Pembahasan tidak mencakup pembesian fondasi.

Tujuan dari jurnal ini adalah:

1. Mengetahui di antara sistem *slab-on-grade* pada tanah reklamasi dan sistem *suspended*, metode mana yang memiliki daya dukung lebih kuat.
2. Mengetahui di antara sistem *slab-on-grade* pada tanah reklamasi dan sistem *suspended*, metode mana yang memiliki penurunan yang lebih kecil.
3. Mengetahui di antara sistem *slab-on-grade* pada tanah reklamasi dan sistem *suspended*, metode mana yang memiliki biaya pengerjaan yang lebih murah.

Tanah Reklamasi

Kata 'Reklamasi' berasal dari kosa kata dalam bahasa inggris, yaitu '*to reclaim*' yang berarti memperbaiki sesuatu yang rusak. Dalam kamus bahasa inggris-bahasa indonesia, kata '*reclaim*' berarti menjadikan tanah dari kawasan laut dan kata '*reclamation*' berarti pekerjaan memperoleh tanah. Menurut Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (2004), reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan sosial ekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan, atau drainase

Sistem Reklamasi

Menurut Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (2004), cara pelaksanaan reklamasi sangat tergantung dari sistem yang digunakan. Secara umum reklamasi dibedakan atas 4 sistem, yaitu sistem timbunan, sistem *polder*, sistem gabungan antara timbunan dan *polder*, dan sistem drainase.

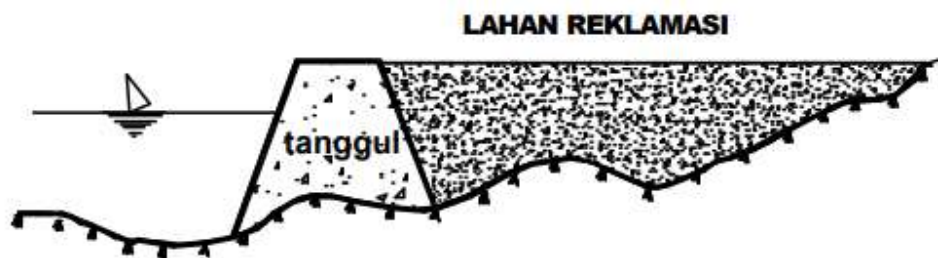
1. Sistem timbunan

Dalam sistem ini, reklamasi dilaksanakan dengan cara menimbun tanah pada wilayah perairan pantai sampai permukaan tanah berada di atas muka air laut tinggi (*high water level*).

Dalam sistem timbunan, garis besar proses pelaksanaan reklamasi adalah sebagai berikut:

- Pada area pesisir pantai yang akan direklamasi, akan dilakukan pembangunan tanggul yang mengelilingi area yang akan direklamasi. Tanggul yang dibuat tidak perlu bersifat kedap air, dan apabila akan dilakukan perlindungan lahan setelah proyek reklamasi selesai maka pembuatan tanggul tidak perlu dilakukan.

- Material reklamasi diurug ke seluruh lahan yang akan direklamasi baik melalui daratan (*dump-truck* dan *dozer*) ataupun dipompakan melalui pipa (*hydraulic fill*), dan *sand by passing*.
- Agar tidak terjadi *mud explosion* dan *mud wave*, maka reklamasi dilakukan secara bertahap yaitu lapis demi lapis dengan ketebalan setiap lapisannya di antara 0,3 sampai dengan 1 m sesuai dengan jenis tanah dasar.
- Perataan lahan hasil reklamasi.
- Setelah diratakan, lahan reklamasi dimatangkan dengan dilakukannya perbaikan tanah seperti pemadatan lahan reklamasi, pemasangan drainase vertikal (*vertical drain*), melakukan *dynamic compaction* (Teknik perbaikan daya dukung tanah dengan cara memadatkan tanah bagian dalam dengan cara menjatuhkan beban berat ke permukaan tanah secara berulang-ulang), melakukan *vibro floatation*, melakukan *dynamic compaction*, atau juga dapat didiamkan dalam jangka waktu tertentu. Sketsa sistem reklamasi timbunan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Reklamasi Timbunan.
(Sumber: Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2004)

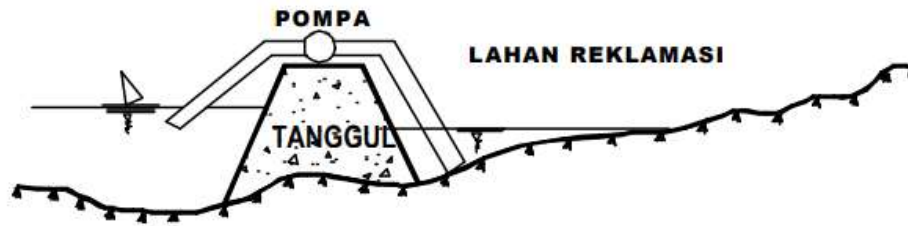
Keuntungan pelaksanaan proyek reklamasi dengan sistem timbunan adalah lahan tanah hasil reklamasi akan selalu berada di atas muka air laut sehingga fasilitas dan pembangunan yang dibangun pada lahan ini relatif aman terhadap deburan ombak laut dan genangan air laut yang berlebihan. Sedangkan kekurangan dari sistem ini dibandingkan sistem lain adalah sistem ini menggunakan volume tanah timbunan yang lebih banyak. Sistem timbunan cocok dilakukan pada daerah tropis yang mempunyai curah hujan yang sangat tinggi dan metode ini yang paling populer di Indonesia.

2. Sistem *polder*

Dalam sistem ini, reklamasi dilaksanakan dengan cara mengeringkan kawasan area pesisir yang akan menjadi wilayah reklamasi dengan cara memompa keluar air yang berada didalam tanggul yang mengelilingi lahan reklamasi. Lahan reklamasi yang terbuat dari metode ini akan memiliki ketinggian permukaan tanah yang berada di bawah muka air laut.

Dalam sistem *polder*, garis besar pelaksanaan reklamasi adalah sebagai berikut:

- Pada area pesisir pantai yang akan direklamasi, akan dilakukan pembangunan tanggul yang mengelilingi area yang akan direklamasi. Tanggul yang dibuat tidak perlu bersifat kedap air, dan apabila akan dilakukan perlindungan lahan setelah proyek reklamasi selesai maka pembuatan tanggul tidak perlu dilakukan.
- Air di daerah yang akan direklamasi dipompa keluar sampai kering.
- Dilakukan perbaikan tanah dasar agar dapat dipergunakan sesuai peruntukan. Perbaikan tanah dasar ini dapat dilakukan dengan metode penimbunan tanah tambahan, pemadatan, atau metode perbaikan tanah lainnya.
- Dilakukan pembuatan jaringan drainase pada lahan reklamasi termasuk pompanisasi agar dapat menjamin bahwa lahan hasil reklamasi dapat tetap kering baik pada musim kemarau maupun penghujan. Pemompaan juga perlu dilakukan untuk memberi saluran bagi aliran dari hulu yang melingkari lahan reklamasi. Pembuatan saluran ini sangat diperlukan untuk menampung rembesan air dari wilayah perairan di sekitar lahan reklamasi yang dapat mengganggu peruntukan lahan. Sketsa sistem reklamasi *polder* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Reklamasi *Polder*.
(Sumber: Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2004)

Keuntungan pelaksanaan proyek reklamasi dengan sistem ini adalah volume material timbunan yang diperlukan dalam metode ini relative lebih sedikit dibandingkan sistem-sistem lain, tetapi hal itu menyebabkan kerugian yaitu lahan reklamasi akan selalu terancam genangan air baik berasal dari air laut maupun dari air hujan. Dengan demikian, sistem ini memerlukan biaya operasional dan pemeliharaan yang cukup besar.

Sistem *polder* dilakukan pada lokasi dengan kondisi drainase yang baik. Reklamasi sistem *polder* kurang cocok untuk daerah yang mempunyai curah hujan yang sangat tinggi seperti di Indonesia.

3. Sistem gabungan antara timbunan dan *polder*

Dalam sistem ini, reklamasi dilaksanakan dengan sistem yang merupakan gabungan antara Sistem *Polder* dan Sistem Timbunan, yang berarti setelah lahan reklamasi diperoleh dengan metode pemompaan pada sistem *polder*, lahan reklamasi tersebut akan ditimbun dengan tanah timbunan sampai ketinggian muka tanah tertentu.

Sistem ini biasa dilakukan sebagai metode perbaikan tanah dasar reklamasi di area pantai yang karakteristik tanahnya sangat lunak. Sketsa sistem reklamasi timbunan dan *polder* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reklamasi Sistem Kombinasi antara *Polder* dan Timbunan.
(Sumber: Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2004)

4. Sistem drainase

Sistem reklamasi ini biasanya digunakan pada proyek reklamasi di wilayah pesisir pantai yang bersifat datar dan lebih rendah dibandingkan lahan tanah sekitarnya, namun elevasi muka tanahnya masih lebih tinggi dari muka air laut. Biasanya wilayah yang berkarakteristik seperti ini adalah wilayah rawa baik yang dipengaruhi pasang surut ataupun tidak terpengaruh pasang surut. Dengan dibuatnya reklamasi dengan sistem ini, maka wilayah ini dapat digunakan sebagai wilayah pemukiman atau sebagai wilayah pertanian.

Daya Dukung Tiang Pancang

Kapasitas daya dukung tiang pancang didapat dari jumlah daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Berikut ini merupakan beberapa cara perhitungan untuk menghitung kapasitas daya dukung ujung dan selimut tiang:

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

dengan Q_u = daya dukung tiang, Q_p = daya dukung ujung tiang, dan Q_s = daya dukung selimut tiang

Daya Dukung Ujung Tiang

Metode yang digunakan untuk menghitung tahanan kapasitas ujung tiang adalah metode perhitungan rasional (data lab), kapasitas ujung tiang pancang dapat dinyatakan dengan persamaan rasional:

$$Q_p = A_s \cdot \gamma' \cdot S_u \quad (2)$$

dengan Q_p = daya dukung ujung tiang, A_s = luas penampang tiang pancang, γ' = Berat jenis efektif tanah, dan S_u = kuat geser tanah.

Daya Dukung Selimut Tiang

Kapasitas daya dukung selimut tiang pancang dapat dihitung menggunakan beberapa metode. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan daya dukung selimut tiang adalah metode alfa berdasarkan API (1987).

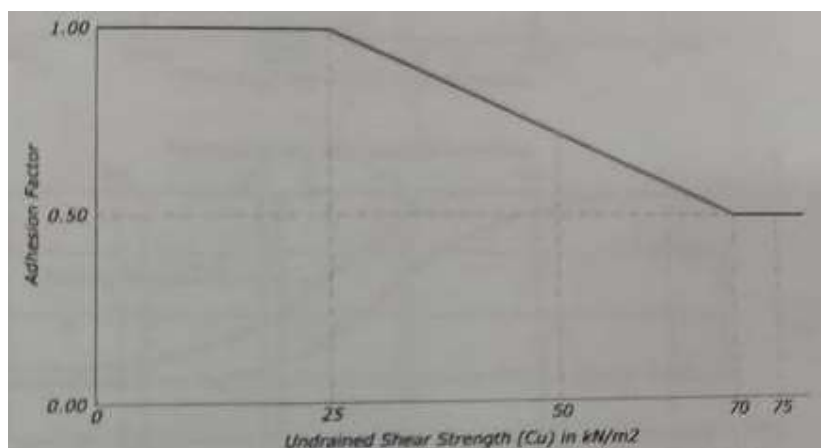
Pada metode alfa menurut API (1987), untuk menentukan tahanan gesek tiang yang dipancang di dalam tanah lempung, digunakan faktor adhesi (α) yang dikumpulkan oleh API (1987) pada Gambar 4 berikut ini. Tahanan gesek tiang dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$Q_s = A_s f_s \quad (3)$$

$$f_s = c_d = \alpha \cdot S_u \quad (4)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut tiang, A_s = luas selimut tiang pancang, f_s = tahanan gesek per satuan luas, c_d = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya, α = faktor adhesi, S_u = kuat geser tanah.

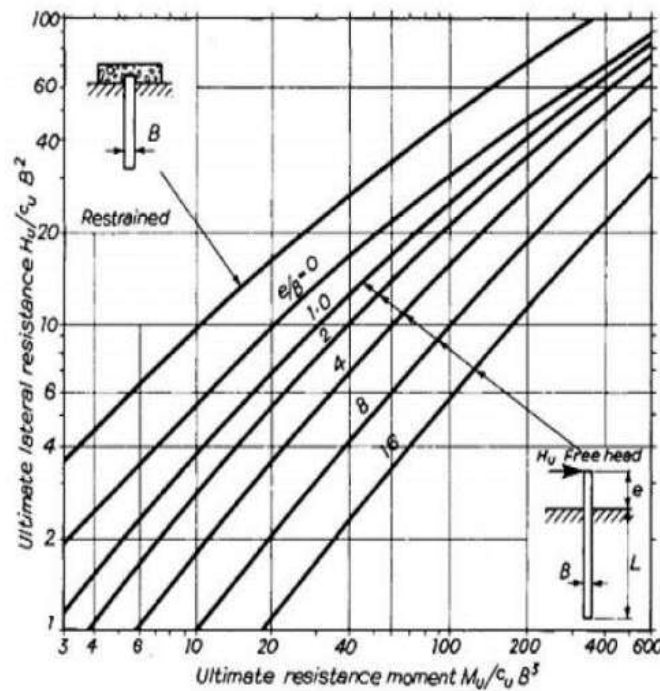
Untuk menentukan faktor adhesi (α) yang digunakan dalam perhitungan, berikut ini merupakan grafik faktor adhesi yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik faktor adhesi (Sumber: API, 1987)

Daya Dukung Lateral Tiang

Untuk menghitung daya dukung lateral tiang, dapat menggunakan metode Broms (1964). Metode Broms (1964) dapat digunakan untuk menghitung tahanan maksimum akibat gaya lateral baik *rigid piles* maupun *long piles* yang berada pada lapisan tanah homogen dan murni berupa tanah kohesif atau granuler. Untuk tiang panjang dalam tanah granuler dapat menggunakan metode grafis yaitu melakukan *plotting* pada grafik yang ada di Gambar 5.



Gambar 5. Tahanan lateral pada tanah granular untuk tiang panjang (Sumber: Broms, 1964)

Grafik pada Gambar 5 digunakan dengan cara melakukan perhitungan rumus $\frac{M_u}{S_u \cdot B^3}$, yang kemudian nilai hasil perhitungannya akan diplot pada grafik untuk mendapatkan nilai $\frac{H_u}{S_u \cdot B^2}$. Setelah itu, dari nilai $\frac{H_u}{S_u \cdot B^2}$ dapat ditentukan besar H_u (daya dukung lateral) tiang.

$$\frac{M_u}{S_u \cdot B^3} \quad (5)$$

$$\frac{H_u}{S_u \cdot B^2} \quad (6)$$

dengan M_u = momen yang bekerja, S_u = kuat geser tanah, B = lebar tiang, dan H_u = kapasitas lateral tiang

Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal digunakan apabila letak tanah kerasnya berada dekat dengan permukaan tanah dan tidak terlalu dalam yakni kedalaman fondasi kurang atau sama dengan lebar fondasi ($D \leq B$). Kapasitas daya dukung fondasi dangkal ialah kemampuan tanah dibawah fondasi menahan beban yang diteruskan oleh fondasi dangkal. Besarnya kapasitas daya dukung direpresentasikan atas tiga bagian yang masing-masing bagian berhubungan dengan bagian dari mekanisme keruntuhan. Bagian pertama berasal dari kekuatan kohesi tanah, bagian kedua berasal dari berat tanah diatas dasar fondasi dangkal dan bagian ketiga berasal dari berat tanah dibawah dasar fondasi dangkal.

Menurut Ahmad, L. & Ikhya (2016), untuk menentukan kapasitas daya dukung fondasi dangkal, ada beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu metode Terzaghi, Meyerhof, dan Hansen.

Daya Dukung Fondasi Dangkal Menurut Metode Terzaghi

Metode penentuan daya dukung fondasi dangkal yang paling sering digunakan adalah metode dari Terzaghi. Analisis daya dukung didasarkan kondisi general shear failure, yang dikemukakan Terzaghi (1943) dengan anggapan pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar B dan terletak di atas tanah homogen.

Berikut ini merupakan persamaan Terzaghi untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal:

$$Q_{ult} = c' N_c S_c + q N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (7)$$

dengan Q_{ult} = daya dukung ultimit fondasi, c' = kohesi tanah, q = berat jenis tanah, γ = berat jenis efektif tanah, B = lebar fondasi, N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung tanah, dan S_c, S_γ = faktor bentuk fondasi dangkal

Untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal yang bersifal jangka pendek (*short term*), maka persamaan yang digunakan sama, tetapi diasumsi bahwa sudut geser tanah sama dengan nol dan menggunakan parameter S_u pada persamaan menggantikan parameter c' .

Daya Dukung Fondasi Dangkal Menurut Metode Meyerhof

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal menurut Meyerhof:

$$Q_{ult} = c'N_c d_c i_c + qN_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (8)$$

dengan Q_{ult} = daya dukung ultimit fondasi, c' = kohesi tanah, q = berat jenis tanah, γ = berat jenis efektif tanah, B = lebar fondasi, N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah, d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman fondasi, dan i_c, i_q, i_γ = faktor inklinasi fondasi

Untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal yang bersifal jangka pendek (*short term*), maka persamaan yang digunakan sama, tetapi diasumsi bahwa sudut geser tanah sama dengan nol dan menggunakan parameter S_u pada persamaan menggantikan parameter c' .

Daya Dukung Fondasi Dangkal Menurut Metode Hansen

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal menurut Hansen:

$$Q_{ult} = c'N_c d_c i_c g_c b_c + qN_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (9)$$

dengan Q_{ult} = daya dukung ultimit fondasi, c' = kohesi tanah, q = berat jenis tanah, γ = berat jenis efektif tanah, B = lebar fondasi, N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah, d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman fondasi, i_c, i_q, i_γ = faktor inklinasi fondasi, g_c, g_q, g_γ = faktor kemiringan tanah, dan b_c, b_q, b_γ = faktor *base* fondasi

Untuk menentukan daya dukung fondasi dangkal yang bersifal jangka pendek (*short term*), maka persamaan yang digunakan sama, tetapi diasumsi bahwa sudut geser tanah sama dengan nol dan menggunakan parameter S_u pada persamaan menggantikan parameter c' .

Penurunan Elastis Fondasi Tiang

Menurut Das (2007), penurunan elastis pada fondasi tiang dapat ditentukan dengan persamaan:

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (10)$$

dengan S_e = penurunan total, $S_{e(1)}$ = penurunan elastis dari tiang, $S_{e(2)}$ = penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di ujung tiang, dan $S_{e(3)}$ = penurunan tiang yang disebabkan oleh beban di selimut tiang

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi \times Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (11)$$

dengan Q_{wp} = beban yang dipikul pada ujung tiang, Q_{ws} = beban yang dipikul pada selimut tiang, L = panjang tiang, A_p = luas penampang tiang, E_p = modulus elastisitas tiang, dan $\xi = 0,5$ atau $0,67$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} \times D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (12)$$

dengan $q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p}$ = beban yang dipikul pada ujung tiang per satuan luas, D = lebar/diameter tiang (m), I_{wp} = faktor pengaruh = 0,85, μ_s = poisson's ratio tanah, dan E_s = modulus elastisitas tanah

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p \times L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (13)$$

dengan p = keliling tiang, L = panjang tiang tertanam, dan I_{ws} = faktor pengaruh = 0,85

Penurunan Elastis Fondasi Dangkal

Pada penelitian ini, perhitungan penurunan elastis fondasi dangkal dihitung dengan metode Janbu, Bjerrum dan Kjaernsli, cara menghitung penurunan segera rata-rata untuk beban terbagi rata fleksibel berbentuk empat persegi panjang dan lingkaran, dengan E yang bervariasi, adalah sebagai berikut:

$$S_e = \frac{\mu_0 \times \mu_1 \times B \times \sigma}{E} \quad (14)$$

dengan Se = penurunan elastis, B = lebar efektif fondasi dangkal, σ = tegangan luar, E = modulus elastisitas tanah, μ_0 = faktor koreksi untuk kedalaman fondasi, dan μ_1 = faktor koreksi untuk lapisan tanah tebal terbatas

Penurunan Konsolidasi Fondasi

Penurunan konsolidasi primer untuk tanah berkonsolidasi normal (*normally consolidated*), dapat dituliskan sebagai berikut:

Untuk kondisi $\sigma'_0 > \sigma'_p$,

$$Sp = \frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (15)$$

dengan S_p = penurunan konsolidasi primer, C_c = koefisien konsolidasi, H = ketebalan lapisan tanah, e_0 = angka pori awal, σ'_0 = tegangan efektif awal, dan $\Delta\sigma'$ = perubahan tegangan efektif vertikal

Untuk kondisi $\sigma'_0 < \sigma'_p$ dan $\sigma'_0 + \Delta\sigma' \leq \sigma'_p$,

$$Sp = \frac{Cs \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (16)$$

Untuk kondisi $\sigma'_0 < \sigma'_p$ dan $\sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_p$,

$$Sp = \frac{Cs \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{vm}}{\sigma'_0} \right) + \frac{Cc \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad (17)$$

dengan S_p = penurunan konsolidasi primer, C_c = koefisien konsolidasi, H = ketebalan lapisan tanah, e_0 = angka pori awal, σ'_0 = tegangan efektif awal, dan $\Delta\sigma'$ = perubahan tegangan efektif vertikal

Penurunan Total Fondasi

Penurunan total didapat dari menjumlahkan penurunan elastis dan penurunan konsolidasi, namun pada umumnya penurunan konsolidasi sekunder diabaikan sehingga hanya perlu menghitung penurunan elastis dan konsolidasi.

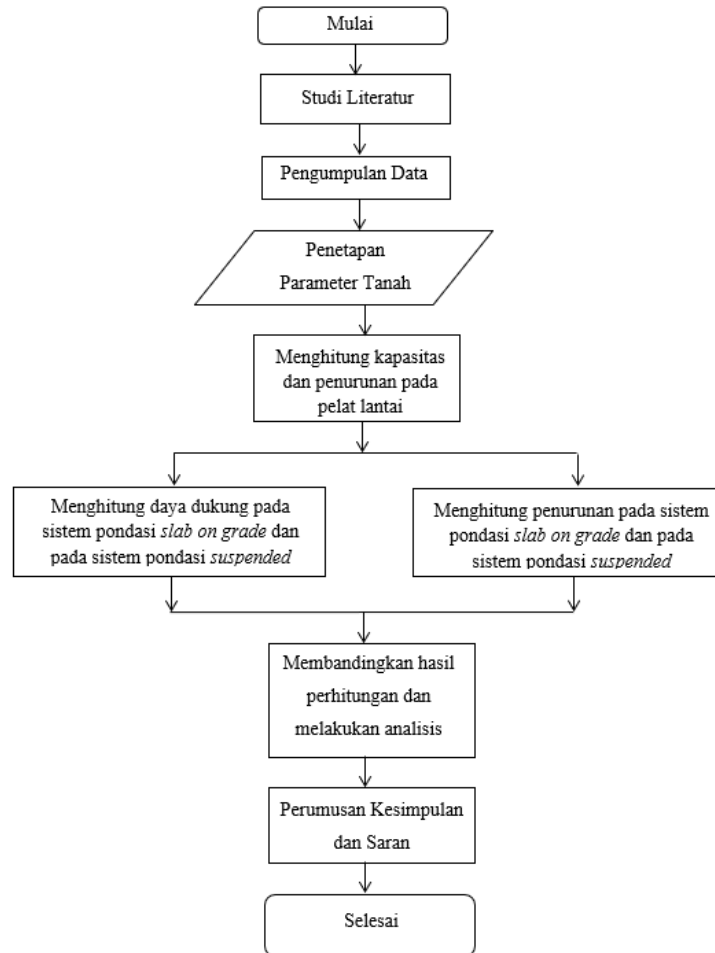
$$S = Se + Sp \quad (18)$$

dengan S = penurunan total, Se = penurunan elastis, dan S_p = penurunan konsolidasi

2. METODE PENELITIAN

Diagram Alur Penelitian

Diagram alur yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

Parameter Data Tanah

Analisis perhitungan dalam penelitian ini dilakukan pada tanah yang memiliki karakteristik parameter yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman parameter tanah

Kedalaman	γ' (kN/m ³)	ϕ (°)	S_u (kN/m ²)	c' (kN/m ²)	e_0 (kN/m ²)	C_c	C_s	OCR	P_c' (kN/m ²)
0 s/d 2 m	18,5	35	150	30	0,55	0,15	0,09	50	950
2 s/d 4 m	18	30	90	18	0,55	0,23	0,12	7	350
4 s/d 8 m	8,693	30	30	6	0,60	0,06	0,04	0,4	100
8 s/d 14 m	10,193	28	25	5	0,90	0,06	0,04	0,4	75
14 s/d 18 m	10,193	29,5	60	12	1,00	0,06	0,04	0,4	150
18 s/d 21 m	10,193	32	110	22	0,60	0,06	0,04	0,4	300
21 s/d 24 m	10,193	35	160	32	0,50	0,06	0,04	0,4	500

Seperti yang terlihat pada Tabel 1, tanah timbunan reklamasi yang digunakan memiliki karakteristik dimana tanah timbunan lempung yang digunakan pada lapisan-lapisan dekat permukaan tanah memiliki karakteristik yang lebih kuat dan lebih padat dibandingkan lapisan tanah di bawahnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, kedua sistem fondasi yang dibandingkan akan digunakan pada pelat lantai bangunan yang memiliki asumsi desain sebagai berikut:

Desain pelat : 6 x 6 m

Tebal pelat : 250 mm

f'_c beton : 25 MPa

Pada penelitian ini, beban luar yang digunakan untuk mengukur kapasitas dan penurunan fondasi adalah:

Beban vertikal (P_y) : 1412,208 kN

Beban arus : 26,57 kg/m

Beban horizontal (P_x) : 1,5634 kN

Momen ($M_x = M_y$) : 141,2208 kNm

Berdasarkan asumsi desain pelat lantai yang sudah ditentukan dan metode perhitungan penurunan yang sudah ditentukan, desain pelat lantai akan mengalami penurunan sebesar 60,1901 mm. Besar penurunan tersebut tidak memenuhi batasan penurunan pada fondasi dangkal menurut Terzaghi & Peck yaitu sebesar 1 inci (25,4 mm). Maka pada desain pelat lantai perlu ditambah sistem fondasi untuk mengurangi penurunan yang terjadi agar dapat memenuhi batasan penurunan yang sudah ditentukan.

Pada desain sistem *suspended*, perhitungan daya dukung dan penurunan akan dilakukan dengan asumsi desain sebagai berikut:

Diameter tiang : 1000 mm

Panjang tiang : 24 m

f'_c tiang : 52 MPa

Tiang pancang berlokasi di tengah-tengah pelat lantai. Sketsa potongan sistem fondasi *suspended* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sketsa sistem fondasi *suspended*

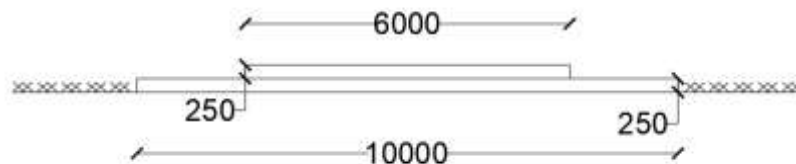
Sedangkan pada desain sistem *slab-on-grade*, perhitungan daya dukung dan penurunan akan dilakukan dengan asumsi desain sebagai berikut:

Desain *slab* : 10 x 10 m

Tebal *slab* : 250 mm

f'_c beton : 25 MPa

Sketsa potongan sistem fondasi *slab-on-grade* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Sketsa sistem fondasi *slab-on-grade*

Dengan beban luar yang telah ditentukan, maka dapat dilakukan analisis kekuatan, penurunan, dan biaya yang sudah dilakukan pada kedua sistem. Rangkuman hasil perhitungan pada parameter-parameter pembandingan kedua sistem fondasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rangkuman hasil analisis kekuatan dan penurunan pada kedua sistem

	Sistem <i>Suspended</i>	Sistem <i>Slab-on-grade</i>
Daya Dukung Fondasi (Q_{all})	1453,0973 kN	267,931 kN/m ²
Penurunan (S_i)	24,7761 mm	21,3032 mm
Biaya (Volume beton yang digunakan)	18,0779 m ³	34 m ³

Berdasarkan hasil perhitungan yang ada pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa desain sistem fondasi *suspended* merupakan desain yang lebih baik digunakan daripada desain sistem fondasi *slab-on-grade*. Penggunaan sistem fondasi *suspended* dianggap lebih cocok daripada sistem fondasi *slab-on-grade* karena biaya pengerjaannya lebih murah dan memiliki penurunan yang memenuhi batasan penurunan maksimum walaupun daya dukungnya jauh lebih kecil daripada sistem fondasi *slab-on-grade*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat dirumuskan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Desain sistem fondasi *suspended* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat lantai berukuran 6 x 6 m dengan tebal pelat 250 mm, menggunakan 1 buah tiang pancang diameter 1000 mm dengan kedalaman 24 m pada tengah pelat.
2. Desain sistem fondasi *slab-on-grade* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat lantai berukuran 6 x 6 m dengan tebal pelat 250 mm ditambah dengan pelat *slab-on-grade* berukuran 10 x 10 m dengan tebal pelat 250 mm dengan selimut beton tebal (75 mm) untuk mengantisipasi abrasi di pantai.
3. Di antara sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade*, sistem fondasi yang memiliki kapasitas daya dukung yang lebih besar adalah sistem fondasi *slab-on-grade*. Hal ini terlihat pada Tabel 2 yang menunjukkan daya dukung sistem fondasi *suspended* sebesar 1453,0973 kN dan daya dukung sistem fondasi *slab-on-grade* sebesar 267,931 kN/m² (267193 kN pada pelat 100 m²).
4. Di antara sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade*, sistem fondasi yang memiliki penurunan yang lebih kecil adalah sistem fondasi *slab-on-grade*. Hal ini terlihat pada Tabel 2 yang menunjukkan penurunan

yang terjadi pada sistem fondasi *suspended* sebesar 24,7761 mm dan penurunan yang terjadi pada sistem fondasi *slab on grade* sebesar 21,3032 mm.

5. Di antara sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade*, sistem fondasi yang memiliki biaya pengerjaan yang lebih murah adalah sistem fondasi *suspended*. Hal ini terlihat pada Tabel 2 yang menunjukkan volume beton yang digunakan pada sistem fondasi *suspended* sebesar 18,0779 m³ dan volume beton yang digunakan pada sistem fondasi *slab-on-grade* sebesar 34 m³.
6. Berdasarkan perbandingan yang sudah dilakukan, penggunaan sistem fondasi *suspended* dianggap lebih cocok daripada sistem fondasi *slab-on-grade* karena biaya pengerjaannya lebih murah dan memiliki penurunan yang memenuhi batasan penurunan maksimum walaupun daya dukungnya jauh lebih kecil daripada sistem fondasi *slab-on-grade*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dirumuskan, ada beberapa saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Perlu dilakukan pengujian sondir di lapangan yang memiliki kapasitas tahanan konus yang lebih kuat yang mampu menembus lapisan tanah padat di lapisan atas tanah timbunan reklamasi agar data pengujian sondir dapat menunjukkan lapisan-lapisan di atas tanah keras.
2. Perlu dilakukan uji sampel tanah di laboratorium agar didapat parameter dan karakteristik tanah yang lebih akurat.
3. Perlu dilakukannya analisis menggunakan *software*/program analisis geoteknik seperti MIDAS GTS NX sebagai pembanding dan melengkapi kekurangan-kekurangan pada analisis penelitian ini.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan ketahanan sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade* terhadap abrasi air laut.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan kapasitas dan penurunan yang di alami sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade* pada tanah reklamasi yang dibuat dengan sistem polder, dikarenakan pada penelitian ini tanah reklamasi yang dianalisis dibuat dengan sistem timbunan.
6. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan kapasitas dan penurunan yang di alami sistem fondasi *suspended* dan sistem fondasi *slab-on-grade* pada tanah timbunan reklamasi yang menggunakan tanah pasir, dikarenakan pada penelitian ini tanah timbunan reklamasi menggunakan tanah lempung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, L. & Ikhyia. (2016). *Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dangkal Tipe Menerus Pengaruh Kedalaman Tanah Keras*. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- API (1987). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms*. API Recommended Practice 2A. American Petroleum Institute, Dallas, Texas. 17th Edition.
- Broms, B. B. (1964). Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 90(3). <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000614>.
- Das, B. M. (2007). *Principles of Foundation Engineering*. PWS-Kent Publishing Company, Michigan, the United States of America.
- Direktorat Jasa Kelautan. (2019). *Reklamasi di Indonesia*. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. (2004). *Pedoman Reklamasi di Wilayah Pesisir*. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- Puspasari, R., Hartati, S. T. & Anggawangsa, R. F. (2017). *Analisis Dampak Reklamasi Terhadap Lingkungan dan Perikanan di Teluk Jakarta*. Pusat Riset Perikanan. Jakarta.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007. *Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*. 17 Juli 2007. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 84. Jakarta.