

Perbaikan Tanah Pada Pekerjaan Perluasan Apron, Bandar Udara APT Pranoto, Samarinda

Eswan¹, A. Mahrus Efendi²

¹Prodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: ¹eswanstmt@gmail.com, ²sarambai79@gmail.com

Artikel Informasi

Riwayat Artikel

Diterima, 19 Januari 2025

Direvisi, 21 Februari 2025

Disetujui, 15 Maret 2025

Kata Kunci:

Bandar Udara,
Perbaikan Tanah,
Rigid Inclusion

Keywords:

Airport,
Soil Improvement,
Rigid Inclusion

ABSTRAK

Bandar udara merupakan prasarana penyelenggaraan sektor transportasi udara (penerbangan) dalam menunjang aktivitas suatu wilayah perlu ditata secara terpadu guna mewujudkan penyediaan jasa kebandarudaraan sesuai dengan tingkat kebutuhannya. Di dalam penataan fasilitas bandar udara, proses perencanaan fasilitas bandar udara sangat membutuhkan keahlian yang khusus, yang mampu menghasilkan suatu produk perencanaan sesuai dengan kriteria-kriteria teknis di bidang kebandarudaraan yang berlaku secara internasional yang merujuk kepada International Civil Aviation Organization (ICAO) dan standar peraturan perundangan yang berlaku. Dengan memperhatikan tingkat kepentingan pengembangan bandar udara di wilayah Kalimantan Timur, maka sudah seharusnya proses perencanaan yang diperlukan tersebut dapat dilaksanakan secara terpadu dalam satu paket pekerjaan agar dapat diperoleh hasil yang optimal, efisien dan efektif. Penelitian ini menyajikan kajian geoteknik optimasi perbaikan tanah di lokasi perluasan apron bandar udara APT Pranoto, Samarinda. Dari hasil analisis pemilihan metode perbaikan tanah, diketahui bahwa teknik perbaikan tanah yang ideal dan mampu memperbaiki tanah lunak sedalam >30m adalah dengan menggunakan Teknik Rigid Inclusion, Metode Pancang, atau PVD Preloading.

ABSTRACT

Airports are infrastructure facilities for the operation of the air transport sector (aviation) to support the activities of a region, and they need to be organized in an integrated manner to provide airport services according to the level of demand. In the arrangement of airport facilities, the planning process for airport facilities requires specialized expertise, capable of producing a planning product that meets the technical criteria in the field of aviation that are internationally applicable, referring to the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the relevant laws and regulations. Considering the importance of airport development in East Kalimantan, the planning process should be implemented in an integrated manner in one package of work to achieve optimal, efficient, and effective results. This study presents a geotechnical review of soil improvement optimization at the expansion site of the apron at APT Pranoto Airport, Samarinda. Based on the analysis of soil improvement method selection, it is found that the ideal technique for improving soft soil to a depth of >30m is by using the Rigid Inclusion Technique, Pile Method, or PVD Preloading.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Penulis Korespondensi:

Eswan

Prodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

Email: eswanstmt@gmail.com

PENDAHULUAN

Bandar udara merupakan prasarana penyelenggaraan sektor transportasi udara (penerbangan) dalam menunjang aktivitas suatu wilayah perlu ditata secara terpadu guna mewujudkan penyediaan jasa kebandarudaraan sesuai dengan tingkat kebutuhannya. Oleh karena itu, dalam pengembangan bandar udara guna menampung kebutuhan jasa pelayanan bandar udara sebagai akibat dari meningkatnya pertumbuhan lalu lintas angkutan udara, perlu segera disiapkan rencana pengembangan bandar udara yang terarah secara konseptual dan terpadu, baik dalam hal pengaturan penyediaan lahan, ruang udara dan lingkungan maupun pengaturan prasarana dan sarana serta sistem operasional bandar udara itu sendiri sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan.

Di dalam penataan fasilitas bandar udara, proses perencanaan fasilitas bandar udara sangat membutuhkan keahlian yang khusus, yang mampu menghasilkan suatu produk perencanaan sesuai dengan kriteria-kriteria teknis di bidang kebandarudaraan yang berlaku secara internasional yang merujuk kepada International Civil Aviation Organization (ICAO) dan standar peraturan perundangan yang berlaku. Dengan memperhatikan tingkat kepentingan pengembangan bandar udara di wilayah Kalimantan Timur, maka sudah seharusnya proses perencanaan yang diperlukan tersebut dapat dilaksanakan secara terpadu dalam satu paket pekerjaan agar dapat diperoleh hasil yang optimal, efisien dan efektif.

Semenjak dioperasikan tahun 2018 jumlah pergerakan pesawat di Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda kian meningkat, dimana pada awal pengoperasian pergerakan pesawat hanya 18 pergerakan per hari dan hanya pesawat jenis ATR 72, namun saat ini pergerakan pesawat mencapai 40 pergerakan per hari dengan pesawat terbesar jenis Boeing 737 900ER. Pertumbuhan positif ini harus selaras dengan kesiapan infrastruktur yang memadai dan salah satunya adalah pelebaran apron, sehingga dapat menambah kapasitas tampung untuk parkir pesawat.

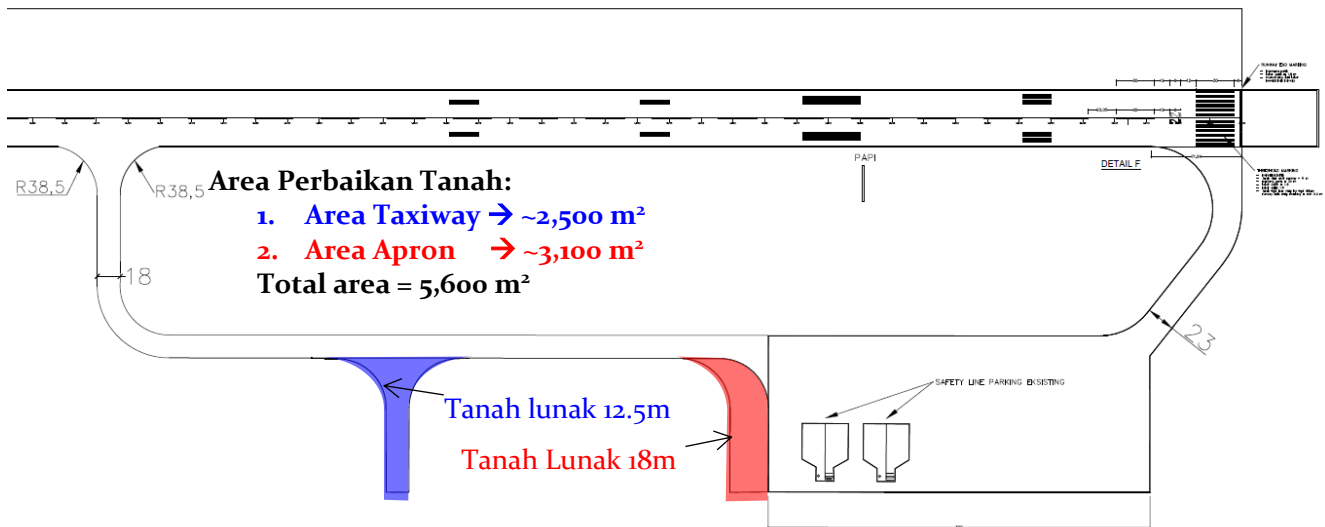
Tulisan ini menyajikan kajian geoteknik optimasi perbaikan tanah di lokasi perluasan apron, di bandar udara APT Pranoto, Samarinda. Selanjutnya, beberapa usulan perbaikan tanah juga akan dilakukan. Lokasi bandar udara APT Pranoto terlihat pada gambar 1. Beberapa opsi awal perbaikan tanah yang diusulkan meliputi :

1. PVD Preloading
2. Stone Column
3. Rigid Inclusion

Untuk setiap usulan perbaikan tersebut, akan disampaikan kajian pemilihan Teknik perbaikan tanah termasuk komparasinya dengan metode pancang yang sudah diusulkan sebelumnya. Dari analisis pemilihan metode perbaikan tanah yang akan disampaikan nantinya akan disimpulkan satu metode yang paling tepat untuk diusulkan dalam alternatif desain ini dan selanjutnya draft RKS (Rencana Kerja dan Syarat-Syarat) juga akan diberikan.



Gambar 1. Lokasi Bandar Udara APT Pranoto – Samarinda



Gambar 2. Area Pengembangan dan Lokasi Perbaikan Tanah

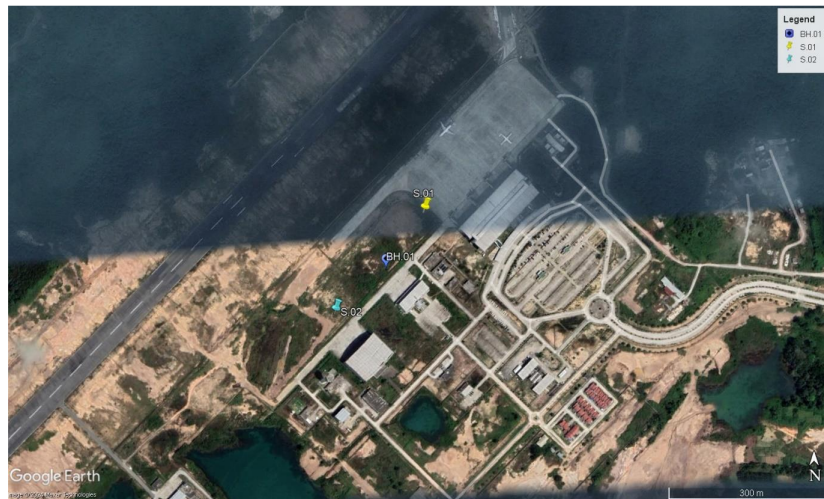
Area perbaikan tanah terdiri dari perpanjangan apron (warna merah) dan juga taxiway (warna biru) seperti terlihat pada Gambar 2 dengan estimasi luasan area seperti terlihat pada gambar.

METODE PENELITIAN

Data Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah terbaru dilakukan oleh konsultan perencana pada Maret 2024 dengan layout seperti terlihat pada

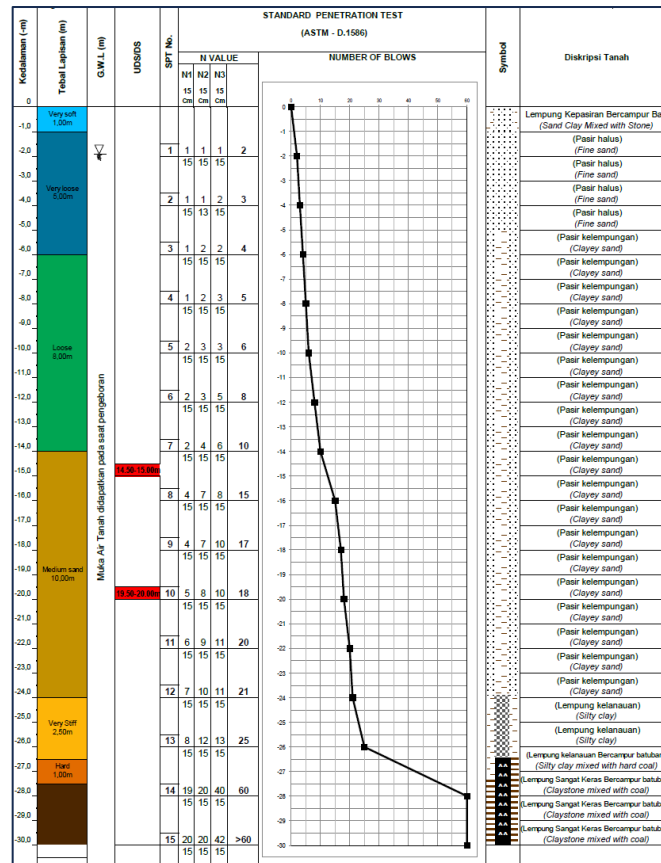
Gambar dibawah, Dimana terdapat 1 pengeboran dalam dan 2 uji CPT.



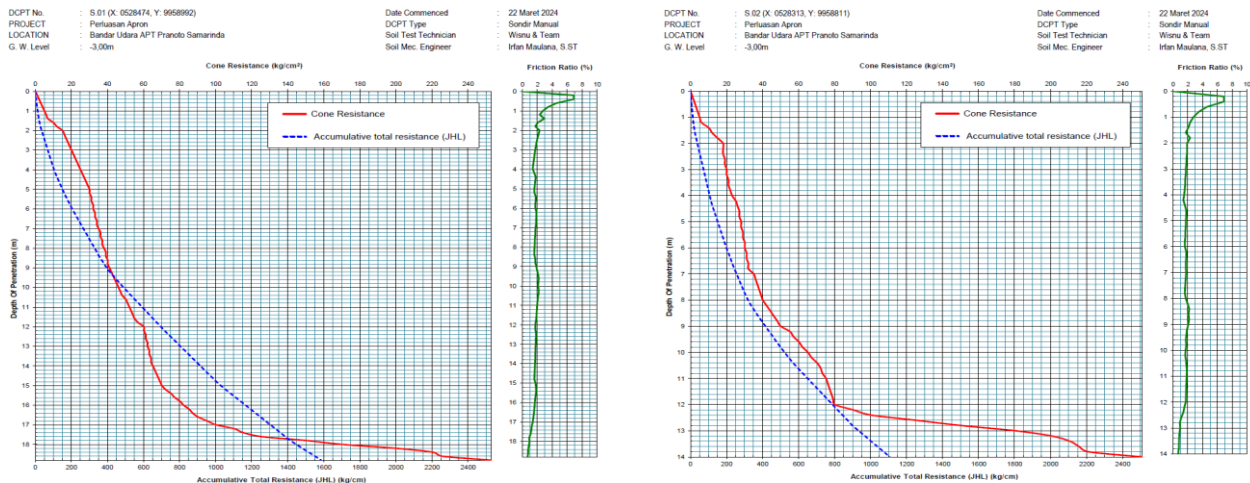
Gambar 3. Titik penyelidikan tanah runway (2024)

Hasil SPT dan lapisan tanah di area runway tersebut bisa direpresentasikan menggunakan borelog terdekat seperti terlihat pada **Gambar 2**. Terlihat bahwa nilai SPT tanah masih cukup rendah dimana hingga kedalaman 16m nilai SPT-N masih berada dibawah 15.

Hal ini sejalan dengan hasil uji sondir di lokasi ujung runway pada titik S01 dan, dimana di dapatkan hasil seperti terlihat pada **Gambar 3** berikut yang menunjukkan kondisi tanah berupa lunak atau pasir lepas hingga kedalaman 16-18m diikuti dengan tanah yang lebih keras. Hal ini mengindikasikan diperlukannya perbaikan tanah hingga kedalaman 16m – 18m dari permukaan tanah.



Gambar 2. Borelog di lokasi Apron (Tipikal)



Gambar 3 Hasil Uji CPT So1 dan So2 (2024)

Uji laboratorium

Uji laboratorium ini dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah dengan menggunakan data dari UDS yang telah dilakukan seperti terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Uji Laboratorium

No	KIND of TEST			BH.01 14,50-15,00m	BH.01 19,50-20,00m
A. PHYSICAL PROPERTIES					
1	Natural Water Content	ω	(%)	17,260	20,346
2	Unit Weight	Y_m	(gr/cm ³)	1,654	1,745
3	Dry Density	Y_d	(gr/cm ³)	1,410	1,450
4	Spesific Gravity	G_s		2,665	2,648
5	Void Ratio	e		0,890	0,826
6	Porosity	n		0,471	0,452
7	Atterberg Limit				
	Liquid Limit	LL	(%)	41,00	40,18
	Plastic Limit	PL	(%)	23,04	27,44
	Plasticity Index	IP	(%)	17,95	12,73
8	Gradation by Sieve Analysis (% Passing) :				
	# 10	2.000	mm	95,60	95,18
	# 40	0,425	mm	82,18	76,64
	# 200	0,075	mm	60,18	52,57
9	Soil Proportion by Gradation Curves (%)				
	Gravel			1,31	1,31
	Sand			38,52	46,12
	Silt			21,77	26,42
	Clay			38,41	26,15
B. ENGINEERING PROPERTIES					
1	Direct Shear				
	Cohesion	c	(kg/cm ²)	0,1170	0,1781
	Internal Friction Angle	ϕ	(°)	19,20	22,15
2	UCS (Unconfined Compressive Strength)				
	Undisturbed Condition	q_u		0,5441	0,7836
	Undrained Cohesion	e_u		0,2721	0,3918
3	Consolidation				
	Compression Index	(C_e)		0,23230	0,19410
	Coef. Of Consolidation	(C_v)	(cm ² /detik)	0,00198	0,00193

Void Ratio	(e)		0,69720	0,68258
Permeability	(k)	(cm ² /detik)	2,79FE-07	1,91E-07
C. SOIL CLASSIFICATION				
1			CL	ML

Parameter Design (Preliminary)

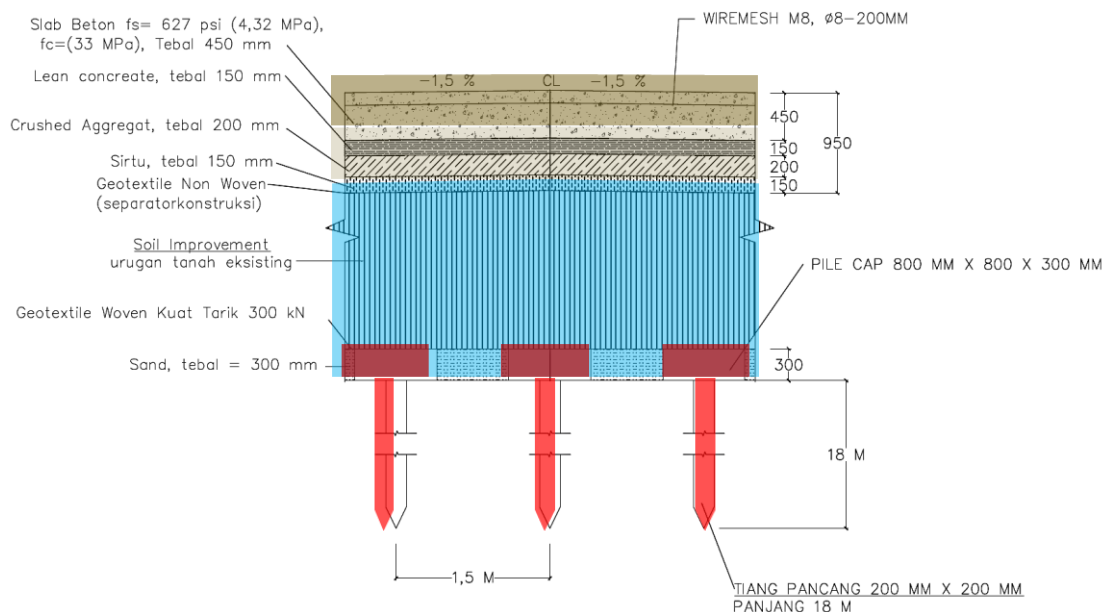
Dari data tanah interim yang ada, kemudian disusun parameter desain awal untuk kebutuhan design geoteknik seperti disusun pada **Error! Reference source not found.** berikut ini.

Tabel 2 Parameter Tanah (preliminary)

Soil / Material	Elevation (m)	SPT-N	Modulus (MPa)			γ (kN/m ³)	Poison ratio, ν	c' (kPa)	Phi'	k (m/s)
			E	E _{oed}	E _{UR}					
Fine Sand	0 to -6	3	3	2.4	12	17	0.3	1	25	1.00E-07
Clayey Sand	-6 to -14	6	6	4.8	24	17	0.3	1	26	1.00E-08
Lower Clayey Sand	-14 to -17	15	15	12	60	18	0.3	2	27	1.00E-08
Med Dense Sand	-17 to -24	18	18	14.4	72	18	0.3	3	28	1.00E-08
V Stiff Clay	-24 to -27	23	20	16	80	19	0.3	10	30	1.00E-08
Hard Clay	> -27	60	50	40	200	20	0.3	15	35	1.00E-09
Rigid pavement	1.9 to 2.4	-	20000			24	0.2			
Compacted Sand (LTP)	1 to 1.9	-	20	16	60	18	0.3	1	35	1.00E-06
Backfill soil	0 to 1	-	18	14.4	54	17	0.3	5	28	1.00E-07
Rigid Inclusion	-	-	5000			24	0.25			

Design perbaikan tanah oleh konsultan

Design awal perbaikan tanah menggunakan tiang pancang dengan dimensi 200 mm x 200 mm, dengan Panjang 18m dan spasi 1.5m c/c. Adapun potongan dari perbaikan tanah tersebut bisa dilihat pada gambar berikut dibawah. Ketebalan tanah timbunan diasumsikan sesuai dengan ketebalan gambar tersebut.



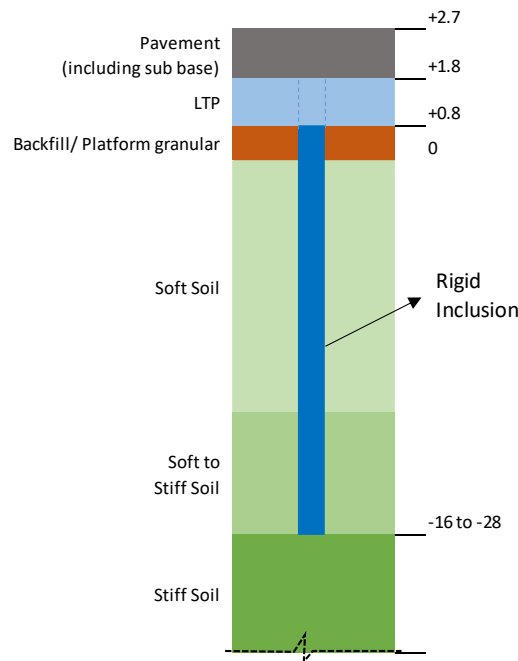
Gambar 6 Potongan Dari Perbaikan Tanah

Design Criteria

Penurunan total yang terjadi pada runway dan apron setelah pekerjaan perbaikan tanah dan perkerasan dibatasi maksimum 100 mm setelah masa konstruksi selesai.

Kriteria desain perbaikan tanah harus mengikuti kriteria berikut:

1. Pembebanan design terdiri dari item berikut:
 - a. Tebal timbunan hingga elevasi dasar perkerasan
 - b. Tebal Lapisan Platform pasir
 - c. Tebal Perkerasan
 - d. Beban pesawat 15 kN/m²
2. Penurunan maksimum 100mm setelah konstruksi hingga 10 tahun.



Gambar 7 Typical potongan kondisi tanah dan perbaikan dengan RI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Penurunan Tanah

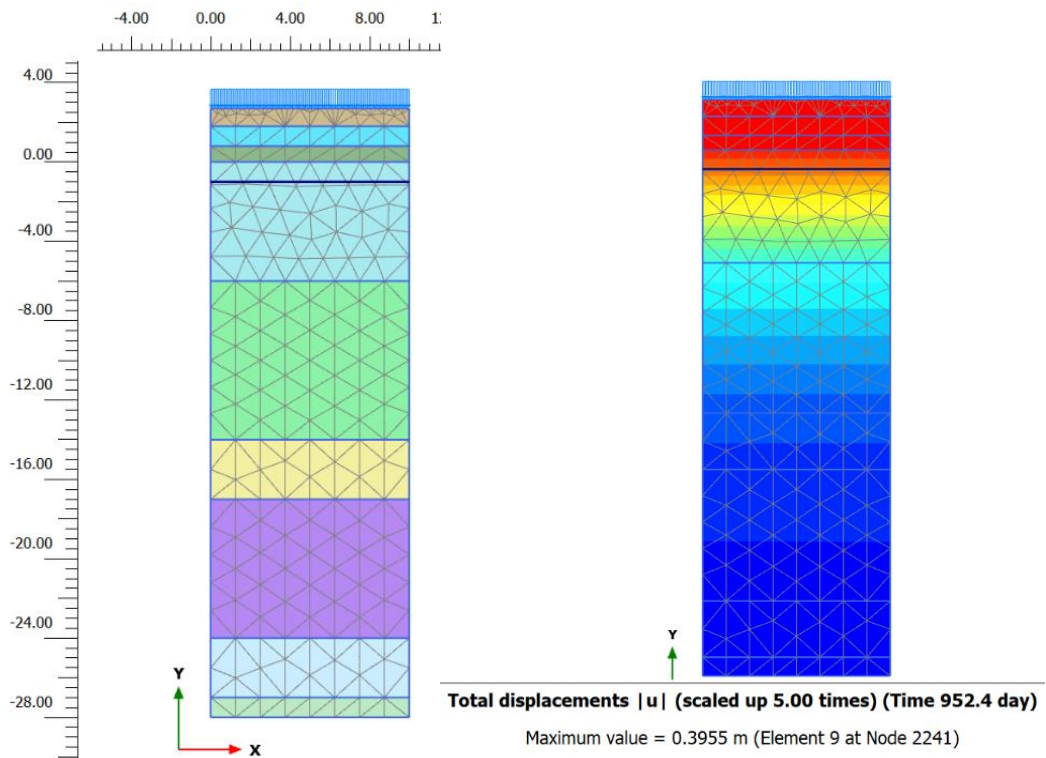
Penurunan Tanah akibat Konsolidasi

Dengan mengasumsikan tanah pembebanan tanah dan perkerasan seperti pada **Gambar 7**, maka beban timbunan dan perkerasan bisa dihitung sebagai berikut:

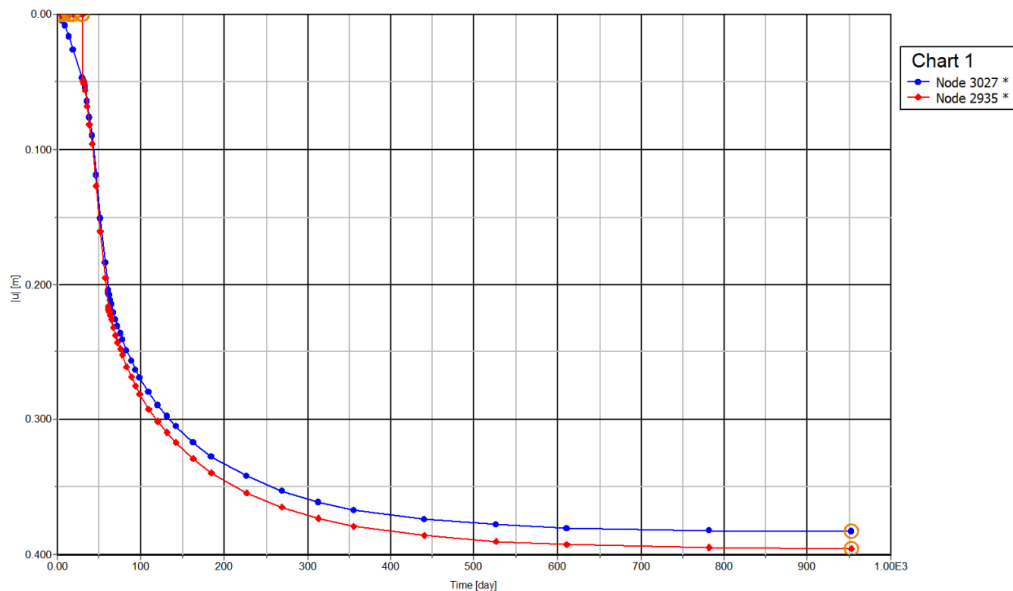
1. Beban perkerasan : 0.9m x 24 kN/m³ = 21.6 kPa
2. Beban pasir CBR >6% : 1m x 18 kN/m³ = 18.0 kPa
3. Beban backfill : 0.8m x 17 kN/m³ = 13.6 kPa
4. Total beban mati → = **53.2 kPa**

Selanjutnya beban pesawat diasumsikan sebagai beban merata sebesar 15 kPa, sehingga seluruh beban yang bekerja menjadi 68.2 kPa.

Dari pembebanan tersebut kemudian dilakukan perhitungan analisis konsolidasi, dan hasilnya didapatkan bahwa penurunan yang akan terjadi sebesar 0.4m seperti terlihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 8 Mesh 2D dan Penurunan konsolidasi



Gambar 9 Grafik Penurunan Tanah vs Waktu

Dengan demikian penurunan yang cukup besar sudah melampaui batas ijin penurunan sebesar 100mm, sehingga di lokasi perpanjangan runway ini perlu untuk dilakukan perbaikan

tanah supaya tanah bisa memiliki daya dukung yang memadai dan penurunan yang dihasilkan harus masih berada dibawah 100mm dalam waktu 10 tahun.

Usulan Perbaikan Tanah

Teknik-Teknik Perbaikan tanah yang bisa digunakan Terdapat berbagai macam perbaikan tanah yang bisa diusulkan dalam penanganan tanah lunak pada project bandara. Beberapa metode yang umum digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Metode percepatan konsolidasi

Metode ini umum dilakukan dengan menggunakan *PVD dan surcharge preloading*. PVD merupakan singkatan dari prefabricated drain, yang fungsinya untuk mempercepat proses keluarnya air pori eksese pada saat pembebanan dengan surcharge dikenakan. Surcharge itu sendiri perlu di pasang dengan beban lebih besar dari beban rencana supaya tanah bisa mengalami pra-penurunan akibat beban tersebut. Harapannya setelah beban surcharge dipindahkan, saat operasional tidak akan ada penurunan lagi yang terjadi.

2. Reinforcement

Terdapat bermacam-macam metode perkuatan atau reinforcement seperti aplikasi *Rigid Inclusion* maupun penggunaan *pondasi dalam*. Tujuannya adalah untuk mentransfer beban struktur diatasnya kelapisan tanah dalam melalui tahanan friksi maupun tahanan ujung pondasi.

3. Reinforcement dan konsolidasi

Metode ini bisa dilakukan dengan aplikasi stone column yang terbuat dari aggregate batuan semi-rigid. Kolom-kolom batu/ stone column ini terbentuk dari batuan lepas yang dimasukkan ke dalam tanah lunak, Dimana kolom ini mampu memberikan tahanan vertical sesuai dengan modulus elastisitas stone column tersebut. Disamping itu, penurunan tanah pra konstruksi bisa saja terjadi dikarenakan kolom batu tersebut sangat permeable sehingga air pori eksese bisa keluar diiringi dengan penurunan tanah.

Melihat kondisi tanah dan dan permasalahan geoteknik yang dihadapi, disusun 3 opsi perbaikan tanah sebagai berikut

1. Opsi 1 – PVD preloading
2. Opsi 2 – Rigid Inclusion
3. Opsi 3 – Stone Column

Dari beberapa metode diatas perlu untuk dilakukan kajian lebih lanjut terkait kelebihan dan kekurangan serta ketepatan-gunaan metode sesuai dengan desain kriteria dan waktu pelaksanaan kerja.

Matrix perbandingan Teknik perbaikan tanah

PVD Preloading

Penggunaan PVD sudah menjadi hal yang umum digunakan di Indonesia, mengingat banyaknya ketersediaan peralatan untuk instalasi PVD ini. Teknik ini digunakan dengan tujuan untuk mempercepat proses konsolidasi tanah sehingga pada saat operasional diharapkan tidak ada lagi penurunan tanah

Keunggulan PVD:

1. Instalasi dan handling PVD cukup cepat
2. Biaya material PVD dan instalasi cukup murah
3. Instalasi PVD tidak menyebabkan getaran dan kebisingan

Kelemahan PVD:

1. Membutuhkan preloading/ pembebanan menggunakan tanah borrow
2. Membutuhkan waktu tunggu konsolidasi antara 6-9 bulan
3. Biaya handling tanah (timbun dan buang) serta waktu borrow membutuhkan biaya yang cukup besar
4. Menyebabkan polusi debu dan pada bandara aktif tidak cocok digunakan. Hanya bisa digunakan pada konstruksi bandara baru

Tiang Pancang/ RC Pile

Penggunaan tiang pancang juga umum digunakan di dunia konstruksi dan cukup banyak ditemui terutama pada konstruksi bangunan Gedung sebagai pondasi. Untuk perbaikan tanah Teknik ini bisa digunakan dengan menginstall tiang pancang dengan grid spasi segitiga atau segiempat dengan jarak spasi antara 1.5m hingga 3m c/c, hingga mencapai kedalaman refusal.

Teknik ini bisa dikombinasikan dengan penggunaan pile cap individual atau menerus menggunakan konsep cerucuk matras beton, atau bisa juga dengan menggunakan LTP (Load Transfer Platform) dengan menggunakan media pasir setebal 60cm hingga 1.5m.

Keunggulan Tiang pancang:

1. Instalasi dan handling Tiang Pancang 200~250 m' per alat per hari
2. Mampu menembus tanah lunak hingga kedalaman >30m
3. Bisa langsung digunakan tanpa membutuhkan waktu tunggu

Kelemahan Tiang pancang:

1. Mengakibatkan getaran akibat proses pemancangan
2. Membutuhkan handling/ pemotongan tiang di permukaan
3. Biaya pancang relative mahal

Rigid Inclusion

Teknik ini merupakan jenis perbaikan tanah dengan meng install kolom mortar/ beton Rigid ke dalam tanah. Proses instalasi dilakukan dengan auger khusus yang mampu mendesak tanah ke samping, dan dilakukan tanpa buangan tanah.

Penggunaan Rigid inclusion sudah cukup banyak di Indonesia terutama pada banyak project bandara, baik bandara aktif maupun bandara baru. Teknik ini memiliki kelebihan akan kecepatan produksi dan kemudahan instalasi, sehingga sangat cocok digunakan pada Pembangunan infrastruktur seperti Bandar udara, Jalan Tol, circuit, dan rel kereta api.

Keunggulan Rigid Inclusion:

1. Instalasi cukup cepat hingga 1000m per alat per hari
2. Tidak menyebabkan kebisingan dan getaran
3. Tidak melibatkan buangan tanah
4. Area kerja bersih dan tidak terjadi kebecakan
5. Instalasi mudah

Kelemahan Rigid inclusion:

1. Membutuhkan supply dari batching plant lokasi untuk men suplai material mortar/ beton
2. Menggunakan Beton/ mortar dengan Slump cukup tinggi
3. Membutuhkan lapisan pasir sebagai load transfer platform

Stone Column

Teknik ini merupakan jenis perbaikan tanah dengan meng install batu split ke dalam tanah untuk menghasilkan sebuah kolom batu/ Stone Column dengan diameter 600cm hingga 1200mm.

Penggunaan Stone Column sudah cukup banyak di gunakan di Indonesia terutama pada Pembangunan yang memiliki ketersediaan batu cukup banyak.

Keunggulan Stone Column :

1. Instalasi 160 – 250 m per alat per hari
2. Bisa dilakukan hingga kedalaman 35m
3. Tidak melibatkan buangan tanah
4. Menggunakan supply material batu dari alam sekitar

Kelemahan SC:

1. Pekerjaan SC mengakibatkan getaran yang cukup besar
2. Pada instalasi dengan wet method, mengakibatkan kebecekan saat kontruksi

Beberapa metode ini perlu dianalisis terkait kapabilitas Teknik tersebut dalam menangani permasalahan yang dihadapi, termasuk juga dengan aspek konstruksi, kemudahan mendapatkan material dan biaya. Summary dari masing-masing perbaikan sekaligus ketepatan-gunaan pada project ini bisa dilihat pada **Tabel** dan

Tabel .

Dari hasil skoring tersebut diketahui bahwa Teknik perbaikan tanah yang ideal dan mampu memperbaiki tanah lunak sedalam >30m adalah dengan menggunakan Teknik Rigid Inclusion, Metode Pancang, atau PVD Preloading. Adapun metode yang lain, kurang di rekomendasikan.

Sehingga, pada Pembangunan bandara ini. diusulkan penggunaan metode RIGID INCLUSION pada perbaikan tanah area Runway, Taxiway dan Apron, guna mempercepat proses konstruksi, dan pada area sideway, kamu usulkan penggunaan PVD preloading. Perlu dicatat bahwa pemilihan metode ini juga mempertimbangkan kelaziman penggunaan metode rigid inclusion yang sudah sangat banyak diaplikasikan pada proyek pengembangan bandara eksisting dan bandara baru dan tentunya sudah tepat guna.

Tabel 3 Perbandingan Metode Perbaikan Tanah

Deskripsi	PVD Preloading	Mini Pile / Pancang	Rigid Inclusion (RI)	Stone Column (SC)
Jenis tanah yang bisa diperbaiki	Tanah Lempung Lunak SPT N < 12	Clay – Sand SPT N<25	Clay – Sand SPT N<25	Clay – Sand SPT N<18
Teknis	Percepatan penurunan/ konsolidasi tanah	Perkuatan dengan tiang	Perkuatan dengan tiang	Perkuatan dengan kolom batu/ gravel
Material	PVD dan Tanah Timbunan	RC Pile	Mortar Fc 15- 25MPa	Batu split 30mm – 50mm
Kecepatan Produksi	Sangat Lambat. (memerlukan proses preloading/ pembebanan > 6 bulan, diluar instalasi PVD)	Sedang. Produktivitas: 200-250 lm per shift per rig	Tinggi. Produktivitas: 1000 lm per rig per shift	Lambat ke Sedang. Produktivitas: 160 – 200 lm per rig

Harga	Harga PVD relative Murah, namun memerlukan material surcharge yang cukup mahal	Mahal	Sedang	Sedang
Impact terhadap lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> • PVD mengakibatkan penurunan berlebih pada tanah yang akan berdampak pada bangunan sensitive sekitarnya • Menyebabkan pergerakan lateral tanah • Sangat cocok untuk project baru • Tidak cocok untuk dibangun di tanah abutment yang sensitive 	<ul style="list-style-type: none"> • Pancang mengakibatkan getaran yang berdampak pada bangunan sensitive sekitarnya • Metode Pancang mengakibatkan kebisingan yang mengganggu kenyamanan kondisi bandar udara. • Memerlukan pile head treatment dan pemotongan tiang 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation dengan displacement auger • Installation kolom RI tidak mengakibatkan getaran/ vibrasi • Tidak ada buangan tanah • Noise-free • Tidak mengakibatkan dampak pada bangunan sensitive • Sering digunakan di project bandara di Indonesia 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses instalasi mengakibatkan getaran dan kebisingan • Area kerja menjadi becek dengan proses wet method. • Tidak cocok untuk pengembangan bandara eksisting

Tabel 4 Scoring Teknik Perbaikan Tanah

Deskripsi	PVD Preloading	Mini Pile / Pancang	Rigid Inclusion (RI)	Stone Column (SC)
Mampu memperbaiki tanah Lunak	5	5	5	5
Produktivitas Tinggi	1	3	5	2
Kemudahan mendapatkan Material	4	3	4	3
Tidak Menimbulkan kebecakan/ polisi tanah	1	5	5	2
Dampak Kebisingan	5	1	5	2
Harga	4	1	2	2
Bisa bekerja beriringan dengan team perkerasan runway/ apron	1	5	5	3
Kemudahan mendapatkan Vendor local di Indonesia (non-perusahaan asing)	5	5	4	3
TOTAL	26	28	35	22

Catatan:

1. Skor dalam rentang 1 hingga 5
2. Skor 1 berarti tidak bisa memenuhi persyaratan dalam deskripsi
3. Skor 5 berarti paling baik dalam memenuhi persyaratan dalam deskripsi

KESIMPULAN

Beberapa metode ini perlu dianalisis terkait kapabilitas teknik tersebut dalam menangani permasalahan yang dihadapi, termasuk juga dengan aspek konstruksi, kemudahan mendapatkan material dan biaya. Summary dari masing-masing perbaikan sekaligus ketepatan pada project ini bisa dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dari hasil skoring tersebut diketahui bahwa Teknik perbaikan tanah yang ideal dan mampu memperbaiki tanah lunak sedalam >30m adalah dengan menggunakan Teknik Rigid Inclusion, Metode Pancang, atau PVD Preloading. Adapun metode yang lain, kurang di rekomendasikan. Sehingga, pada Pembangunan bandara ini, diusulkan penggunaan metode RIGID INCLUSION pada perbaikan tanah area Runway, Taxiway dan Apron, guna mempercepat proses konstruksi, dan pada area sideway, kami usulkan penggunaan PVD preloading. Perlu dicatat bahwa pemilihan metode ini juga mempertimbangkan kelaziman penggunaan metode rigid inclusion yang sudah sangat banyak diaplikasikan pada proyek pengembangan bandara eksisting dan bandara baru dan tentunya sudah tepat guna.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbey S. Ngambi S. (2015). Understanding the Performance of Deep Mixed Column Improved Soils A Review. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. United Kingdom.
- Aditya E. Supriadi. Nurani H. (2020). Perencanaan Perkerasan Pada Perluasan Apron Di Bandara Internasional Sam Ratulangi Manado. *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya*, Vol 5, No 2, 19-28.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta.
- Bowles J.E. (1993). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah Edisi Kedua*. Erlangga, Jakarta.
- Collin, J.G. (2004). Column Supported Embankment Design Considerations. *Proceedings 52nd Annual Geotechnical Conference, Minneapolis, USA*.
- Collin, J.G., Han, J., Huang, J., 2005, Geosynthetic-Reinforced Column-Support Embankment Design Guidelines, Geosynthetics Society. *Geosynthetics Institute Conference, Las Vegas, Nevada, USA*.
- Hardiyatmo H.C. (2011). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Kementerian Perhubungan. (2021). *Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP14 Tahun 2021 Tentang Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara*. Jakarta.
- Kholis A.A. Ahmad M.R. Reardi H. (2019). Studi Kasus Kolom Grout Modular (KGM) terhadap Penurunan dan Stabilitas Timbunan Oprit Jembatan di Atas Tanah Lunak pada Jalan Tol Pemalang Batang, Jakarta. *Annual National Conference on Geotechnical Engineering*.
- Prasetia. I. D. (2018). Studi Perencanaan Pondasi Tiang Pancang (Spun Pile) Pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan-Jawa Timur. *Jurnal Eprint*. 5-46.
- Yulianto. Faisal E. (2019). Solusi Dan Permasalahannya Dalam Pembangunan Infrastruktur Yang Berwawasan Lingkungan. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53(9). pp. 1689-1699.