



ANALISIS PERBAIKAN TANAH PADA PERLUASAN APRON BANDARA A.P.T PRANOTO SAMARINDA DENGAN METODE KOLOM GROUT MODULAR

Oleh

A. Mahrus Efendi¹, Tukimun², Wahyu Mahendra³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945

Samarinda

Email: 1sarambai79@gmail.com

Abstract

This research aims to analyze the development needs of A.P.T Pranoto Samarinda Airport in accommodating the growth of air traffic, with a focus on apron expansion to increase aircraft parking capacity. This study also examines the use of pile foundations to improve the bearing capacity of the subgrade at the planned apron expansion site, considering the airport's location in a swampy and water catchment area. This research uses secondary and primary data analysis, including aircraft movement data, soil characteristics, and applicable regulations in the field of aviation. By using a modular grout column type foundation at the planned location for widening the apron at A.P.T Pranoto Samarinda Airport, a rigidclusion foundation diameter of 0.32 meters and 0.42 meters can be used with a planned depth of 12 to 18 meters. The results of this study are expected to provide appropriate recommendations for the development of A.P.T Pranoto Samarinda Airport, to improve service capabilities and operational safety.

Keywords: *Airport Development, Apron Expansion, Modular grout foundation*

PENDAHULUAN

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.

Lokasi Bandar Udara A.P.T Pranoto yang terletak di daerah Sungai Siring, dimana daerah tersebut dulunya merupakan area rawa-rawa dan daerah resapan air, akan menjadi masalah apabila tidak dilakukan perbaikan tanah di lokasi rencana pelebaran apron. Sehubungan dengan hal tersebut perlu dilakukan studi terkait penggunaan jenis fondasi tiang untuk

memperbaiki daya dukung tanah dasar di lokasi rencana pelebaran apron. Dengan adanya pelebaran apron, diharapkan dapat meningkatkan kemampuan pelayanan Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda guna menampung kebutuhan jasa bandar udara yang ideal dan mampu didarati oleh pesawat dengan sarana dan prasarana sesuai dengan ketentuan yang berlaku..

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan. Adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana perilaku daya dukung tanah di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda ?
2. Bagaimana aspek keandalan penggunaan fondasi tipe kolom grout modular di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda ?

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Analisa perbaikan tanah pada lokasi pelebaran apron, menggunakan metode tipe kolom grout modular (rigid inclusion), Parameter desain didasarkan pada ketentuan dalam SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, Parameter dan kriteria desain geoteknik untuk apron didasarkan pada Keputusan Dirjen Perhubungan Udara Nomor KP14 Tahun 2021 tentang Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

Mengetahui perilaku daya dukung tanah di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda, Mengetahui aspek keandalan penggunaan fondasi tiang tipe kolom grout modular di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda.

Manfaat dari penelitian ini adalah mendapatkan perilaku daya dukung tanah di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda dan perbandingan keandalan fondasi tiang dari aspek struktural bangunan bawah yang paling sesuai berdasarkan data tanah dari aspek daya dukung di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda.

LANDASAN TEORI

Studi Terdahulu

Menurut hasil penelitian dari Imanudin dan Hamdan (2021) dengan topik analisis perbaikan tanah lunak menggunakan Metode Kolom Grout Modular Pada area pick up zone di Bandar Udara Internasional Jenderal Ahmad Yani Semarang, mereka menemuka bahwa kondisi tanah hampir di seluruh area khususnya tanah timbunan, masih belum mengalami settlement sehingga berdampak pada penurunan tanah yang masih berlangsung pada saat terminal baru dan seluruh fasilitasnya dioperasikan. Penurunan paling signifikan ditemukan pada Jalan Akses Pick Up Zone yang secara visual bisa dilihat dengan jelas. Dalam penelitian mereka dilakukan pemodelan tanah menggunakan KGM pada kondisi tanah

eksisting dengan memvariasikan diameter, ketebalan LTP, spasi, kedalaman serta pola pemasangan untuk mencari nilai reduksi penurunan yang paling efektif. Analisis dan pembahasan dilakukan pada setiap variasi untuk mendapatkan kolom yang efektif dalam mereduksi penurunan kemudian tahap terakhir yaitu menarik kesimpulan dari setiap hasil variasi yang dilakukan dan mendapatkan hasil akhir terpilihnya diameter, kedalaman, spasi serta pola pemasangan yang mereduksi secara efektif.

1.1. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan beban struktur secara aman tanpa mengalami keruntuhan geser maupun penurunan yang berlebihan (Najjoan, 2002). Meskipun suatu tanah memiliki daya dukung yang aman terhadap keruntuhan, analisis penurunan tetap diperlukan karena sebagian besar bangunan sensitif terhadap deformasi vertikal.

Nilai daya dukung tanah umumnya ditentukan berdasarkan karakteristik tanah dasar dan mempertimbangkan aspek stabilitas serta batas toleransi penurunan (Prasetya, 2018). Dalam praktiknya, dikenal dua jenis daya dukung: daya dukung ultimit (q_u), yaitu beban maksimum yang dapat ditahan tanah hingga terjadi keruntuhan, dan daya dukung ijin (q_a), yaitu beban maksimum yang diizinkan dengan mempertimbangkan faktor keamanan (Hardiyatmo, 1994). Daya dukung ultimit netto (q_{un}) memperhitungkan intensitas beban bersih yang menyebabkan kegagalan geser pada tanah.

Kapasitas Dukung Tiang

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Jika dalam kapasitas dukung Fondasi dangkal satunya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang pancang satunya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, adalah jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek

tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Pada umumnya, apabila tanah homogen, maka tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.

Kriteria Desain Geoteknik Apron

Menurut Keputusan Dirjen Perhubungan Udara No. KP14 Tahun 2021, batas maksimum penurunan total pada timbunan badan runway, taxiway, apron, dan fasilitas GSE road setelah perkerasan adalah 100 mm, dengan laju penurunan tidak lebih dari 20 mm/tahun. Perbedaan penurunan (differential settlement) dibatasi: maksimum 30 mm pada runway (jarak 45 m), 1% kemiringan pada taxiway (300 mm per 30 m), dan maksimum 0,8% pada apron. Derajat konsolidasi subgrade akibat timbunan harus lebih dari 90%.

Analisis penurunan konsolidasi berdasarkan pembebanan timbunan dan perkerasan menunjukkan total beban sebesar 68,2 kPa. Hasil simulasi menunjukkan penurunan tanah mencapai 0,4 m (400 mm), melebihi batas yang diizinkan. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan tanah di lokasi perpanjangan runway untuk mengendalikan penurunan dalam batas toleransi selama umur layanan.

Struktur perkerasan bandar udara umumnya terdiri dari empat lapisan utama: (1) lapis aus atau permukaan berupa beton aspal atau slab beton, (2) lapis fondasi atas (base course) yang dapat distabilisasi atau tidak, (3) lapis fondasi bawah (subbase course) dengan material granular, serta (4) tanah dasar (subgrade) yang dapat berupa tanah asli, timbunan, atau tanah yang dimodifikasi. Ketentuan lapisan disesuaikan dengan nilai CBR dan kriteria teknis lainnya untuk memastikan stabilitas dan kinerja perkerasan secara menyeluruh.

Metode Kolom Grout Modular

Metode kolom grout modular atau rigid inclusion (RI) merupakan teknik perbaikan tanah dengan memasukkan kolom beton ke dalam tanah menggunakan auger khusus tanpa

menghasilkan buangan tanah. Metode ini telah banyak diterapkan pada proyek infrastruktur seperti bandara, jalan tol, dan rel kereta karena proses instalasinya cepat, minim getaran, bebas kebisingan, dan tidak menyebabkan genangan.

Keunggulan utama metode RI meliputi kecepatan instalasi hingga 1000 meter per alat per hari, lingkungan kerja yang bersih, serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap sekitar. Namun demikian, RI memiliki beberapa keterbatasan, antara lain: ketergantungan pada pasokan mortar dari batching plant, kebutuhan mortar dengan slump tinggi, dan keharusan menggunakan load transfer platform (LTP) dari material granular sebagai media distribusi beban.

Secara desain, konsep RI berbeda dari pondasi dalam konvensional. Dalam sistem ini, beban struktur tidak sepenuhnya ditransmisikan ke tiang, tetapi didistribusikan secara parsial antara kolom RI dan tanah sekitarnya melalui mekanisme arching pada LTP. Hal ini memungkinkan pengurangan penurunan total dan diferensial secara signifikan.

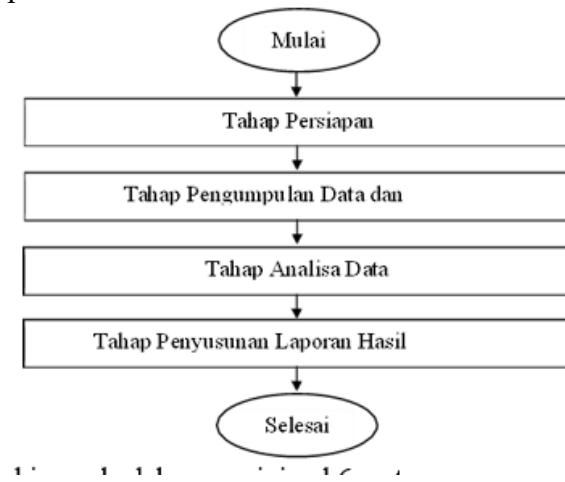
Mekanisme transfer beban berlangsung dalam beberapa tahap: dimulai dari efek arching yang mentransfer beban ke RI dan tanah di antaranya, diikuti pembentukan negative skin friction (NSF) karena deformasi berbeda antara RI dan tanah, hingga terbentuk positive skin friction (PSF) dan tahanan ujung pada kedalaman tertentu. Akhirnya, tercapai keseimbangan distribusi beban, di mana kombinasi tahanan tanah dan tiang menyokong beban struktur atas secara proporsional.

Konsep desain RI mencakup estimasi hubungan antara penurunan dan beban, serta kontribusi dari friksi negatif, friksi positif, dan tahanan ujung. Prinsip ini memastikan sistem bekerja efektif dalam mengurangi penurunan, meningkatkan kapasitas dukung, dan menjaga stabilitas struktur atas, khususnya pada tanah lunak dan berkonsolidasi tinggi.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pikir

Adapun kerangka pikir dalam penelitian ini disusun dalam bentuk skema yang digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti disajikan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian Metode Pengujian Tanah Instrumen Peralatan

Pengambilan data tanah dalam penelitian ini menggunakan tiga metode utama, yaitu Standard Penetration Test (SPT), pengujian laboratorium terhadap sampel UDS, dan pengujian penetrasi tanah menggunakan alat sondir (CPT).

Metode Pengujian Tanah dengan Sondir (CPT)

Pengujian sondir dilakukan untuk memperoleh parameter karakteristik tanah seperti perlawanannya konus (q_c), gesekan selimut (f_s), dan rasio geser (R_f), yang digunakan dalam interpretasi profil tanah untuk desain fondasi.

Peralatan utama terdiri dari: konus baja berdiameter standar (10 cm^2), selimut geser, pipa dorong dan batang dalam baja, serta mesin pembeban hidraulik yang dilengkapi manometer. Proses pengujian dilakukan dengan sistem penekanan konus dan batang dalam secara bergantian pada interval kedalaman 20 cm. Data dicatat setiap penetrasi dan proses dilakukan hingga kedalaman 20–40 m atau sesuai kebutuhan. Kalibrasi alat dilakukan

minimal setiap tiga tahun. Pengujian dilakukan dengan memperhatikan kestabilan rangka pembeban, kecepatan penetrasi (10–20 mm/s), dan prosedur pembacaan data tekanan.

Metode Pengujian Tanah dengan SPT

Standard Penetration Test (SPT) digunakan untuk memperoleh data jumlah pukulan (N) sebagai indikasi kekuatan tanah pada kedalaman tertentu. Peralatan utama terdiri dari mesin bor, split barrel sampler sesuai ASTM D1586, palu seberat 63,5 kg, serta alat ukur dan penunjang lainnya.

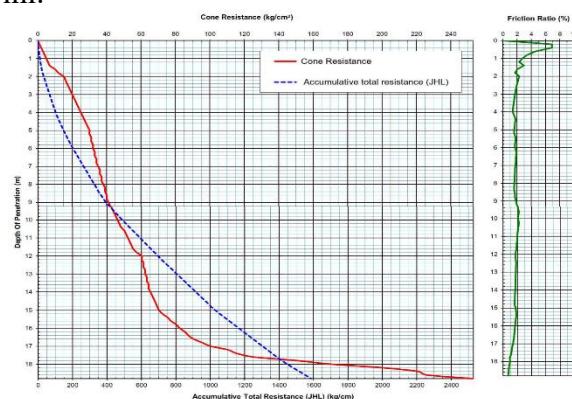
Pengujian dilakukan pada interval setiap 1,5–2 m atau ketika terjadi perubahan lapisan tanah. Jumlah pukulan dihitung untuk penetrasi 30 cm terakhir ($N = N_2 + N_3$), dengan pengeboran dilakukan sampai kedalaman yang direncanakan. Jika nilai pukulan N melebihi 50, pengujian dihentikan dan dianjurkan dilanjutkan hingga kedalaman minimal 6 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Tanah

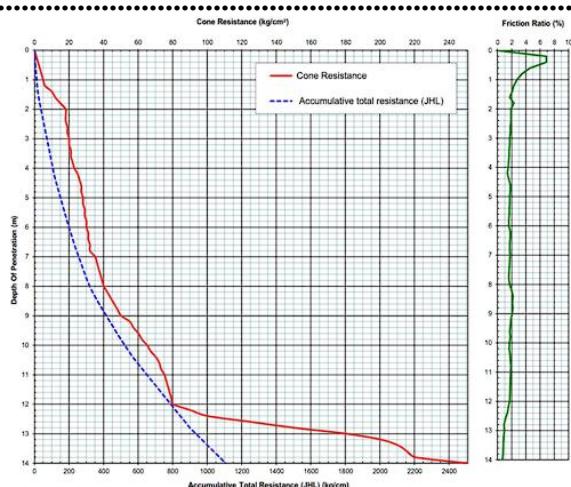
Data Sondir

Dari hasil pengujian tanah di lokasi rencana apron dengan metode sondir didapat data tanah seperti disajikan pada tabel di bawah ini.



Gambar 2 Grafik sondir S01

Dari hasil pengujian dengan sondir pada titik S01, didapat kedalaman uji hingga 18,80 meter dan nilai cone resistance sebesar $252,85 \text{ kg/cm}^2$.



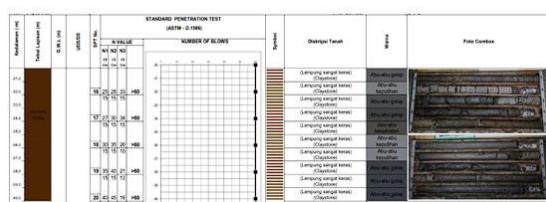
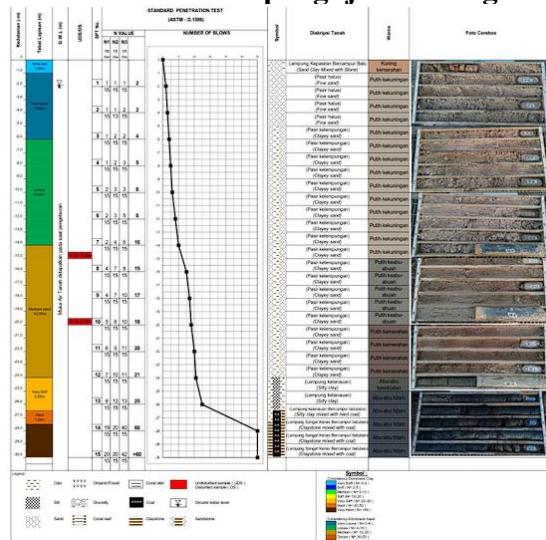
Gambar 3 Grafik sondir S02

Dari hasil pengujian dengan sondir pada titik S02, didapat kedalaman uji hingga 14 meter dan nilai cone resistance sebesar 250,84 kg/cm².

Data Boring

Dari hasil pengujian tanah di lokasi rencana apron dengan metode boring didapat data tanah seperti disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1 Hasil pengujian boring



Data Laboratorium

Dari hasil pengujian sampel tanah di lokasi rencana apron di laboratorium didapat data properti tanah seperti disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Hasil Pengujian Laboratorium

No	KIND OF TEST		BH.01 14.50-15.00mm	BH.01 19.50-20.00mm
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	Specific 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 (kg/cm ²)	0,5441	0,7836
	Undrained Cohesion	c_u (kg/cm ²)	0,2721	0,3918
3	Consolidation			
	Compression Index	(Cc)	0,23230	0,19410
	Coef. Of Consolidation	(Cv) (cm ² /detik)	0,00198	0,00193
	Void Ratio	(e)	0,69720	0,68258
	Permeability	(k) (cm/detik)	2,79E-07	1,91E-07
C. SOIL CLASSIFICATION				
1	USCS		CL	ML

Analisa Daya Dukung

Daya Dukung Tiang Hasil CPT Menurut Bagemann (1956) S01

Menurut Bagemann (1956), kapasitas ujung tiang dapat diambil dari nilai qc rata-rata yang dihitung dari nilai qc yang berada 8.8 di atas kedalaman tiang rencana sampai 4.8 di bawah kedalaman tiang rencana. Sedangkan nilai kapasitas gesek tiang per satuan luas diambil dari nilai hambatan lekat atau qf (Hardiyatmo, 2010).

Tabel 3 Hasil perhitungan kapasitas tiang berdasarkan data CPT S01

Metode Pendekatan	Diameter Rencana (m)	Kedalaman Rencana (m)	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Bagemann	0,20	12	1532,422	153,242	306,484	30,648

Tabel 4.1 Hasil perhitungan kapasitas kelompok tiang berdasarkan data CPT S01

Metode Pendekatan	Jumlah Tiang	Nilai Efisiensi Tiang	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Bagemann	1533,00	0,836	1964883,154	196488,315	392976,631	39297,66

Daya Dukung Tiang Hasil CPT Menurut Bagemann (1956) S02

Menurut Bagemann (1956), kapasitas ujung tiang dapat diambil dari nilai q_c rata-rata yang dihitung dari nilai q_c yang berada 8.d di atas kedalaman tiang rencana sampai 4.d di bawah kedalaman tiang rencana. Sedangkan nilai kapasitas gesek tiang per satuan luas diambil dari nilai hambatan lekat atau q_f (Hardiyatmo, 2010).

Tabel 4. Perhitungan kapasitas tiang berdasarkan data CPT S02

Metode Pendekatan	Diameter Rencana (m)	Kedalaman Rencana (m)	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Bagemann	0,20	12	2357,712	235,771	471,542	47,154

Tabel 5. Perhitungan kapasitas kelompok tiang berdasarkan data CPT S02

Metode Pendekatan	Jumlah Tiang	Nilai Efisiensi Tiang	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Bagemann	1533,00	0,836	3023077,456	302307,746	604615,491	60461,55

Daya Dukung Tiang Hasil SPT Menurut Meyerhof (1976) dan Decourt-Quaresma (1982)

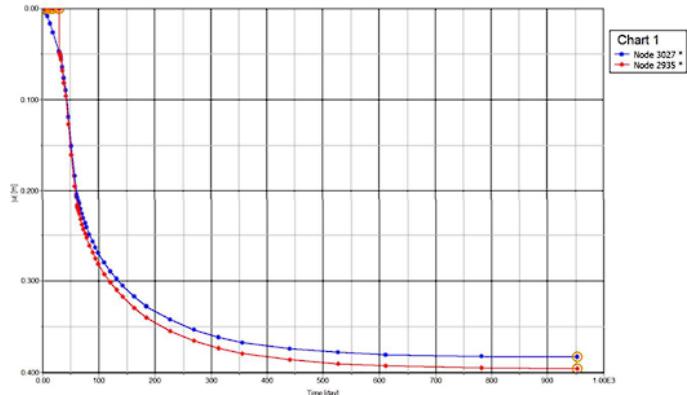
Tabel 6 Perhitungan kapasitas tiang berdasarkan data SPT

Metode Pendekatan	Diameter Rencana (m)	Kedalaman Rencana (m)	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Meyerhof	0,20	18	235	23,533	47,067	4,707
Decourt-Quaresma	0,20	18	380	37,991	75,982	7,598

Tabel 7 Perhitungan kapasitas kelompok tiang berdasarkan data SPT

Metode Pendekatan	Jumlah Tiang	Nilai Efisiensi Tiang	Kapasitas			
			Ultimit Tiang (Q _u)		Ijin Tiang (Q _a)	
			(KN)	(ton)	(KN)	(ton)
Meyerhof	1533	0,836	301746,282	30174,628	60349,256	6034,926
Decourt-Quaresma	1533	0,836	487122,786	48712,279	97424,557	9742,446

Perbaikan Dengan Metode Kolom Grout Modular Analisis Pernurunan Tanah



Gambar 4. 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.

Parameter Desain

Dari data tanah interim yang ada, kemudian disusun parameter desain awal untuk kebutuhan design geoteknik seperti disusun pada berikut ini.

Tabel 8 Parameter desain

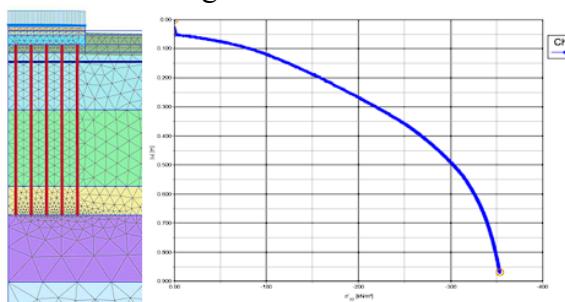
Soil / Material	Elevation (m)	SPT- N	Modulus (MPa)			Poison ratio, ν	e' (kPa)	Phi'	k (m/s)
			E	Eoed	EUR				
Fine Sand	0 to -6	3	3	2.4	12	17	0.3	1	25
Clayey Sand	-6 to -14	6	6	4.8	24	17	0.3	1	26
Lower Clayey Sand	-14 to -17	15	15	12	60	18	0.3	2	27
Med Dense Sand	-17 to -24	18	18	14.4	72	18	0.3	3	28
V Stiff Clay	-24 to -27	23	20	16	80	19	0.3	10	30
Hard Clay	> -27	60	30	40	200	20	0.3	15	35
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
Backfill soil	0 to 1	-	18	14.4	54	17	0.3	5	28
Rigid Inclusion	-	-	5000			24	0.25		

Desain Rigid Inclusion

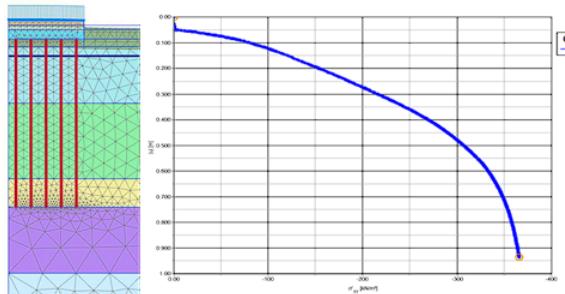
Desain dan analisis rigid inclusion untuk perbaikan sub-tanah dilakukan dengan menggunakan bantuan program elemen hingga,

PLAXIS 2D CE V22. Analisis dilakukan dengan analisis aksisimetri agar lebih konservatif dalam mendapatkan deformasi dan tegangan tanah; karena bebannya seragam.

Adapun hasil analisis untuk kedua opsi tersebut bisa dilihat sebagai berikut:



Gambar 5 Kapasitas dukung system rigid inclusion opsi 1



Gambar 6 Kapasitas dukung system rigid inclusion opsi 2

Desain konfigurasi rigid inclusion (RI) seperti RI grid dan spasi dirancang untuk mendapatkan desain rigid inclusion yang optimal. di bawah ini menunjukkan hasil rancangan rigid inclusion dengan diameter 0,42 meter.

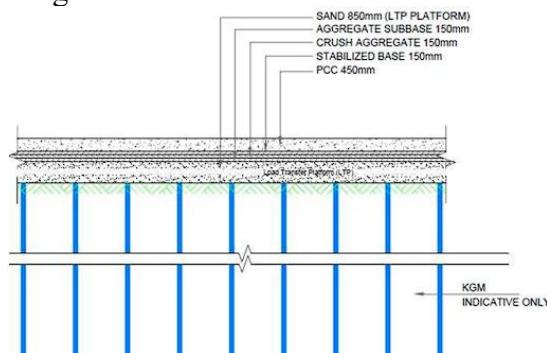
Tabel 9 Desain rigid inclusion

RI Length (m)	RI Spacing (m, c/c)	Design Load (kN)	Settlement (mm)			Column stress (kPa)	Design	Remarks
			End Consolidation (mm)	End Construction (mm)	Dia (m)			
18	2.2	68.2	153	26.77		126.23	2,561	NOT OK
18	2	68.2	121.9	22.62		99.28	2,200	NOT OK
18	1.8	68.2	105.8	19.23	0.42	86.57	1,858	OK
18	1.6	68.2	93.65	17.38		76.27	1,579	OK
18	1.4	68.2	82.66	13.99		68.67	1,277	OK
18	1.8	68.2	126.9	22.02		104.88	2,918	NOT OK
18	1.6	68.2	110.3	18.74	0.32	91.56	2,402	OK
18	1.4	68.2	96.58	16.05		80.53	1,931	OK

Tabel 4.14 Quantity rigid inclusion opsi 1

Tabel 4.15 Quantity rigid inclusion opsi 2

Dengan menggunakan rigid inclusion didapat desain perbaikan sebagai berikut :



Gambar 7 Tipikal potongan rigid inclusion Metode Perbaikan

Metode Rigid Inclusion (RI) merupakan teknik perbaikan tanah yang membentuk inklusi kaku dari beton menggunakan auger berlubang tanpa mengeluarkan tanah. Auger yang digunakan berdiameter 320–600 mm dan bekerja dengan memampatkan tanah secara lateral, bukan mengangkatnya ke permukaan, sehingga meningkatkan kepadatan dan daya dukung tanah sekitar.

Proses instalasi dimulai dengan penetrasi auger ke dalam tanah hingga kedalaman rencana, kemudian grout semen dipompa melalui bagian tengah auger pada tekanan rendah, untuk menghindari runtuhan akibat tekanan tanah. Komponen auger terdiri dari tiga bagian utama: bagian bawah berfungsi mendorong tanah ke atas, bagian tengah memampatkan tanah secara lateral, dan bagian atas mencegah tanah naik ke permukaan. Rotasi auger dipertahankan saat penarikan untuk menjaga kontinuitas kolom.

Grout yang digunakan memiliki kuat tekan normal 10–25 MPa. Untuk beban lebih tinggi, dapat digunakan campuran pasta beton (kerikil, semen, abu terbang). Selama instalasi, parameter seperti kecepatan rotasi, torsi, tekanan dan volume grout dicatat menggunakan sistem komputer.

Lapisan Load Transfer Platform (LTP) di atas kolom RI harus terbuat dari pasir tanpa bahan organik, dengan kadar partikel halus

maksimum 15%. Pemadatan dilakukan tiap 30 cm menggunakan vibro-roller, hingga mencapai 95% dari kepadatan standard Proctor. Grout diuji sebelum digunakan, termasuk uji slump (target 23 ± 2 cm) atau flow table ($62,5 \pm 2,5$ cm). Setiap $4.000\text{--}5.000\text{ m}^3$ material grout diuji kuat tekannya pada umur 7 dan 28 hari. Setelah pemasangan RI, dilakukan uji beban vertikal (Plate Load Test/PLT) pada minimal satu kolom per area. Beban uji maksimum sebesar 150% dari beban desain sebagai bagian dari verifikasi mutu dan kontrol kualitas sesuai standar ASIRI.

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Perilaku daya dukung tanah di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda memerlukan penanganan perbaikan pada tanah untuk menambah daya dukung.
2. Dengan menggunakan fondasi tipe kolom grout modular di lokasi rencana pelebaran apron Bandar Udara A.P.T Pranoto Samarinda maka dapat menggunakan diameter fondasi rigid inclusion 0,32 meter dan 0,42 meter dengan kedalaman rencana 12 sampai 18 meter.

Saran

Dari hasil analisa dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk metode perbaikan dapat dicoba dengan menggunakan PVD dan surcharge preloading.
2. Untuk metode perbaikan dapat dicoba dengan menggunakan aplikasi stone column yang terbuat dari aggregate batuan semi-rigid.
3. Dua metode diatas bisa dilakukan apabila bahan tersedia dan melihat situasi di lapangan yang mana merupakan bandara yang beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Badan Standarisasi Nasional, 2017, SNI 8460:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik, Jakarta.
- [3] Bowles J.E, 1993, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- [4] 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.
- [5] [6] Hardiyatmo H.C, 2011, Mekanika Tanah I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [7] Kementerian Perhubungan, 2021, Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor KP14 Tahun 2021 Tentang Spesifikasi Teknis Pekerjaan Fasilitas Sisi Udara Bandar Udara, Jakarta.
- [8] Kholis A.A, Ahmad M.R, Rekardi 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.
- [9] Prasetya, I. D, 2018, Studi Perencanaan Fondasi Tiang Pancang (Spun Pile) Pada Gedung Kantor Pemerintah Kabupaten Lamongan-Jawa Timur, Jurnal Eprint, 5–46.
- [10] Yulianto, Faisal E, 2019, Solusi Dan



Permasalahannya Dalam Pembangunan
Infrastruktur Yang Berwawasan
Lingkungan, Journal of Chemical
Information and Modeling, 53(9), pp.
1689–1699.

HALAMANINI SENGAJA DIKOSONGKAN