



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Geoteknik Runway Bandara Sultan Syarif Kasim II International Airport STA 2+300 hingga STA 2+600

Muhardi ^a, Harnedi Maizir ^b

^a Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Kampus Binawidya, Jl. HR. Soebrantas, Pekanbaru 28292, Indonesia

^b Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No. 4, Pekanbaru, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 08 November 2023

Revisi Akhir: 25 Desember 2023

Diterbitkan Online: 29 Desember 2023

KATA KUNCI

Geoteknik

Runway

Konsolidasi

Daya dukung

CPTu

KORESPONDENSI

Telepon: "+628127555231"

E-mail: muhardi@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Bandara Runway Bandara Sultan Syarif Kasim (SSK) II mengalami kenaikan jumlah penumpang dan barang serta pergerakan lalu lintas pesawat, pada tahun 2018 pertumbuhan penumpang datang dan berangkat meningkat sebesar 13,92%, lalu lintas pesawat meningkat sekitar 23,27% dan barang meningkat sekitar 64,17%. Proyeksi untuk tahun 2025 memperkirakan peningkatan penggunaan runway menjadi 69.369 pesawat. Pada November 2018, terjadi kerusakan pada aspal runway di segmen STA 2+240 hingga STA 2+600 yang menimbulkan keprihatinan terkait operasional dan keselamatan penerbangan di Bandara SSK II. Studi penyelidikan dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan mencari langkah perbaikan yang tepat. Metodologi investigasi tanah yang digunakan meliputi pengujian lapangan (boring tanah, SPT, dan CPTu, analisis data boring, dan uji laboratorium mekanika tanah serta analisa geoteknik. Penyelidikan geotek berfokus pada runway STA 2+300 hingga STA 2+600 Bandara Sultan Syarif Kasim II di Pekanbaru, Provinsi Riau. Hasil dari Pengujian CPTu menunjukkan kapasitas dukung tanah lebih rendah dibandingkan dengan Pengujian Laboratorium. Perhitungan konsolidasi tanah menggunakan data CPTu menghasilkan nilai yang lebih tinggi daripada data dari Pengujian Laboratorium. Metode Schmertmann memberikan nilai konsolidasi tanah yang lebih rendah dibandingkan metode Muni Budhu. Time rate konsolidasi memenuhi kriteria untuk sebagian besar lokasi, kecuali STA 2+500 yang tidak memenuhi syarat. Derajat konsolidasi masih di bawah 90%, menunjukkan penurunan tanah yang lama dengan estimasi penurunan yang signifikan (>2.5 cm). Oleh karena itu, diperlukan perbaikan pada STA 2+380 hingga STA 2+600.

1. PENDAHULUAN

Bandara Sultan Syarif Kasim (SSK) II merupakan bandara internasional dengan tingkat arus pergerakan lalu lintas yang cukup padat. Bandara SSK II mengalami kenaikan jumlah penumpang dan barang serta pergerakan lalu lintas pesawat, pada tahun 2018 pertumbuhan penumpang datang dan berangkat meningkat sebesar 13,92%, lalu lintas pesawat meningkat sekitar 23,27% dan

barang meningkat sekitar 64,17% [1]. Pengelola bandara telah merencanakan dan melaksanakan berbagai proyek pembangunan dan pengembangan fasilitas bandara. dalam rangka mendukung pertumbuhan dan perkembangan transportasi udara di Provinsi Riau. Untuk menjalankan fungsinya secara efisien dan aman, bandara memerlukan perencanaan yang matang, terutama infastruktur landasan pacu (*runway*).

Landasan pacu di Bandar Udara Sultan Syarif Kasim II telah digunakan oleh sebanyak 45.420 pesawat. Proyeksi yang telah dilakukan untuk tahun 2025 memperkirakan bahwa jumlah pesawat yang akan menggunakan landasan pacu ini akan meningkat menjadi 69.369. Salah satu aspek kunci yang mempengaruhi efisiensi dan ke amanan infrastruktur bandara adalah kondisi geoteknik dari landasan pacu (*runway*) bandara. *Runway* yang stabil dan aman adalah prasyarat untuk pendaratan dan lepas landas pesawat dengan aman. Berdasarkan Keputusan Menteri Perhubungan (Kepmenhub) Nomor 69 tahun 2013 [2], diperlukan analisis pertumbuhan jumlah pesawat selama periode jam sibuk penerbangan untuk mencegah potensi terjadinya overkapasitas pesawat pada masa depan. Selain itu, setiap pihak yang mengelola bandara diwajibkan untuk melakukan evaluasi terhadap fasilitas yang dimiliki setiap lima tahun.

Pengujian geoteknik pada *runway* bandara adalah langkah penting dalam menilai keamanan struktural *runway*. Investigasi ini dilakukan untuk memahami permasalahan tanah yang terkait dengan *runway* bandara, serta bagaimana permasalahan tanah yang terkait dengan *runway*. Serta bagaimana pengujian geoteknik dapat membantu dalam mengidentifikasi, menganalisis dan memberikan solusi permasalahan ini. Permasalahan tanah melibatkan sejumlah faktor yang dapat berpotensi merusak atau mengganggu operasional bandara, seperti kelongsoran tanah, perubahan tingkat muka air tanah, komposisi tanah yang tidak memadai, serta kerusakan akibat beban berulang dari pesawat yang lepas landas dan mendarat.

Bandara SSK II mengerjakan proyek perpanjangan *runway* yang berlangsung dari November 2013 hingga Desember 2015. Proyek ini awalnya diharapkan akan memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan kapasitas dan efisiensi operasional bandara. Namun, setelah mulai digunakan pada November 2018, terjadi permasalahan yang signifikan terkait dengan kerusakan berkelanjutan pada lapisan permukaan aspal *runway* baru, terutama pada segmen STA 2+240 hingga STA 2+600. Kerusakan ini telah memicu keprihatinan serius dari berbagai pemangku kepentingan terkait dengan operasional dan keselamatan penerbangan di Bandara SSK II. Oleh karena itu, perlu dilakukan serangkaian studi penyelidikan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan ini dan merumuskan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Konsolidasi Tanah

Konsolidasi tanah merupakan proses pemampatan tanah dan berkurangnya volume pori akibat beban yang di terapkan. hal ini menghasilkan bertambahnya daya dukung

tanah, perubahan, permukaan tanah atau perubahan karakteristik fisik dan mekanik tanah. Menurut [3] konsolidasi terbagi menjadi 2, yaitu:

1. *Immediate settlement* (penurunan segera)

Immediate settlement terjadi akibat deformasi elastis tanah tanpa adanya perubahan kadar air. Penurunan segera ini merupakan hasil dari respons elastis tanah terhadap beban yang diterapkan. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada prinsip teori elastisitas, di mana tanah dianggap berperilaku elastis dan tidak mengalami perubahan volume yang signifikan. Penurunan segera biasanya terjadi dalam waktu yang relatif singkat setelah beban diterapkan.

2. *Consolidation Settlement* (Penurunan Konsolidasi)

Consolidation settlement terjadi sebagai hasil dari perubahan volume tanah yang jenuh air akibat keluarnya air dari pori-pori tanah. Proses ini terkait dengan perubahan kadar air tanah dan dapat terjadi dalam waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *immediate settlement*. Ketika beban diterapkan pada tanah yang jenuh air, air akan ditekan keluar dari pori-pori tanah, yang mengakibatkan penurunan volume tanah.

Terdapat 2 metode umum yang digunakan dalam perhitungan konsolidasi tanah. Metode pertama, yang dikenal sebagai metode Schmertmann [4] memanfaatkan data dari uji Penetration Cone Test (CPTu) untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan data tahanan ujung (qc) dan rasio gesekan (fr). Dalam perhitungan analisis ini, digunakan perangkat spreadsheet yang telah diotomatisasi untuk memperoleh nilai konsolidasi. Metode kedua oleh Muni Budhu [5] menjelaskan salah satu metode menghitung perubahan tanah. Metode ini dapat digunakan untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi pada tanah akibat pembebanan dan waktu penurunan yang terjadi. Secara umum untuk menghitung parameter penting konsolidasi dapat dilihat pada persamaan (1) berikut

$$\rho_{pc} = \frac{H_0}{1+e_0} \left[C_c \log \frac{\sigma'_{fin}}{\sigma'_{z0}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

- Ho = tebal lapisan tanah pada clay
- Cc = koefisien konsolidasi
- Cr = koefisien kompresi
- eo = angka pori awal
- σ'zo = tegangan efektif vertikal awal
- σ'fin = total tegangan efektif vertikal
- σ'zc = tegangan efektif vertikal akhir
- Δσz = penambahan tegangan tanah akibat beban

2.2. Daya Dukung Tanah (Bearing Capacity)

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban dari struktur di

atasnya tanpa mengalami kegagalan. Konsep ini sangat penting dalam perencanaan dan pondasi dan runway bandara. Terzaghi dan Peck memperkenalkan teori dasar tentang daya dukung tanah pada tahun 1943 [6]. Terzaghi mengasumsikan bahwa tanah di bawah fondasi berperilaku seperti bahan elastis-ideal, dan daya dukungnya dapat dihitung berdasarkan tiga mode kegagalan utama:

1. Mode Kegagalan Terbalik (Overturning Failure): mode ini terjadi ketika momen puntir yang dihasilkan oleh beban fondasi melebihi momen tahanan tanah di bawah fondasi.
2. Mode Kegagalan Geser (Shear Failure): Mode ini terjadi ketika beban fondasi menghasilkan geseran tanah yang melebihi tahanan geser tanah di bawah fondasi.
3. Mode Kegagalan Perendaman (Settlement Failure): Mode ini terjadi ketika penurunan fondasi yang disebabkan oleh beban melebihi kemampuan tanah untuk mengkonsolidasi atau merenggang.

Teori Terzaghi menyediakan rumus umum untuk menghitung daya dukung tanah dalam tiga mode kegagalan tersebut. Rumus daya dukung Terzaghi tergantung pada karakteristik tanah seperti kekuatan geser, berat jenis, dan kemampuan kompresi yang dapat dilihat pada persamaan (2) berikut.

$$q_u = cN_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \dots\dots\dots (2)$$

- q_u = daya dukung ultimit (kN/m²)
- c = kohesi tanah (kN/m²)
- D_f = kedalaman pondasi tertanam di dalam tanah (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m³)
- P_0 = $D_f \gamma$ = tekanan *overburden* pondasi (kN/m²)
- N_c = faktor daya dukung tanah akibat kohesi tanah
- N_q = faktor daya dukung tanah akibat beban terbagi rata
- N_γ = faktor daya dukung tanah akibat berat tanah

2.3. Korelasi nilai hambatan konus (Qc) dan CBR Lapangan

Korelasi antara nilai hambatan konus (Qc) dan CBR (California Bearing Ratio) lapangan dapat membantu dalam menentukan daya dukung tanah secara praktis. Korelasi ini dapat bervariasi tergantung pada jenis tanah dan kondisi lapangan yang berbeda. Berikut merupakan rumus persamaan (3-6) korelasi umum yang digunakan antara nilai Qc dan CBR [7,8].

1. Korelasi Umum
CBR = 0.02Qc (3)
2. Korelasi untuk Tanah Lempung
CBR = 0.04Qc (4)
3. Korelasi untuk Tanah Pasir

$$CBR = 0.03Qc \dots\dots\dots (5)$$

4. Korelasi untuk Tanah Campuran
CBR = 0.025Qc..... (6)

2.4. Data beban Pesawat

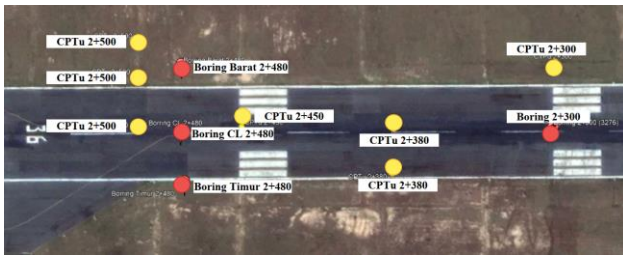
Pembebanan menggunakan teori pembebanan pesawat Boeing 747-400 (General Electric Engines) dan pesawat Airbus A380 (General Electric Engines). Adapun untuk karakteristik pemilihan beban pesawat dapat dilihat pada tabel dibawah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Distribusi beban pesawat

Jenis Pesawat	Boeing 747-400	Airbus A380-800
Berat Max Design Taxi Way (kg)	273,517	512,000
Panjang Landing (m)	2260	2103
Panjang Takeoff (m)	3530	2990
Lebar Sayap (m)	64,4	79,8
Jarak Roda (m)	12,6	14,3
Luasan Sentuh Roda (m)	64,89	92,21
Beban perkerasan belakang (kg/m ²)	dipikul roda 4200	5600
Beban perkerasan belakang (kg/m ²)	dipikul roda 4900	

3. METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan dalam studi ini mencakup pengujian lapangan (Pekerjaan boring tanah, pengujian SPT dan Pengujian CPTu) yang dilakukan pada juni 2022, analisis data boring, dan uji laboratorium mekanika tanah. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai bearing capacity tanah dan analisis konsolidasi menggunakan metode muni budhu dan schertmann. Lokasi penyediaan geotek berada pada runway STA 2+300 hingga STA 2+600 Bandara Sultan Syarif Kasim II di Jalan Kaharuddin Nasution Pekanbaru, Provinsi Riau.



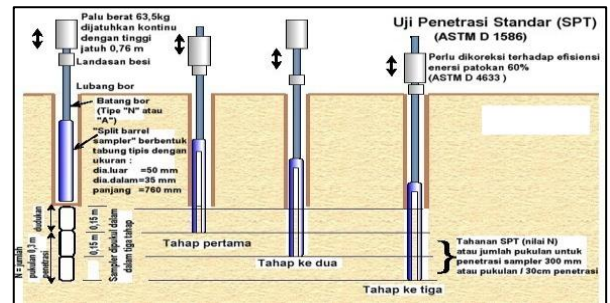
Gambar 3.1 Lokasi Penyelidikan Geotek Bandara Sultan Syarif Kasim II

3.1. Pekerjaan Pengeboran Tanah

Pengujian boring adalah salah satu metode eksplorasi tanah yang digunakan dalam disiplin geoteknik untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan tentang komposisi, tekstur, dan stratigrafi tanah di suatu lokasi tertentu. Proses pengujian ini melibatkan pembuatan lubang bor ke dalam tanah menggunakan alat bor khusus, seperti bor auger atau bor misionaris. Ketika lubang bor mencapai kedalaman tertentu, sampel tanah yang diambil dari dalam lubang dianalisis untuk menentukan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah, seperti kepadatan, kelembaban, dan tekstur. Hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi daya dukung tanah, stabilitas lereng, dan kemampuan tanah untuk menahan beban struktural. Pengujian boring sering kali menjadi langkah awal dalam perencanaan proyek konstruksi, karena memberikan gambaran awal tentang kondisi tanah yang akan dihadapi.

3.2. Pengujian Standar Penetrometer

Pengujian *Standar Penetration Test* (SPT) merupakan salah satu metode geoteknik yang umum digunakan untuk menilai sifat-sifat geoteknis tanah di dalam proyek konstruksi. SPT adalah pengujian lapangan yang mengukur ketahanan tanah terhadap penetrasi alat bor standar pada tingkat tertentu. Standard Penetration Test dilakukan dengan mengacu pada standard [9] Pengujian ini terdiri dari memancang split spoon sampler pada dasar tanah bor pada kedalaman yang dikehendaki. Sebuah *donut hammer* dengan berat 63.50 kg yang dijatuhkan dengan *catchead* setinggi 75 cm digunakan untuk memukul *split spoon sampler* ke dalam tanah didasar lubang bor. Jumlah pukulan (*hammer blows*) pada 150 mm kedua dan ketiga dihitung, jumlah pukulan ini disebut dengan *Standard Penetration Resistance* (N), dimana harga N ini sesuai dengan jumlah pukulan (*hammer blows*) per 300 mm penetrasi split spoon sampler. Pengujian dihentikan jika salah satu nilai $N > 50$ atau jumlah N_1, N_2 dan $N_3 > 100$, atau 10 pukulan tidak turun. Standard Penetration Test dilakukan mulai kedalaman 2.0 m dengan interval 2.0 meter. Pengujian SPT dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Prosedur Pengujian *Standar Penetrometer Test* (SPT)

3.3. Pengujian CPTu

Uji CPTu atau sondir merupakan suatu uji in-situ yang digunakan untuk mengukur karakteristik tanah dengan mencatat nilai tahanan ujung sondir dan gesekan selimut sebagai perlawanan tanah terhadap penetrasi konus. Hasil pengujian ini memberikan informasi tentang profil geoteknik termasuk jenis tanah, kekuatan tanah, parameter hidrogeologi dan tekanan air terhadap element pori [10].

Pengujian CPTu dilakukan dengan cara memasukkan konus berbentuk kerucut dalam tanah dengan menggunakan peralatan khisis. Selama konus bergerak dalam tanah, data tahanan konus dan tekanan pori tanah diukur secara kontinu. Data ini kemudian dianalisis untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah di bawah permukaan.

3.4. Pengujian Laboratorium Mekanika Tanah

Pengujian laboratorium dilaksanakan terhadap sampel yang diambil dari lapangan melalui pengeboran tanah. Pengujian dilakukan terhadap dua jenis sampel tanah, yaitu sampel terganggu (*disturbed sample*) dan sampel tak terganggu (*undisturbed sample*). Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data – data parameter tanah berupa sifat fisik tanah dan sifat teknis tanah. Adapun jenis pengujian yang memerlukan sampel terganggu atau tak terganggu dijelaskan sebagai berikut:

1. Sampel terganggu (*Disturbed Sample*)

Sampel terganggu merupakan sampel tanah yang telah mengalami perubahan struktur dan sifatnya dari kondisi asli di lapangan. Pengujian sampel ini digunakan untuk mencari / mendapatkan sifat – sifat tanah seperti: klasifikasi tanah, berat jenis tanah, analisis butiran, dan uji konsistensi tanah (plastisitas tanah).

2. Sampel tak terganggu (*Undisturbed Sample*)

Sampel tak terganggu merupakan sampel tanah yang diambil dengan usaha minimal untuk menjaga strukturnya dalam keadaan sifat aslinya. Pengujian sampel ini digunakan untuk mendapatkan sifat – sifat tanah, kadar air, konsolidasi, kekuatan tanah, misalnya: *Unconfined Compressive Strength*, *Triaxial*, *Direct Shear* atau *Vane Shear Test*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Daya dukung

Hasil perhitungan daya dukung tanah menggunakan rumus Terzaghi dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan kapasitas daya dukung tanah

Lokasi dan Pengujian	Kapasitas Dukung Tanah (kN/m ²)
STA 2+300 Lab	1358,94
STA 2+300 CPTu	1067,43
STA 2+480 Lab	604,76
STA 2+480 CPTu	191,79

Nilai kapasitas dukung tanah pada STA 2+300 dengan menggunakan data tanah pada pengujian laboratorium didapatkan nilai sebesar 1358,94 kN/m². Sedangkan menggunakan data tanah pada pengujian CPTu didapatkan nilai sebesar 1067,43 kN/m². Nilai kapasitas tanah pada STA 2+480 dengan menggunakan data tanah pada pengujian CPTu didapatkan nilai sebesar 288,84 kN/m² dan menggunakan data tanah pada pengujian laboratorium didapatkan nilai sebesar 604,76 kN/m².

Nilai kapasitas data dukung tanah menggunakan data tanah pada pengujian CPTu lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan data tanah pada pengujian laboratorium, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa factor seperti ketelitian maupun representasi lapangan dan laboratorium. Data dari pengujian CPTu lebih mewakili kondisi tanah di lokasi pengujian lapangan sebenarnya. Oleh karena itu biasanya data yang dihasilkan lebih akurat dalam menggambarkan kapasitas dukung tanah. Sedangkan pengujian laboratorium dapat dipengaruhi faktor eksternal, Selama proses pengangkutan dan persiapan sampel, terdapat potensi untuk gangguan dan perubahan sifat-sifat tanah asli.

4.2. Konsolidasi Tanah

Sampel yang diperoleh lapangan kemudian dilakukan pengujian konsolidasi. Pengujian konsolidasi pada STA 2+450 sampai 2+600 dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 berikut

Tabel 4. 2 Tabel Perbandingan Perhitungan Konsolidasi STA 2+300 (Beban Pesawat 5,0 t/m²) antara Data Laboratorium dengan Data CPTu (Metode Muni Budhu, Schmertmann)

Metode	Muni Budhu	Muni Budhu	Schmertmann
Konsolidasi Total (cm)	3,73	4,60	1.31
Konsolidasi U60% (cm)	2,24	2,76	1.13

Konsolidasi U90% (cm)	3,36	4,14	1.21
Waktu Konsolidasi U60% (Year)	2,8	4,4	4,4
Waktu Konsolidasi U90% (Year)	8,5	13,3	13,3

Tabel 4. 3 Tabel Perbandingan Perhitungan Konsolidasi STA 2+450 CL Beban Pesawat 5,0 t/m²) antara Data Laboratorium dengan Data CPTu (Metode Muni Budhu dan Schmertmann)

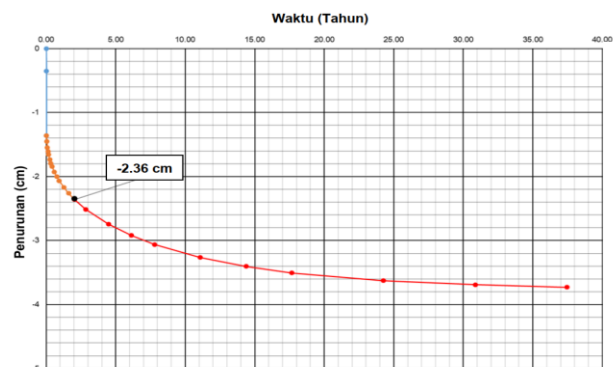
Lokasi	Muni Budhu	Muni Budhu	Schmertmann
Konsolidasi Total (cm)	3,35	4,66	1.33
Konsolidasi U60% (cm)	2,01	2,79	1.14
Konsolidasi U90% (cm)	3,01	4,19	1.22
Waktu Konsolidasi U60% (Year)	1,6	4,4	4,4
Waktu Konsolidasi U90% (Year)	4,8	13,3	13,3

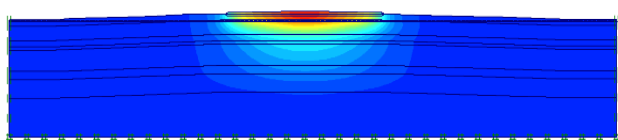
Perhitungan konsolidasi tanah dengan menggunakan data tanah pada Pengujian CPTu lebih besar dibandingkan dengan menggunakan data tanah pada Pengujian Laboratorium. Hal ini dibuktikan dengan nilai kapasitas dukung tanah, semakin besar nilai kapasitas dukung tanah maka semakin kecil nilai konsolidasi tanah tersebut. Perhitungan konsolidasi tanah berdasarkan metode Schmertmann didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan perhitungan konsolidasi tanah berdasarkan metode Muni Budhu.

4.3. Hasil Analisis Geoteknik

Analisis geoteknik untuk menghitung penurunan yang terjadi pada runway Bandar Udara ini dikaji dalam 2 arah, yaitu arah melintang (*cross section*) dan arah memanjang (*long section*). Berikut adalah hasil analisis penurunan untuk masing-masing titik studi:

4.3.1. Hasil Analisis Geoteknik pada STA 2+300

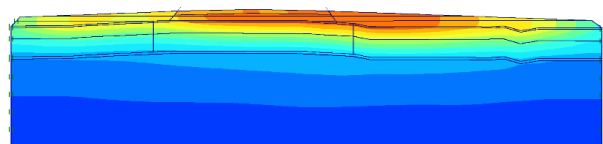
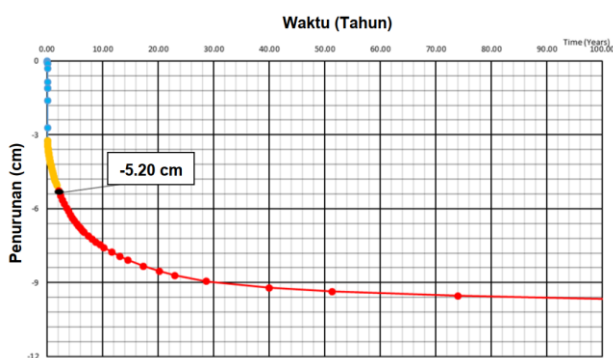




Gambar 4.1. Grafik penurunan terhadap waktu dan hasil analisis penurunan pada STA 2+300

Pada STA 2+300 penurunan sampai masa pendiaman selama 2 tahun adalah 2.36 cm dan nilai estimasi penurunan total yang akan terjadi adalah 3.80 cm. Nilai derajat konsolidasi pada masa pendiaman 2 tahun ini adalah 63%, dan sisa penurunan sebesar 1.44 cm ini akan mencapai derajat konsolidasi 90% pada sekitar 13.5 tahun kemudian dengan laju penurunan 0.18 cm/tahun dan 0.95 cm/10 tahun. Nilai time rate pada STA 2+300 masih memenuhi syarat. Namun dikarenakan nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi.

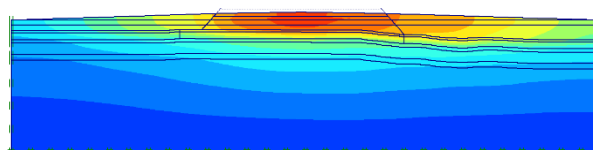
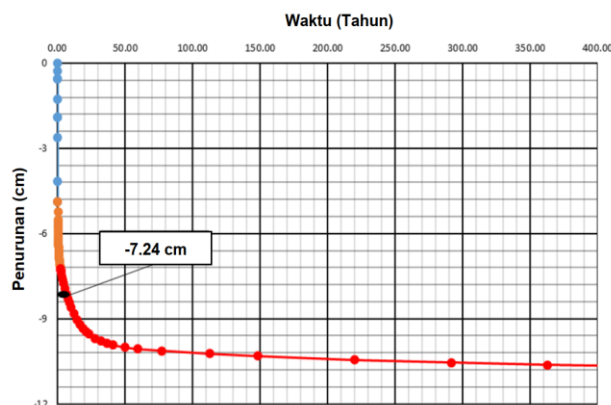
4.3.2. Hasil Analisis Geoteknik pada STA 2+380



Gambar 4.2 Grafik penurunan terhadap waktu dan hasil analisis penurunan pada STA 2+380

Pada STA 2+380 penurunan sampai masa pendiaman selama 2 tahun adalah 5.20 cm dan nilai estimasi penurunan total yang akan terjadi adalah 10.54 cm. Nilai derajat konsolidasi pada masa pendiaman 2 tahun ini adalah 50%, dan sisa penurunan sebesar 5.34 cm ini akan mencapai derajat konsolidasi 90% pada sekitar 64 tahun kemudian dengan laju penurunan 0.52 cm/tahun dan 2.54 cm/10 tahun. Nilai time rate pada STA 2+300 masih memenuhi syarat. Namun dikarenakan nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi.

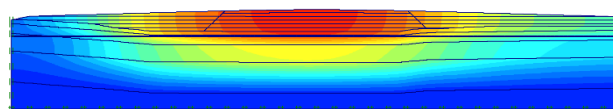
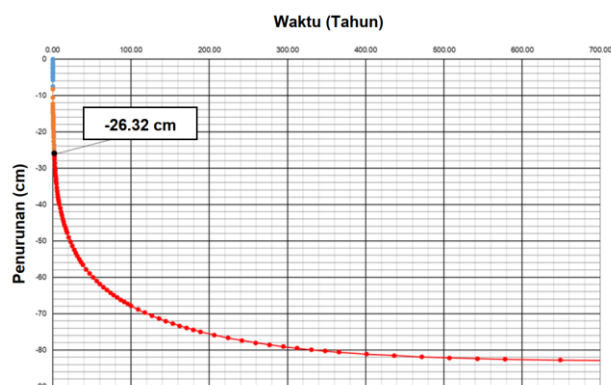
4.3.3. Hasil Analisis Geoteknik pada STA 2+450



Gambar 4.3 Grafik penurunan terhadap waktu dan hasil analisis penurunan pada STA 2+450

Pada STA 2+450 penurunan sampai masa pendiaman selama 2 tahun adalah 7.24 cm dan nilai estimasi penurunan total yang akan terjadi adalah 10.78 cm. Nilai derajat konsolidasi pada masa pendiaman 2 tahun ini adalah 67%, dan sisa penurunan sebesar 3.54 cm ini akan mencapai derajat konsolidasi 90% pada sekitar 23.5 tahun kemudian dengan laju penurunan 0.25 cm/tahun dan 1.58 cm/10 tahun. Nilai time rate pada STA 2+450 masih memenuhi syarat. Namun dikarenakan nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi.

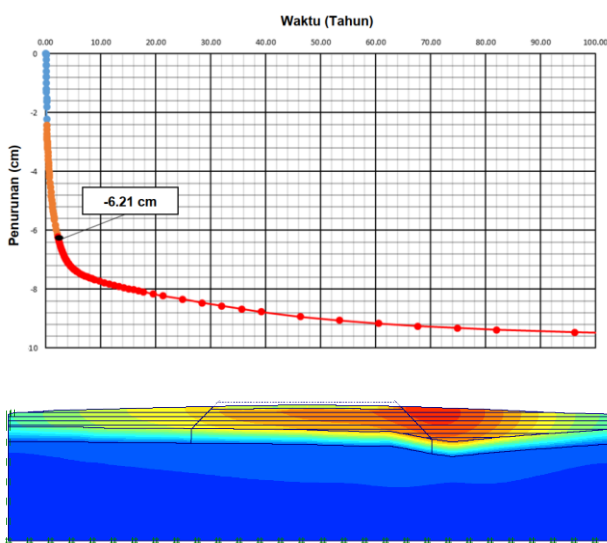
4.3.4. Hasil Analisis Geoteknik pada STA 2+500



Gambar 4.4 Grafik penurunan terhadap waktu dan hasil analisis penurunan pada STA 2+500

Pada STA 2+500 penurunan sampai masa pendiaman selama 2 tahun adalah 26.32 cm dan nilai estimasi penurunan total yang akan terjadi adalah 81.63 cm. Nilai derajat konsolidasi pada masa pendiaman 2 tahun ini adalah 31.7%, dan sisa penurunan sebesar 55.31 cm ini akan mencapai derajat konsolidasi 90% pada sekitar 183 tahun kemudian dengan laju penurunan 3.99 cm/tahun dan 16.94 cm/10 tahun. Nilai time rate pada STA 2+500 tidak memenuhi syarat dan nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi dengan nilai yang cukup besar.

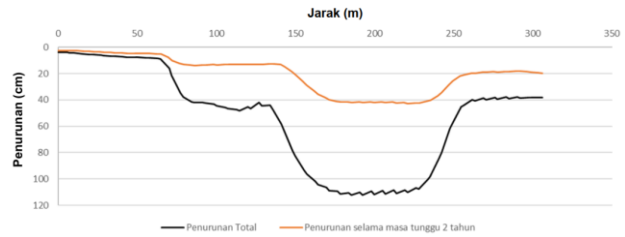
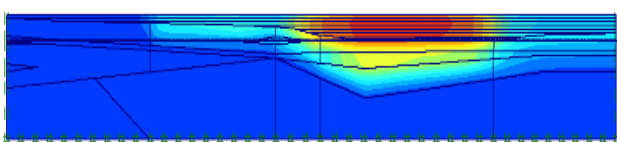
4.3.5. Hasil Analisis Geoteknik pada STA 2+600



Gambar 4.5 Grafik penurunan terhadap waktu dan hasil analisis penurunan pada STA 2+600

Pada STA 2+600 penurunan sampai masa pendiaman selama 2 tahun adalah 6.21 cm dan nilai estimasi penurunan total yang akan terjadi adalah 9.59 cm. Nilai derajat konsolidasi pada masa pendiaman 2 tahun ini adalah 64%, dan sisa penurunan sebesar 3.38 cm ini akan mencapai derajat konsolidasi 90% pada sekitar 34 tahun kemudian dengan laju penurunan 0.60 cm/tahun dan 1.55 cm/10 tahun. Nilai time rate pada STA 2+600 masih memenuhi syarat. Namun dikarenakan nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi yang cukup besar.

4.3.6. Hasil Analisis Geoteknik arah memanjang (long section) STA 2+300 - STA 2+600



Gambar 4.3 Grafik analisis penurunan STA 2+300 s/d STA 2+600

Pada grafik arah memanjang diatas terlihat penurunan dari sta 2+300 hingga STA 2+600. Penurunan puncak terbesar terdapat pada area STA 2+500. penurunan pada masa pendiaman terbesar dan total berurut-turut adalah 26.32 dan 81.63 cm. nilai derajat konsolidasi belum mencapai 90% ($U < 90\%$) maka masih ada indikasi tanah akan terus mengalami penurunan konsolidasi yang cukup besar sehingga perlu dilakukakn perbaikan agar penurunan pada runway bandara dapat diperkecil

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Perhitungan kapasitas dukung tanah dengan menggunakan data tanah pada Pengujian CPTu lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan data tanah pada Pengujian Laboratorium.
2. Perhitungan konsolidasi tanah dengan menggunakan data tanah pada Pengujian CPTu lebih besar dibandingkan dengan menggunakan data tanah pada Pengujian Laboratorium.
3. Perhitungan konsolidasi tanah berdasarkan metode Schmertmann didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan perhitungan konsolidasi tanah berdasarkan metode Muni Budhu.
4. Nilai time rate konsolidasi pada STA 2+300; 2+380; 2+450; dan 2+600 masih memenuhi kriteria yang disyaratkan. Namun untuk STA 2+500 tidak memenuhi syarat kriteria.
5. Nilai derajat konsolidasi masih kurang dari 90% yang menunjukkan bahwa penurunan masih akan berlangsung dengan jangka waktu yang lama dan nilai estimasi penurunan yang cukup besar (> 2.5 cm), maka direkomendasikan untuk dilakukan perbaikan pada STA 2+380 sampai STA 2+600.
6. Hasil analisis yang dilakukan dianggap mewakili kondisi tanah di lokasi yang diselidiki. Akan tetapi, kondisi tanah dan geologi diantara titik pengujian CPTu, baik dibawah maupun dipermukaan, dapat sangat bervariasi. Kondisi tanah yang ditemukan pada saat penggalian mungkin akan berbeda dengan yang ditemukan pada saat penyelidikan awal.

5.2. *Saran*

1. Perlu dilakukan pengecekan secara reguler terhadap ketinggian muka air tanah terutama pada STA 2+480 dengan kedalaman muka air tanah yang tergolong tinggi.
2. Berdasarkan data hasil analisis geoteknik awal diperlukan analisis lanjutan untuk memperoleh metode perbaikan tanah yang tepat untuk mempercepat penurunan maupun memperkecil penurunan pada STA STA 2+600

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Statistik Indonesia, (2019). Statistik Transportasi Udara. Available: www.bps.go.id/publication/2019/11/27/2ee66ee6da342041f1901fb0/statistik-transportasi-udara-2018.html [September 2023]
- [2] Kementerian Kebandarudaraan Nasional, (2013) Peraturan Menteri Perhubungan No. 69 Tahun 2013 Tentang Tantangan Kebandarudaraan Nasional
- [3] Das, B. M. (2017). *Shallow foundations: Bearing capacity and settlement*. CRC press.
- [4] Schmertmann J.H. (1978), *Guidelines for Cone Penetration Test; Performance and Design*, Report FHWA-TS-78-209, Federal Highway Administration, Washington DC.
- [5] Budhu, M. (2015). *Soil mechanics fundamentals*. John Wiley & Sons.
- [6] Terzaghi, K and R. Peck (1943) *Fundamentals of Soil Mechanics*.
- [7] Schmertmann J.H. (1978), *Guidelines for Cone Penetration Test; Performance and Design*, Report FHWA-TS-78-209, Federal Highway Administration, Washington DC.
- [8] Rahardjo, P. P. (2008), "Penyelidikan Geoteknik dengan Uji In-situ", GEC UK-Parahyangan, Bandung.
- [9] ASTM, D. (1998). 1586. *Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*, 4.
- [10] ASTM. (2012). *Standard test method for electronic friction cone and piezocone penetration testing of soils*. ASTM D 5778 12. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.