

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa penelitian sebagai berikut:

- 1) Tegangan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan dan rasio udara-air yang berada pada tanggul. Pada tanggul yang secara khusus berada di wilayah perairan perlu dipertimbangkan pengaruh penjenjutan material dimana terjadi perubahan tekanan air pori dan suction tanah. Pada tahapan peningkatan elevasi timbunan diketahui bahwa terdapat perbedaan antara tegangan analisis fully coupled stress seepage dengan analisis konsolidasi pada permukaan tanggul diatas muka air. Hasil analisis FC mempertimbangkan pengaruh suction tanah pada tanah yang tidak jenuh sehingga terjadi tegangan yang dihasilkan selain tegangan oleh berat sendiri tanggul. Pengaruh suction pada analisis konsolidasi tidak dipertimbangkan sehingga tegangan tanah pada tanah diatas muka air merupakan hasil oleh berat sendiri. Pada tahap kenaikan muka air sungai, diketahui bahwa pengaruh suction berkurang pada tanggul yang mengalami penjenjutan sehingga hasil tegangan yang diperoleh mulai mendekati hasil pada analisis konsolidasi. Selain itu, tanah terindikasi akan mengalami uplift akibat tegangan efektif yang mengalami perubahan arah akibat tekanan air pori yang lebih besar dari berat sendiri tanah. Pada kasus ini, metode analisis akan mempengaruhi hasil tegangan yang diperoleh terutama pada tanah yang memiliki tingkat kejenuhan bervariasi.
  
- 2) Perubahan tekanan air pori merepresentasikan jenis dan tingkat kejenuhan dari material tanggul. Hasil yang diperoleh membuktikan teori skempton terkait rasio air-udara terhadap muncul-nya tekanan air pori. Hasil dari analisis menyimpulkan bahwa tekanan air pori sangat dipengaruhi oleh perubahan tegangan dan tingkat kejenuhan air. Namun, sebaliknya tekanan

air pori dan tinggi piezometrik air juga berperan dalam proses penjenjutan tanah tersebut sehingga interaksi berjalan dua arah. Pada kondisi tahap penimbunan, peningkatan tekanan air pori disebabkan oleh perubahan tegangan normal yang dihasilkan oleh penimbunan. Sedangkan pada tahap kenaikan muka air sungai, tekanan air pori yang dihasilkan akibat infiltrasi air sungai pada badan tanggul serta tekanan hidrostatik air. Pada kasus kenaikan elevasi muka air sungai, material tanggul tak jenuh yang berada di atas GWL akan menjadi jenuh sehingga muncul tekanan air pori eksese baru yang akan terakumulasi dengan tekanan air pori eksese residual. Tekanan air pori tersebut akan menyebabkan air juga akan mengalir ke segala arah sehingga terjadi penjenjutan di titik yang lain. Tekanan air yang terakumulasi akan suatu waktu tertentu melebihi tegangan yang dihasilkan oleh berat sendiri tanah hingga menciptakan uplift. Kasus uplift akibat peningkatan tekanan air pori dapat dijumpai pada kondisi analisis kenaikan elevasi muka air 4.5m diatas tanggul, dimana terjadi penurunan nilai displacement total. Permindahan tanah menuju sumbu positif y menunjukkan bahwa tanah tersebut mengalami swelling akibat tekanan air pori serta peningkatan rasio air terhadap rongga udara. Selain itu, perubahan tekanan air pori menyebabkan daya hisap akibat tekanan pori udara akan berkurang sehingga menyebabkan penurunan kemampuan ikat dari tanah tersebut. Pada kasus tanggul, hasil permodelan tekanan air pori lebih nyata pada analisis FC dimana tekanan air pori dan tingkat kejenuhan material lebih dipertimbangkan dalam arah pergerakan air.

- 3) Garis freatik rembesan sungai pada badan tanggul merupakan suatu fungsi non-linear. Hal ini dikarenakan garis tersebut dipengaruhi oleh tinggi piezometrik air pada titik tersebut serta dipengaruhi oleh tingkat permeabilitas tanah. Tinggi piezometrik tersebut merupakan komponen dari tinggi tekan air serta tinggi dari tekanan air pori. Sebaliknya, tinggi piezometrik rembesan tersebut akan menyebabkan perubahan tekanan air pori dan gaya hidrostatik yang bekerja. Pada analisis konsolidasi, garis freatik rembesan pada sungai diperoleh dengan fungsi linear antara hulu dan

hillir tanggul tanpa mempertimbangkan interaksi garis freatik dengan tinggi tekanan air pori. Hal ini menyebabkan garis freatik yang merepresentasikan analisis konsolidasi lebih rendah dibanding kondisi nyata-nya. Hal ini menyebabkan penurunan dan kenaikan tekanan air pori yang direpresentasikan tidak sedekat kondisi nyatanya. Sedangkan pada analisis FC, permasalahan diminimalisir dengan garis freatik yang dipengaruhi oleh tegangan dan tekanan air pori yang non-linear. Hal ini menyebabkan garis rembesan sungai berbentuk parabolik sehingga lebih mendekati kondisi nyata.

- 4) Stabilitas tanggul merupakan produk dari interaksi tegangan tanah terhadap tekanan air pori eksis. Tegangan tanah menjadi suatu faktor penyebab ketidakstabilan maupun faktor penghasil kuat geser yang didasarkan oleh parameter kuat geser kohesi dan sudut geser dalam. Selain itu adapun kontribusi suction dari tekanan udara pori yang menyebabkan kuat geser tanah tak jenuh untuk meningkat. Tekanan air pori yang dihasilkan akan menjadi suatu faktor pengurang terhadap kuat geser yang dihasilkan oleh tanggul. Tingkat stabilitas tanggul tersebut di representasikan dengan besar nilai faktor keamanan. Pada tahap penimbunan, dapat disimpulkan bahwa penurunan angka keamanan utama disebabkan oleh peningkatan tegangan tanah serta akibat tekanan air pori akibat peningkatan tegangan tanah. Sedangkan pada tahap peningkatan muka air sungai, SF berkurang dikarenakan perubahan derajat kejenuhan material sehingga muncul tekanan air pori tambahan. Perubahan tersebut akan juga mempengaruhi suction tanah sehingga daya ikat antara tanah berkurang, sehingga terjadi penurunan gaya gesekan antara partikel tanah. Kombinasi faktor tersebut yang menyebabkan angka faktor menurun hingga 1.5 pada posisi muka air sungai tertinggi.

- 5) Perkuatan geogrid meningkatkan angka faktor keamanan tanggul sebesar 24%-47% dari faktor keamanan yang diperoleh sebelum-nya. Hasil tersebut menunjukkan efektifitas perkuatan menggunakan metode ini, dimana penerapan geogrid tidak perlu keahlian khusus sehingga cocok dilakukan dalam proyek skala besar seperti tanggul di wilayah perairan yang membutuhkan jangkauan besar dengan waktu yang terbatas.
- 6) Kelemahan pada analisis konsolidasi adalah ketidakmampuan metode ini untuk menganalisis garis rembesan freatik secara non-linear, hal ini menyebabkan ketepatan hasil analisis tekanan air pori untuk berdeviasi dari kondisi actual. Selain itu, metode analisis ini tidak mempertimbangkan pengaruh dari suction pada material tidak jenuh dan jenuh sebagian sehingga menghasilkan angka faktor keamanan dan deformasi yang lebih konservatif. Keuntungan dari metode konsolidasi adalah kemampuan-nya untuk secara langsung menghasilkan tekanan air pori secara khusus untuk daerah yang tidak dipengaruhi oleh syarat batas-nya.
- 7) Kelemahan pada analisis *fully coupled stress-seepage* adalah ketidakmampuan-nya untuk memberikan solusi numerik ketika perbedaan syarat batas tinggi total head-nya antara dua titik cukup besar. Hal ini terbukti pada permodelan, kenaikan muka air hingga puncak tanggul tidak dapat diselesaikan. Kelemahan analisis ini berkaitan dengan penempatan batas head air sebagai kondisi drain secara bebas tanpa mempertimbangkan tinggi muka air global. Dalam kata lain, batas head air tidak ditempatkan pada posisi dimana telah didefinisikan tinggi total head. Hal ini menyebabkan pergerakan air dan tekanan air pori hanya bergantung pada tinggi total head yang telah terdefinisi sehingga pergerakan air hanya dipengaruhi dari tegangan tanah. Keuntungan dari metode ini antara lain adalah fleksibilitas dalam menentukan muka air pada waktu T tertentu, dibandingkan konsolidasi yang tinggi muka air bergantung pada langkah pembagian tahap. Selain itu, garis freaktif rembesan yang dihasilkan lebih merepresentasikan interaksi antara tahapan konstruksi dan tekanan air pori

ekses dalam tanah sehingga lebih merepresentasikan kondisi nyata. Selain itu, metode ini dapat mempertimbangkan pengaruh suction pada tanah tak jenuh atau jenuh sebagian.

## 5.2 Saran

Metode analisis konsolidasi maupun *fully coupled stress-seepage* merupakan metode yang sama-sama dapat menghasilkan deformasi akibat perubahan tekanan air pori. Namun untuk kasus tanggul dimana terdapat variasi kenaikan muka air yang bergantung terhadap waktu lebih dianjurkan menggunakan metode *fully coupled stress-seepage*, Hal dikarenakan permodelan rembesan air melalui badan tanggul. Namun apabila hanya dilakukan analisis deformasi pada tanggul tanpa ada perubahan muka air tanah yang tidak merata pada waktu tertentu, lebih mudah menggunakan metode analisis konsolidasi untuk memperoleh hasil tekanan air pori eksis. Selain itu, terdapat perbedaan interpretasi suction tanah tak jenuh dan total head pada FC menyebabkan pola disipasi pada tahapan penimbunan biasa akan berbeda dengan konsolidasi yang merata di seluruh permukaan. Selain itu, penggunaan total head FC harus didasarkan oleh logika hubungan muka air pada dua titik dimana pada kasus tertentu besar perbedaan tinggi total head akan berperan dalam keberhasilan analisis numerik. Oleh karena itu, pemilihan metode tersebut didasarkan oleh kebutuhan dan kondisi lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Archenita, D. (2015). AJIAN LAND SUBSIDENCE UNTUK PERKUATANTANAH(STUDI KASUS SAWAHLUNTO);
- Braja, M.D, Emeritus, D. dan Sobhan, K. (2012). Principles of Geotechnical Engineering, Eighth Edition, SI. Cengage Learning. United States of America;
- Braja, M D. (2016). "Use of geogrid in the construction of railroads". Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI 10.1007/s41062-016-0017-8
- MIDAS (2018). MIDAS Geotechnical Training Series Fully Coupled vs Consolidation Analysis;
- Freeport Indonesia (2023). Detailed Design Update Report for the Year 2023 ModADA Levees. (Internship Penulis,2023);
- Goel, T (2017). A Review on Slope Stability Analysis by Strength Reduction Method using MIDAS GTS. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. ISSN. 2319-8753;
- Haris,V. (2018). Nilai Kohesi dan Sudut Geser Tanah pada Akses Gerbang Selatan Universitas Lancang Kuning.Jurnal Teknik Sipil. Universitas Lancang Kuning;
- MIDAS. (2018). MIDAS Geotechnical Training Series Fully Coupled vs Consolidation Analysis;
- MIDAS. (2021). Midas GTS User Manual Chapter 1-7 . New eXperience of GeoTechnical analysis System;
- NPTEL ITT Guwahati. (2021). Advance Soil Mechanics: Lecture 23, Pore water Pressure and Skepton Equations (dilihat pada youtube, Juni 2024);
- Pujiastuti, H .(2018). THE EFFECT OF MATRIC SUCTION ON THE SHEAR STRENGTH OF UNSATURATED SANDY CLAY;
- Purwanto E.(2008). NILAI MODULUS GESER TANAH BERDASARKAN RUMUS HARDIN & DRNEVICH (1972) dan MENARD (1965) DARI UJI LABORATORIUM. MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL, vol. 16, no. 3;
- TenCate Geosynthetics. (2022). Miragrid® GX Geogrids. TenCate Geosynthetics Asia Sdn. Bhd. Malaysia;
- Raharjo, P, (2023). Analisis Konsolidasi Metode Elemen Hingga. Materi Matakuliah Metode Elemen Hingga Unpar;
- Rusli, S, (2024). Persamaan Dasar Aliran Air Tanah-Solusi Metode Analitik. Materi Matakuliah Aliran Air Tanah Unpar;

Rusli, S, (2024). Persamaan Dasar Aliran Air Tanah-Solusi Metode Numerik. Materi Matakuliah Aliran Air Tanah Unpar;

Shumete, A, (2023). Slope Stability Analysis in Embankment Dam Under Static Condition Using Numerical Model (Case Study: Legeamara Earthen Dam);

Sari, U, (2016). Influence of pore water pressure to seepage and stability of embankment dam (case study of Sermo Dam Yogyakarta, Indonesia);

Wambrauw, C, (2023). Analisis Penggunaan Geogrid Dalam Peningkatan Stabilitas Tanggul Dan Faktor Keamanan Pada Wilayah Kerja Departemen TRMP PT. Freeport Indonesia .Laporan Kerja Praktek Universitas Parahyangan 2023.

