

PENGARUH KONSOLIDASI TERHADAP DEFORMASI DAN FAKTOR KEAMANAN DENGAN MODEL MATERIAL TANAH LUNAK

O.B.A Sompie¹, T. Ilyas², B.I. Setiawan³, Indartod⁴

¹*Geotechnical Engineering at Faculty of Engineering Sam Ratulangi University, Manado, Indonesia,
Email: bsompie@yahoo.com*

²*Professor in Civil Engineering at University of Indonesia*

³*Professor in Civil Engineering and Environment, Bogor Agriculture University, Indonesia*

⁴*Professor in Infrastructure Civil Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Indonesia*

ABSTRAK

Model material selalu diperlukan untuk mengetahui karakteristik (sifat fisik dan mekanik) lapisan tanah di lokasi dengan menggunakan analisis studi geoteknik yang telah dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Tanah lunak seperti tanah liat, Lempung kelanauan dan gambut menunjukkan tingkat kompresibilitas yang tinggi dibandingkan dengan tanah lainnya. Dalam pengujian oedometer, lempung yang dikonsolidasikan secara normal berperilaku hingga sepuluh kali lebih lembut daripada pasir yang biasanya dikonsolidasikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku konsolidasi primer lempung lunak dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari perhitungan analisis elemen hingga pada Plaxis 2D dengan perhitungan analitis dan pengukuran survei. Dua model material yang berbeda digunakan selama perhitungan elemen hingga, membandingkan kinerja model bahan Soft Soil konstitutif yang lebih maju, (Soft Soil Model, SSM) terhadap model bahan Mohr-Coulomb (Mohr-Coulomb Model, MCM) yang umum digunakan saat ini. Analisis geoteknik praktis terhadap stabilitas konstruksi timbunan dilakukan dengan menggunakan program komputer Plaxis 8, berdasarkan Metode Elemen Hingga untuk menganalisis nilai deformasi dan factor keamanan dengan fase konstruksi tahap konsolidasi.

Kata kunci: *Konsolidasi, Deformasi, Faktor Keamanan, SSM*

THE EFFECT OF CONSOLIDATION TO DEFORMATION AND SAFETY FACTORS WITH SOFT MATERIAL MODEL

ABSTRACT

Material models are always required to know the characteristics (physical and mechanical properties) of the soil layer at the site by using analysis of geotechnical studies that have been done in the field and in laboratories. Soils such as clay, silty clay and peat show a high degree of compressibility compared to other soils. In oedometer testing, the consolidated clay normally behaves up to ten times softer than the normally consolidated sand. This study aims to determine the soft consolidation behavior of soft clay primers by comparing the results obtained from finite element analysis calculations on Plaxis 2D with analytical calculations and survey measurements. Two different material models were used during finite element calculations, comparing the performance of Soft Soil Model, SSM models to the Mohr-Coulomb Model (MCM) model commonly used today. Practical geotechnical analysis of stability of embankment construction is done by using Plaxis 8 computer program, based on Finite Element Method to analyze deformation value and safety factor with construction phase of consolidation.

Keywords: *Consolidation, deformation, safety factor, SSM*

1. PENDAHULUAN

Daerah Irigasi Kosinggolan sering mengalami kekeringan yang cukup parah, namun pernah pula terjadi banjir. Fenomena tersebut menunjukkan fluktuasi yang besar antara musim kering dengan musim hujan. Sebagai salah satu langkah antisipasinya adalah dengan membangun Reservoir sebagai penampung cadangan air, sehingga didapatkan suplai air yang stabil, baik pada musim hujan maupun pada musim kering, Sompie et al 2015.

Konsekuensi dari rencana pembangunan Reservoir yang dapat menampung cadangan air lebih banyak diantaranya dengan Peninggian Tanggul Lama. Rencana Peninggian Tanggul Lama yang terdapat di sekitar Bendung Kosinggolan desa Doloduo kecamatan Domuga Kabupaten Bolaang Mongondow.

Dalam tulisan ini pembahasan hanya dibatasi pada :

- Data hasil pemeriksaan di lapangan meliputi :
 - o log bor tangan (hand boring)
 - o static cone penetration test (sondir)
 - o tes pits quarry
 - o hydraulic conductivity test atau Field Permeability Test

Menggunakan data hasil Pemeriksaan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik UNSRAT Manado terhadap penelitian tanah.

- Contoh tanah yang diambil 8 titik
- Analisa Kestabilan Lereng dengan Software Plaxis 8
- Tinggi Tanggul Rencana 8 meter
- Analisa Gempa tidak dibahas.

Penulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi lapisan bawah permukaan tanah (sub soil condition), terutama untuk mengetahui karakteristik (sifat-sifat fisik dan mekanik) dari lapisan tanah di lokasi tersebut untuk dapat menganalisis perencanaan embankment/ tanggul.

2. KONSOLIDASI

Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsolidasi terhadap deformasi model tanah lunak (Soft Soil Model, SSM) yang nanti akan dibandingkan dengan mohr-coulomb (model Mohr-Coulomb, MCM) sehingga perlu dijelaskan teori pendukung berikut ini.

Metode yang digunakan untuk menghitung kestabilan lereng tanggul rencana adalah dengan metoda modifikasi Bishop (Simplified Bishop Methode).

Persamaan yang digunakan pada metoda Bishop sebagai berikut lihat gambar 1:

$$SF = \frac{1}{W \sin \alpha} [c'l + (w - uB) \dots tg \phi'] \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{tg \alpha \cdot tg \phi'}{SF}} \quad (1)$$

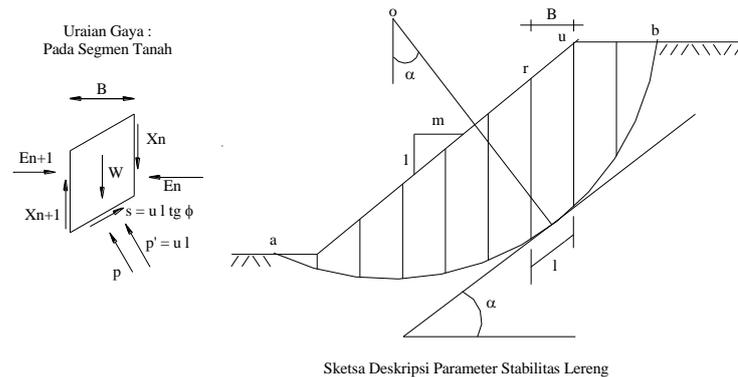
dimana : SF = Faktor keamanan

W = berat slice

c' = kohesi efektif

ϕ' = sudut geser dalam efektif

B = lebar slice



Gambar 1. Skema deskripsi parameter stabilitas lereng.

Gambar 1. Menunjukkan skema deskripsi parameter stabilitas lereng yang berkaitan dengan rumus 1.

Kriteria Faktor Keamanan Kestabilan Lereng Untuk Disain Optimal.

A. Settlement / Deformasi

Penurunan dam pada kondisi reservoir kosong atau penuh :

- ✓ Pondasi = 2 % dari tinggi Dam
- ✓ Tanah timbunan = 1 – 2 % dari tinggi timbunan
- ✓ Kecuraman atau perbedaan penurunan pada tiap titik = 1 % (1 ft dalam 100 ft). Reservoir kosong adalah kemungkinan lebih kritis.

B. Kebocoran

- ✓ Kontrol banjir : 100 cft untuk aliran banjir 1 – 2000 cfs.
- ✓ Cadangan Dam : 0.1 % dari rata-rata arus aliran.

C. Erosi rembesan dan Boiling.

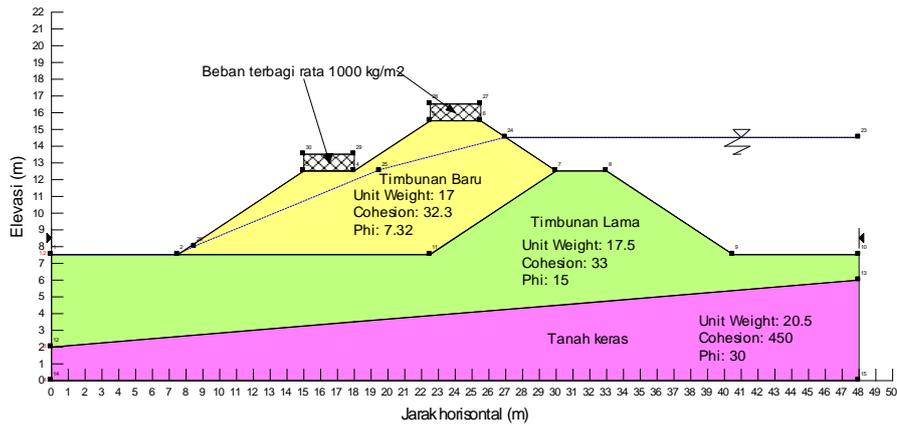
- ✓ Faktor keamanan = 1.2 s/d 5 untuk boiling.
- ✓ Faktor keamanan = 1.2 s/d 2 untuk uplift di atas tanggul kedap.

Analisis stabilitas konstruksi Peninggian Tanggul dilakukan dengan menggunakan Program Komputer PLAXIS yang telah dikembangkan oleh Dr. R.B.J. (Plaxis, B.V., The Netherlands) dan Prof. P.A. Vermeer (University of Stuttgart, Germany). PLAXIS adalah paket program komputer yang mendasarkan perhitungan pada Metode Elemen Hingga untuk menganalisis besaran deformasi dan stabilitas yang sangat diperlukan dalam menangani permasalahan-permasalahan dalam bidang geoteknik.

Metode Elemen Hingga sendiri menganalisis suatu konstruksi dengan cara membagi-bagi (diskretisasi) seluruh bangunan menjadi elemen-elemen kecil, yang akibat perubahan beban masing-masing elemen akan mengalami rubah bentuk yang besarnya bergantung kepada tingkat pengaruh beban dan karakteristik material elemen yang ditinjau.

Aplikasi Geoteknik menggunakan program ini mensyaratkan pemodelan lanjut untuk mensimulasi perilaku tanah yang non - linier dan "time dependent" atau tergantung pada waktu pembebanan. Sebagai tambahan, karena tanah merupakan material berfase banyak, prosedur pengerjaan khusus diperlukan sehubungan dengan sifat tekanan air pori dalam tanah baik yang bersifat hidrostatik maupun yang non-hidrostatik, Sompie et al, 1988, 2008 dan 2010.

Dalam analisa perhitungan stabilitas lereng akan dicari kemiringan lereng yang aman untuk suatu kondisi tertentu. Beban selama masa konstruksi diperhitungkan sebesar 1000 kg/m^2 bekerja di atas tanggul. Sketsa geometri peninggian tanggul dan data-data sifat tanah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa Peninggian Embankment di sekitar Bendung Kosinggolan

3. METODE

Makalah ini menggunakan hasil pemeriksaan dan analisis geoteknik yang telah dilakukan dengan baik di lapangan dan di laboratorium berdasarkan teori-teori yang telah ditulis dalam beberapa literature jurnal terdahulu sebagai bahan data untuk analisis lebih lanjut dengan menggunakan perangkat lunak.

Pekerjaan laboratorium terdiri dari pengujian terhadap sampel yang tidak terganggu dan sampel yang terganggu diambil dari lokasi yang dipilih. Tujuan dari pemeriksaan atau penyelidikan tanah (soil investigation) ini adalah untuk mengetahui sifat fisik / sifat dari penelitian lapangan tanah dan sifat mekanik atau teknik tanah.

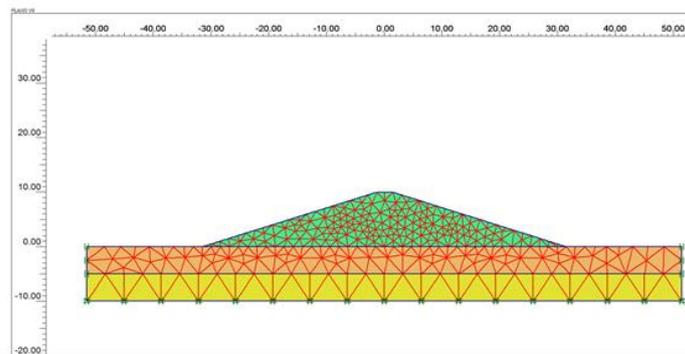
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dan perhitungan stabilitas Peninggian Tanggul Bendung Kosinggolan dilakukan dengan menggunakan Program Komputer PLAXIS. Ketentuan yang dipakai dalam analisis dan perhitungan adalah sebagai berikut :

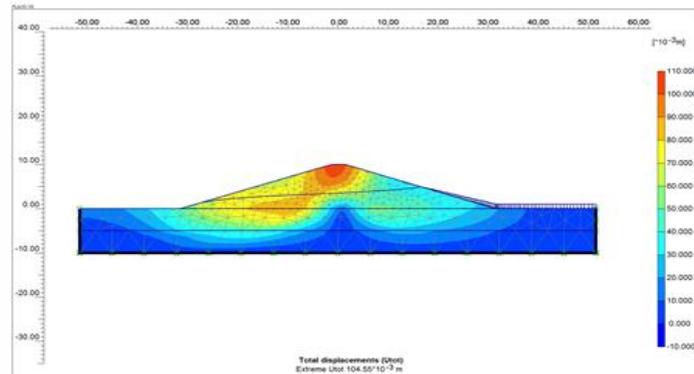
- ✓ Model : Plane Strain.
- ✓ Elements : 6-Node.
- ✓ Unit : Length (m), Force (kN), Time (day)
- ✓ Stress : kN/m²
- ✓ Weight : kN/m³

Batasan bidang yang digunakan : Left : 0 m, Right : 50 m, Bottom : 0 m, Top : 25 m, spacing : 0.5 m.

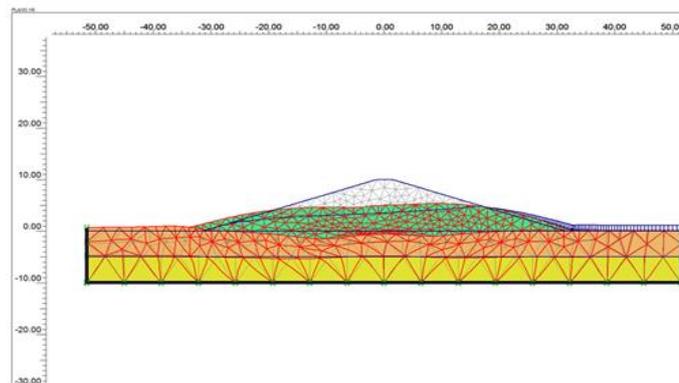
Analisis pada kondisi praktis



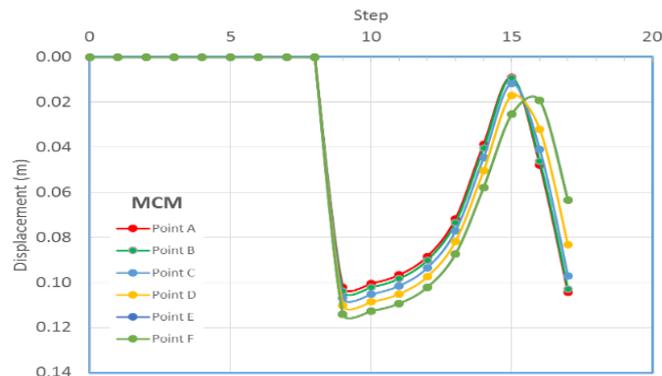
Gambar 3. Model sederhana 1V:3H



Gambar 4. Total Penurunan Konsolidasi MCM



Gambar 5. Jaring Deformasi MCM



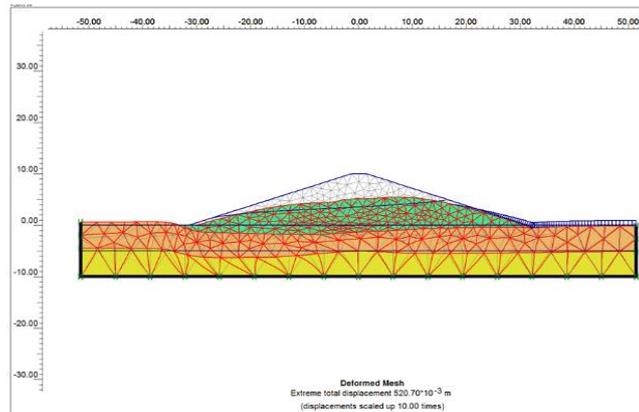
Gambar 6. Kurva Penurunan MCM

Simple Condition analysis dengan menyederhanakan keadaan dengan menggunakan kemiringan tanggul 1V: 3H dengan parameter yang sama. Analisis skenario menggunakan model sederhana dengan tahap konstruksi konsolidasi 210 hari dan konsolidasi lapisan tinggi 10 m. Tingkat air masing-masing dengan kondisi air normal dimana airnya tinggi, setengah dari tanggul tinggi dan kondisi air dengan wajah penuh air 5 meter dari dasar fondasi tanggul.

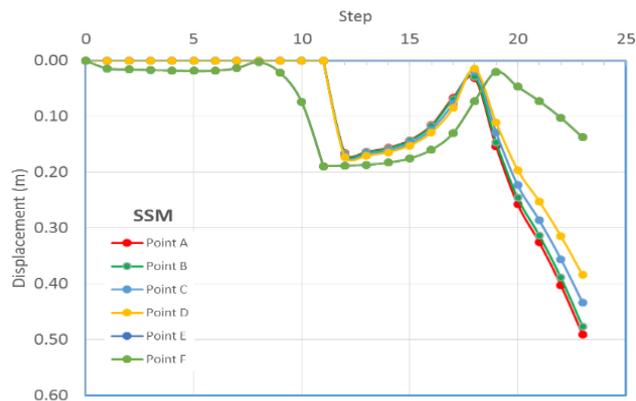
Sebagai output untuk analisis konsolidasi, angka berwarna telah diperoleh untuk menunjukkan perpindahan total pada akhir fase konsolidasi 210 hari.

Model deformasi yang terjadi seperti pada gambar 6, dengan nilai faktor keamanan, SF MCM adalah 1,2014 sedangkan 1,2185 SSM, Dimana gambar 4. Perpindahan konsolidasi sebesar 0,519 m yang diperoleh dengan model SSM dan 0,105 MCM untuk akhir periode konsolidasi 210 hari

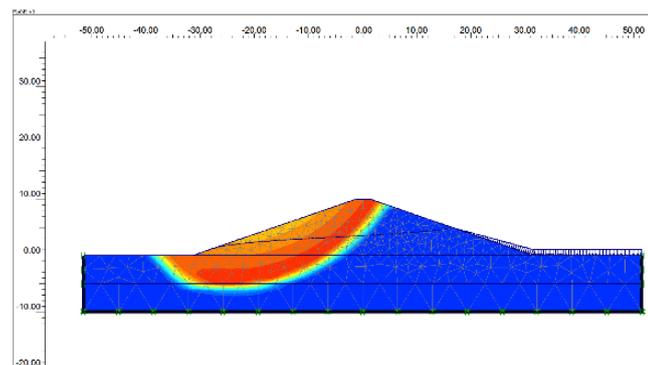
Pada Gambar 4 total perpindahan diperoleh dan sudah di plot pada saat konsolidasi saat dihitung dengan model Soft Soil. Area merah di tengah tanggul / dambody menunjukkan besarnya perpindahan yang paling besar, menunjukkan bahwa bagian paling tebal dari dambody menghasilkan jumlah perpindahan terbesar. Gambar 5 sampai 8 menunjukkan jumlah elemen jaringan untuk membentuk deformasi elemen struktur tanggul model hasil parameter MCM dan SSM, yang diperinci pada masing-masing grafik pada kurva penurunan (*displacement*).



Gambar 7. Jaring Deformasi SSM

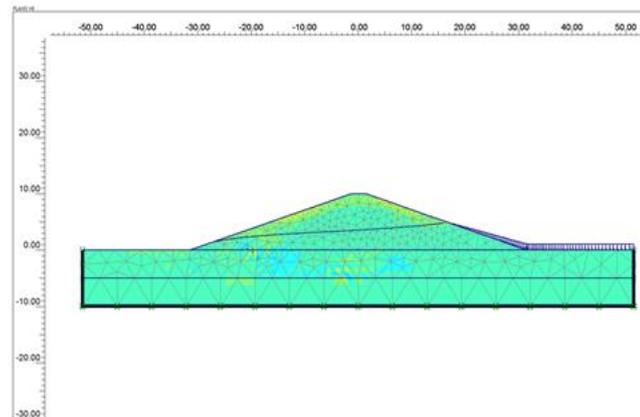


Gambar 8. Kurva Penurunan SSM

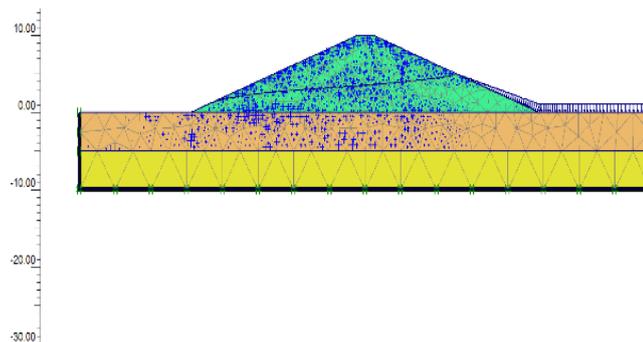


Gambar 9. Deformasi SSM

Seluruh tekanan air pori berlebih terjadi tidak signifikan pada bagian dinding bodi tanggul bagian hulu dan bagian tengah bendung. Gambar 10 dan 11 untuk kurva tekanan air pori tertinggi MCM dengan $-473,79 \text{ kN / m}^2$ (negatif = Tekanan), dimana kondisi ekstrim SSM tekanan air pori $122,26 \text{ kN / m}^2$ (lihat Gambar 8). Kondisi ini akan menjadi dasar perancangan dalam memberi atau menambah penguatan dalam konstruksi tanggul dengan faktor keamanan lebih besar dari 1 sebagai 1.20, konstruksi tambak sederhana relatif aman.



Gambar 10. Kelebihan Tekanan air pori SSM



Gambar 11. Kelebihan Tekanan air pori MCM

Clay mengalami deformasi volumetrik besar selama kompresi isotropik perawan, namun menerapkan jalur stres semacam itu dalam model Mohr Coulomb hanya akan menghasilkan respon elastis. Deformasi plastis lebih baik dijelaskan dalam model Soft Soil karena mengasumsikan perilaku logaritmik antara strain volumetrik dan tegangan rata-rata efektif, mis. Hubungan kekakuan stres nonlinier, bisa membedakan antara muatan dasar dan bongkar muat / reload.

Konsolidasi tahap yang dilakukan selama 210 hari, dengan lapisan setinggi 10 meter, memberikan nilai faktor keamanan yang signifikan pada tahap konstruksi jaringan ini, keduanya merupakan faktor keamanan material model 1,2014 sebagai MCM dan 1,2185 sebagai SSM.

5. KESIMPULAN

Analisis geoteknik stabilitas kemiringan tanggul sederhana dengan kemiringan 1V: 3H cukup aman pada kondisi tinggi konsolidasi lapisan 10 meter dengan tinggi muka air 5 meter, dengan faktor faktor keselamatan (Safety Factor, SF) sama dengan faktor keamanan material model 1,2014 sebagai MCM dan 1.2185 sebagai SSM.

Dengan kondisi total MCM tekanan air pori dengan 473,79 kN / m² (negatif = Tekanan), dimana kondisi ekstrim SSM tekanan air pori 122,26 kN / m².

Menganalisis studi kasus ini, proyek dengan lempung lunak yang dikenakan kompresi asli diuntungkan dari penerapan model Soft Soil selama perhitungan konsolidasi daripada model Mohr-Coulomb.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih pada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Universitas Sam Ratulangi Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, melalui pembiayaan Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Nomor : SP DIPA -042.01.2.400959/2017 Tanggal 21 April 2017.

DAFTAR PUSTAKA

Dr. R. B. J. (Plaxis, b.v., The Netherlands) dan Prof. P. A. Vermeer (University of Stuttgart, Germany) Program Komputer PLAXIS, Versi 7.11 dan Versi 8

- Sompie., O.B.A., Arai, K Machihara., H, and Kita, A (1998). Numerical Analysis of Constant Rate of Strain Consolidation Test, *proc. 53th Japan National Conference on Civil Engineering*, Gifu, Vol. 1, p. 416 (in Japanese).
- Sompie., O.B.A, Arai, K., Budi Indra Setiawan, and Arizal (2008), Dilatancy Behaviour in Standard and Constant Strain Rate of Consolidation Test. *Agricultural Engineering International CIGR Journal*. Volume X. February 2008. (ISSN 1682-1130)
- Sompie., O.B.A, Arai, K., and Kita, A (2008), Secondary Compression Behavior in Three Types of Consolidation Tests, *Journal Of The Southeast Asian Geotechnical Society*, Vol. 30, No. 1, September 2008 (ISSN 0046-5828).
- Sompie., O.B.A, Arai, K., Budi Indra Setiawan (2010), Water Balance Analysis for the Assessment of water availability in small scale reservoir, *Annual Conference of the International Society of Paddy and Water Environment Engineering (PAWEES)*, Jeju island, Republic of Korea
- Sompie O.B.A , David Sompie., and T. Ilyas (2015), Pengaruh Proses Konsolidasi Terhadap Deformasi dan Faktor Keamanan Lereng Embankment (Studi kasus Bendungan Kosinggolan), *prosiding seminar Teknik Sipil, Prog. Studi Magister Teknik Sipil*, Universitas Udayana, Bali, Indonesia