



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 3 (2025) pp: 1409-1416

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Evaluasi Stabilitas Tanah Pada Saluran Irigasi Air Manjuto (Bm Kn 2 – Bm Kn 3)

Giwo Okta Divio¹, Meilani Belladona², Edito Dwiantoro³

Jurusan Teknik Sipil Universitas Prof.Dr Hazairin,SH Bengkulu

oktadivio@gmail.com¹, melianibelladona@gmail.com², editodwiantoro@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini menganalisis kestabilan lereng pada pengaliran Air Manjuto (BM KN 2 – BM KN 3), Desa Lalang Luas, Kecamatan V Koto, Kabupaten Mukomuko. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi tingkat kestabilan lereng menggunakan metode Cone Penetration Test (CPT) serta perangkat lunak GEO5 yang dirancang untuk analisis geoteknik, khususnya kestabilan lereng. Data tanah yang diperoleh melalui pengujian CPT digunakan sebagai input dalam pemodelan lereng untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FS). Hasil analisis menunjukkan bahwa setelah dilakukan perubahan geometri lereng dari sudut awal 45° menjadi 35°, kestabilan lereng meningkat secara signifikan. Nilai FS yang dihitung dengan beberapa metode analisis memberikan hasil yang bervariasi, namun tetap menunjukkan kondisi lereng yang stabil. Metode Bishop dan Spencer menghasilkan FS sebesar 1,73, sedangkan metode Janbu dan Morgenstern-Price memberikan FS sebesar 1,72. Sementara itu, metode Fellenius/Petterson memberikan hasil yang sedikit lebih rendah, yaitu 1,65, namun nilai tersebut masih berada di atas batas minimum standar keamanan yang umumnya disyaratkan ($FS \geq 1,50$). Perbedaan hasil ini disebabkan oleh variasi pendekatan matematis dan asumsi dalam masing-masing metode analisis. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa perubahan desain geometri lereng dapat meningkatkan stabilitas dan keselamatan struktur lereng. Temuan ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam perencanaan dan pengendalian potensi longsor di daerah dengan kondisi geoteknik serupa.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Faktor Keamanan (SF)

I. PENDAHULUAN

Bendungan Air Manjuto terletak di Lubuk Pinang, Kabupaten Mukomuko, Provinsi Bengkulu. Bendungan ini memiliki peranan penting dalam sistem irigasi daerah setempat dan berfungsi sebagai sumber air untuk sektor pertanian, pengendalian banjir, serta penyediaan air bersih bagi masyarakat sekitar. Dibangun pada masa pemerintahan Presiden Soeharto dan diresmikan pada 1 Juli 1989, bendungan ini merupakan bagian dari proyek pembangunan infrastruktur pada era Orde Baru yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan pangan dan kesejahteraan masyarakat pedesaan. Tanah adalah sebuah lapisan yang berada di atas permukaan bumi mempunyai ciri khusus dan perbedaan sifat setiap tempat dengan yang lain. Berdasarkan pendapat Dokuchaev (1870) dikutip Fauizek dkk. (2018), tanah merupakan sebuah bagian bumi yang melapisi bersumber dari bahan utama dan menyebabkan tahapan sehingga mampu menjadi keberlanjutan berdampak pada adanya yang berubah secara alami lokasinya berada pada bagian bawah pengaruh air, udara, dan organisme hidup maupun mati.

Stabilitas tanah dapat ditingkatkan dengan penggunaan bahan campuran ke dalam tanah asli serta pemadatan tanah secara mekanis guna meminimalisir sifat tanah yang kurang baik (Alfian dkk., 2020). Cuaca mengalami perubahan mampu memberikan dampak pada kestabilan bagian

Evaluasi Stabilitas Tanah Pada Saluran Irigasi Air Manjuto (Bm Kn 2 – Bm Kn 3)

permuakaan lereng secara alami ataupun dibuat sehingga mampu memberikan peningkatan adanya dampak longsor yang terjadi. Longsor yang disebabkan berbagai dampak secara alami berdampak pada lokasi topografi, kondisi batuan, keadaan tanah, bentuk geologi, intensitas hujan, air tanah, dan gempa bumi (Muddarisna et al., 2019). Bencana longsor yang terjadi disebabkan karena lemahnya tanah yang mengalami pergeseran dan dampak dari geologi dan geografi berada di gunung lebih banyak dalam kondisi tanah lapuk dan lanskap vulkanik. Bencana longsor ini berpotensi mengalami besarnya keadaan tanah sehingga tidak mampu konsolidasi.

Terlebih utama ketika hujan turun disebabkan adanya air yang Tingkat kadarnya semakin tinggi dan mengalami turunnya karena tanah yang geser terlalu kuat. Air dengan kadar yang tinggi menjadikan penyebab adanya kohesi setiap komponen tanah berkurang, sehingga tanah menjadi lebih lemah (Ly & Pham, 2020). Terjadinya longsor saluran irigasi Air Manjuto BM KN 2 - BM KN 3.

Pada tahun 2023, terjadi longsor sepanjang 60 meter di saluran primer Daerah Irigasi Air Manjuto, Desa Lalang Luas, Kecamatan V Koto, Kabupaten Mukomuko, Provinsi Bengkulu. Longsor setinggi 15 meter dari Bangunan Manjuto (BM) 2 ke BM 3 menyebabkan aliran air ke saluran primer, sekunder, dan tersier terhenti total. Salah satu penyebab utama adalah gerusan dari box culvert yang patah di bawah saluran primer serta skoring akibat aliran air pada tanah pendukung saluran (pipping). Salah satu alternatif perkuatan lereng yang dapat diterapkan adalah penggunaan geomat erosion control, yaitu media yang digunakan untuk menanggulangi erosi permukaan akibat air dan angin. Geomat erosion control memiliki keunggulan seperti kemudahan dalam pelaksanaan, peningkatan stabilitas lereng secara efektif, dan biaya yang relatif murah. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas tanah pada saluran irigasi Air Manjuto (BM KN 2 - BM KN 3).

Setiap pembangunan infrastruktur sipil, khususnya fondasi, memerlukan analisis sifat tanah terlebih dahulu agar struktur yang dibangun dapat berdiri kokoh dan stabil. Pengujian lapangan sangat diperlukan untuk merencanakan fondasi yang sesuai dengan kondisi fisik tanah di suatu lokasi. Perencanaan fondasi yang kurang tepat dapat menyebabkan kegagalan struktur dan keruntuhan bangunan di atasnya. Oleh karena itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi perbandingan daya dukung tanah menggunakan hasil sondir pada saluran irigasi Air Manjuto (BM KN 2 - BM KN 3) di Mukomuko guna memastikan keberlanjutan dan keamanan infrastruktur yang ada.

Kondisi geoteknik suatu wilayah sangat memengaruhi kelayakan dan keamanan struktur infrastruktur, terutama pada daerah rawan longsor seperti kawasan saluran irigasi Air Manjuto. Pengaruh geologi lokal, curah hujan tinggi, dan sistem aliran air bawah tanah dapat mempercepat proses erosi serta menurunkan daya dukung tanah secara signifikan. Oleh karena itu, studi kestabilan lereng menjadi sangat penting untuk dilakukan secara komprehensif, termasuk melalui pengujian langsung di lapangan dan pemodelan numerik yang presisi. Upaya mitigasi melalui rekayasa teknik seperti penguatan lereng, pengendalian drainase, serta penggunaan sistem proteksi lereng modern menjadi sangat relevan dalam konteks ini.

Dalam praktiknya, salah satu metode yang sering digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah uji sondir atau Cone Penetration Test (CPT). Uji ini memberikan informasi penting mengenai daya dukung tanah dan distribusi lapisan tanah di bawah permukaan. Data hasil uji CPT kemudian dapat dimasukkan ke dalam perangkat lunak geoteknik seperti GEO5, yang memiliki kemampuan untuk menganalisis kestabilan lereng menggunakan berbagai metode perhitungan, seperti Bishop, Janbu, Spencer, Morgenstern-Price, dan Fellenius. Setiap metode memiliki pendekatan matematis yang berbeda, sehingga memungkinkan untuk melakukan komparasi hasil dan meningkatkan akurasi dalam penilaian tingkat keamanan lereng.

Analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perencanaan perbaikan dan penanggulangan bencana geoteknik secara menyeluruh. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada perhitungan nilai faktor keamanan (FS), tetapi juga mengkaji dampak perubahan geometri lereng terhadap peningkatan kestabilan tanah. Dengan pendekatan multidisiplin antara uji lapangan dan pemodelan teknis, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan teknis dalam upaya rehabilitasi infrastruktur irigasi serta pencegahan bencana longsor di wilayah sekitar saluran

Air Manjuto. Pendekatan ini juga dapat diterapkan pada proyek serupa di daerah lain yang memiliki karakteristik tanah dan topografi sebanding.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada saluran irigasi Air Manjuto (BM KN 2 – BM KN 3) di Kabupaten Mukomuko. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data geoteknik melalui uji Cone Penetration Test (CPT) dan observasi lapangan, serta analisis numerik menggunakan perangkat lunak GEO5. Data dari uji CPT digunakan untuk memperoleh parameter teknis tanah, seperti tahanan ujung (q_c), tahanan geser (f_s), dan rasio gesekan (R_f), yang kemudian dimasukkan ke dalam model lereng untuk perhitungan nilai faktor keamanan (Safety Factor/FS) berdasarkan beberapa metode perhitungan.

Pengumpulan Data

Uji Cone Penetration Test (CPT) dilakukan dengan menekan konus berdiameter tertentu ke dalam tanah secara vertikal menggunakan kecepatan konstan. Sensor pada alat mencatat nilai q_c , f_s , dan R_f , yang merepresentasikan kekuatan tanah terhadap beban vertikal, gesekan antara tanah dan alat, serta jenis klasifikasi tanah. Selain itu, dilakukan pengamatan lapangan untuk mengetahui kondisi fisik lereng, termasuk geometri longsoran, pola retakan, dan karakteristik lingkungan sekitar.

Pengolahan Data

Data hasil CPT diolah untuk menentukan parameter kuat geser tanah. Perhitungan meliputi:

- $q_c = C_w$ (tahanan ujung konus)
- $f_s = K_w \times A_{pi}/A_s$ (tahanan geser lokal)
- $R_f = (f_s/q_c) \times 100\%$
- T_f total dihitung secara kumulatif per kedalaman 20 cm

Profil tanah berdasarkan hasil CPT digunakan untuk menentukan distribusi lapisan dan nilai parameter teknis yang dimasukkan dalam model lereng.

Analisis Stabilitas Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak GEO5 dengan pendekatan keseimbangan batas. Tahapan analisis meliputi:

1. Pemodelan geometri lereng dan definisi parameter tanah.
2. Penentuan permukaan gelincir awal (sirkular atau poligonal) berdasarkan karakteristik tanah.
3. Pemilihan metode analisis, yaitu Bishop, Janbu, Spencer, dan Morgenstern-Price.
4. Perhitungan nilai FS menggunakan mode optimasi untuk memperoleh permukaan gelincir kritis.

Metode Bishop digunakan sebagai acuan utama karena bersifat konservatif, sedangkan metode lainnya digunakan untuk verifikasi silang. Hasil FS dari setiap metode dibandingkan untuk menilai tingkat stabilitas lereng berdasarkan standar minimum $FS \geq 1,50$.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil Penelitian

Evaluasi stabilitas tanah akan dilakukan melalui metode penyondiran. Hasil sondir yang diperoleh akan dianalisis untuk menilai stabilitas lereng yang mengalami longsor menggunakan software GEO5 2019. Penelitian ini berlokasi di Saluran Irigasi Air Manjuto, Desa Lubuk Cabau, Kecamatan V Koto, Kabupaten Mukomuko, Provinsi Bengkulu.

Uji Sondir

Pengujian tanah dilakukan menggunakan metode Cone Penetration Test (CPT) atau uji sondir pada dua titik, yaitu titik sondir S-1 dengan kedalaman 8,20 meter dan titik sondir S-2 dengan kedalaman 9,40 meter. Hasil analisis uji sondir didasarkan pada titik S-2, karena memiliki

kedalaman yang lebih besar sehingga lebih representatif dalam menggambarkan kondisi tanah di lokasi penelitian. Analisis ini digunakan untuk menentukan daya dukung tanah.

Pengujian sondir pada titik S-1 menunjukkan bahwa nilai hambatan konus (q_c) meningkat secara bertahap dari kedalaman 0,20 meter hingga 8,20 meter. Pada kedalaman 0,20 meter, q_c tercatat sebesar 2 kg/cm² dengan hambatan pelekat (f) sebesar 2 kg/cm, menghasilkan nilai friction ratio sebesar 10%, yang mengindikasikan kondisi tanah lepas dengan kohesi rendah. Semakin dalam, nilai q_c meningkat menjadi 150 kg/cm² pada kedalaman 8,00 meter, dengan nilai f mencapai 20 kg/cm, menunjukkan lapisan tanah yang lebih padat dan berdaya dukung lebih tinggi.

Jumlah hambatan pelekat (JHP), yang merupakan akumulasi hambatan geser tiap 20 cm, juga mengalami peningkatan signifikan, dari 4 kg/cm di kedalaman 0,20 meter menjadi 632 kg/cm di kedalaman 8,00 meter. Hambatan setempat (F_s) tercatat bervariasi antara 0,2 – 2,0 kg/cm², tergantung pada variasi f dan kedalaman. Friction ratio secara umum menurun seiring bertambahnya kedalaman, dari nilai tertinggi 10% pada permukaan hingga sekitar 1,2 – 1,3% pada lapisan bawah, mencerminkan peningkatan kekompakan dan kekuatan geser tanah.

Sama halnya dengan titik S-1, pengujian pada titik S-2 menunjukkan pola peningkatan nilai q_c seiring kedalaman. Di kedalaman 0,20 meter, nilai q_c sebesar 2 kg/cm² dengan nilai f sebesar 2 kg/cm, dan friction ratio sebesar 10%, menunjukkan kondisi tanah permukaan yang lunak. Nilai q_c meningkat secara progresif hingga mencapai 168 kg/cm² pada kedalaman 9,00 meter, disertai nilai f sebesar 20 kg/cm, yang mengindikasikan lapisan tanah yang semakin padat dan lebih kohesif.

Jumlah hambatan pelekat (JHP) meningkat dari 4 kg/cm di permukaan menjadi 810 kg/cm di kedalaman 9,00 meter. Hambatan setempat (F_s) juga naik dari 0,2 kg/cm² menjadi 2,0 kg/cm². Friction ratio mengalami penurunan dari nilai awal 10% hingga sekitar 1,08% pada lapisan dalam, menandakan bahwa material tanah pada kedalaman tersebut memiliki friksi internal yang lebih kecil terhadap daya dukung total konus, namun mencerminkan konsistensi tanah yang lebih padat dan stabil.

Kedua titik sondir (S-1 dan S-2) menunjukkan karakteristik tanah yang relatif serupa, dengan peningkatan konsistensi dan kekuatan geser seiring bertambahnya kedalaman. Nilai friction ratio yang tinggi pada lapisan atas menunjukkan dominasi tanah kohesif lunak seperti lempung, sementara penurunan nilai tersebut di kedalaman >5 meter menunjukkan kemungkinan adanya lapisan pasir padat atau lanau berstruktur lebih kaku. Hal ini penting dalam analisis stabilitas lereng dan perencanaan perkuatan lereng seperti geomat erosion control.

Hasil analisis data sondir dan pengolahan parameter mekanika tanah pada lokasi penelitian mengindikasikan variasi jenis tanah, nilai konus (q_c), friction ratio (FR), berat satuan tanah (γ), dan kohesi (c_u) berdasarkan kedalaman sebagai berikut:

1. Kedalaman 0,00 – 3,40 meter

Pada lapisan permukaan ini, nilai rata-rata hambatan konus (q_c) tercatat sebesar **19,277 kg/cm²** atau setara dengan **1.890,50 kPa**, dengan **friction ratio** rata-rata sebesar **2,38%**. Nilai cone resistance (q_t/p_a) sebesar **18,65** mengindikasikan tanah lempung dengan konsistensi **tidak padat**. Berdasarkan rumus klasifikasi berat satuan tanah oleh Robertson et al. (1986), diperoleh berat satuan tanah sebesar **17,95 kN/m³**, yang menunjukkan tanah dengan densitas rendah. Nilai kohesi (c_u) dihitung dari hambatan geser lokal sebesar **7 kg/cm²**, menghasilkan kohesi sebesar **5,79 kPa**, mengindikasikan tanah lunak dan plastis.

2. Kedalaman 3,40 – 5,60 meter
Pada kedalaman menengah ini, nilai rata-rata qc meningkat signifikan menjadi **44,5 kg/cm²** atau **4.363,96 kPa**, dengan FR menurun menjadi **1,71%**. Cone resistance juga mengalami peningkatan menjadi **43,07**, yang menunjukkan peralihan komposisi tanah menjadi **lempung lanauan** dengan kondisi **agak padat**. Hasil klasifikasi berat satuan tanah menunjukkan peningkatan densitas menjadi **18,87 kN/m³**, sementara nilai kohesi yang dihitung dari fs sebesar **15,17 kg/cm²**, menghasilkan nilai cu sebesar **12,53 kPa**. Lapisan ini memiliki potensi dukung yang lebih baik dibanding lapisan atas.
3. Kedalaman 5,60 – 9,40 meter
Pada kedalaman ini, tanah menunjukkan konsistensi yang semakin padat dengan nilai qc rata-rata sebesar **109,3 kg/cm²** atau **10.718,67 kPa**. Nilai FR lebih rendah yaitu **1,50%**, sedangkan cone resistance meningkat menjadi **105,79**, yang menandakan jenis tanah **pasir lanauan** dengan kondisi **agak padat** dan daya dukung tinggi. Berdasarkan perhitungan berat satuan tanah, nilai γ mencapai **20,12 kN/m³**, yang menunjukkan peningkatan kepadatan signifikan. Nilai kohesi yang dihitung dari fs sebesar **30,9 kg/cm²**, menghasilkan cu sebesar **25,54 kPa**, mencerminkan daya ikat antar butir tanah yang tinggi dan kestabilan yang lebih baik.

Analisis Menggunakan Software GEO5 2019

Proses analisis kestabilan lereng diawali dengan konfigurasi awal pada perangkat lunak GEO5. Langkah pertama dilakukan dengan membuka menu *Project* dan memastikan sistem satuan yang digunakan adalah sistem metrik untuk menjaga konsistensi data dan hasil perhitungan. Pengaturan selanjutnya dilakukan melalui menu *Setting* dengan memilih opsi “Standard Safety Factor” sebagai standar perhitungan faktor keamanan (FS) dalam analisis kestabilan lereng. Setelah konfigurasi awal, proses pemodelan geometri lereng dilakukan dengan mengimpor data lereng dari AutoCAD melalui format DXF (*Drawing Exchange Format*) ke dalam template GEO5. Geometri lereng awal yang dianalisis memiliki sudut kemiringan sebesar 45°, dan pemodelan disempurnakan melalui menu *Interface* untuk memastikan kesatuan garis dan akurasi bentuk lereng sesuai kondisi lapangan.

Tahap berikutnya adalah memasukkan data karakteristik tanah melalui menu *Soil*. Proses ini mencakup input parameter seperti jenis tanah, berat jenis (γ), sudut geser dalam (ϕ), dan kohesi (c), berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Tiga jenis lapisan tanah dimodelkan sesuai dengan profil geoteknik lokasi penelitian. Setiap lapisan tanah kemudian ditempatkan pada model melalui menu *Assign*, yang memungkinkan pengguna menetapkan parameter tanah secara tepat pada area lereng yang sesuai. Setelah pemodelan dan pengisian data tanah selesai, analisis kestabilan dilakukan pada lereng dengan kemiringan 45° menggunakan berbagai metode, yaitu Bishop (FS = 1.43), Fellenius/Petterson (FS = 1.37), Spencer (FS = 1.42), Janbu (FS = 1.42), dan Morgenstern-Price (FS = 1.42). Hasil menunjukkan bahwa seluruh nilai FS masih berada di bawah ambang batas rekomendasi, yaitu 1.50, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap geometri lereng.

Sebagai langkah mitigasi, dilakukan modifikasi sudut kemiringan lereng dari 45° menjadi 35° dengan menggunakan menu *Geometry* pada perangkat lunak GEO5. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan nilai FS agar memenuhi standar keamanan. Parameter tanah sebelumnya tetap dipertahankan untuk menjaga konsistensi analisis. Hasil simulasi dengan geometri baru menunjukkan peningkatan nilai FS yang signifikan, di mana semua metode analisis menghasilkan $FS \geq 1.65$. Perubahan geometri ini terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng, menjadikannya sebagai solusi teknis yang layak sebelum mempertimbangkan alternatif metode perkuatan tambahan seperti geotekstil, sistem drainase, atau perbaikan sifat tanah. Secara keseluruhan, penggunaan software GEO5 memberikan kemudahan dalam simulasi, validasi, dan evaluasi alternatif desain geometri lereng secara kuantitatif dan efisien.

Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak GEO5, modifikasi geometri lereng dari kemiringan 45° menjadi 35° terbukti memberikan peningkatan signifikan terhadap kestabilan lereng. Evaluasi yang dilakukan dengan berbagai metode analisis, yaitu Bishop, Fellenius/Petterson, Spencer, Janbu, dan Morgenstern-Price, menunjukkan konsistensi hasil dalam menggambarkan pengaruh perubahan sudut terhadap nilai faktor keamanan (Factor of Safety/FS). Metode Bishop menghasilkan FS sebesar 1,73, sementara metode Spencer, Janbu, dan Morgenstern-Price masing-masing menunjukkan nilai FS sebesar 1,72. Nilai-nilai tersebut melebihi ambang batas standar keamanan menurut SNI ($FS \geq 1,50$), sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng dengan kemiringan 35° berada dalam kondisi stabil dan memenuhi kriteria keamanan yang ditetapkan. Di sisi lain, metode Fellenius/Petterson menghasilkan nilai FS sebesar 1,65, yang meskipun lebih rendah dibandingkan metode lainnya, tetap berada di atas batas minimum keamanan, menunjukkan bahwa lereng telah mencapai kondisi aman secara teknis.

Tabel 4.4 Hasil Analisa Stabilitas Lereng 45° dan 35°

Metode Perhitungan	FS (Factor of Safety) Kemiringan 45°	Standar SNI (FS ≥ 1.50)	FS (Factor of Safety) Kemiringan 35°	Standar SNI (FS ≥ 1.50)
<i>Bishop</i>	1.43	Tidak Aman	1.73	Aman
<i>Fellenius/Petterson</i>	1.37	Tidak Aman	1.65	Aman
<i>Spencer</i>	1.42	Tidak Aman	1.72	Aman
<i>Janbu</i>	1.42	Tidak Aman	1.72	Aman
<i>Morgenstern-Price</i>	1.42	Tidak Aman	1.72	Aman

Sumber : Hasil Pengolahan Data 2024

Perbedaan nilai FS antar metode dapat dijelaskan melalui pendekatan dan asumsi matematis yang diterapkan dalam setiap teknik analisis. Metode Bishop, Spencer, Janbu, dan Morgenstern-Price mengintegrasikan pendekatan numerik dan distribusi tegangan yang lebih kompleks, sehingga cenderung menghasilkan estimasi yang lebih konservatif dan realistis dibandingkan metode Fellenius/Petterson yang menggunakan pendekatan sederhana dan linier. Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa pengurangan sudut lereng merupakan strategi efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng tanpa memerlukan intervensi struktural tambahan seperti dinding penahan atau perkuatan geotekstil.

IV. PENUTUP
Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan *Software Geo5 2019* pada segmen BM KN 2 - BM KN 3 dari saluran irigasi Air Manjuto menggunakan berbagai metode perhitungan faktor keamanan (FS), serta mengacu pada standar SNI, dapat disimpulkan bahwa: 1. Stabilitas lereng dengan kemiringan 45° Seluruh metode perhitungan (*Bishop, Fellenius/Petterson, Spencer, Janbu, dan Morgenstern-Price*) menunjukkan nilai FS di bawah standar SNI ($FS \geq 1.50$). Berdasarkan tabel rekomendasi nilai faktor keamanan SNI, kondisi ini termasuk tidak aman, terutama untuk kondisi permanen. Tingkat ketidakpastian kondisi geologi dan tanah perlu dipertimbangkan dalam evaluasi lebih lanjut. 2. Stabilitas lereng dengan kemiringan 35°. Semua metode perhitungan menunjukkan nilai FS di atas standar SNI ($FS \geq 1.50$). Berdasarkan rekomendasi SNI, lereng dengan FS di atas 1.50 dapat dikategorikan sebagai aman untuk kondisi permanen. Penurunan sudut lereng dari 45° menjadi 35° secara signifikan meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa lereng dengan kemiringan 45° berisiko tidak stabil

dan tidak memenuhi standar faktor keamanan SNI. Penurunan kemiringan lereng menjadi 35° secara signifikan meningkatkan faktor keamanan dan menjadikannya lebih stabil. Oleh karena itu, untuk memastikan kestabilan jangka panjang, disarankan agar lereng dengan kemiringan 45° segera diperbaiki, baik dengan cara mengurangi kemiringan atau melakukan penguatan pada struktur lereng. Sementara itu, lereng dengan kemiringan 35° dapat dianggap aman, meskipun tetap perlu dilakukan pemantauan terhadap perubahan kondisi geologi atau lingkungan yang dapat memengaruhi stabilitas lereng.

REFERENSI

- 1 Amri, N., Dharmawansyah, D., & Hermansyah, H. H. (2021). Perbandingan metode Bishop dan Janbu dalam analisis stabilitas lereng pada oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 2(1), 20–33.
- 2 Anagnostopoulus, A., Papageorgiou, A., & Michalopoulos, D. (2003). Korelasi untuk kohesi tak terdrainasi tanah lempung [Correlations for undrained cohesion of clay].
- 3 Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017). Jakarta: BSN.
- 4 Dara, T., & Rahmadani, R. (2022). Analisis stabilitas tanah lereng dengan perkuatan sheet pile menggunakan Plaxis V.8 dan metode Fellenius. *Repository.Unissula.ac.id*.
- 5 Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- 6 Halim, J. B. (2020). Analisis dinding penahan tanah di daerah aliran sungai dengan menggunakan program MIDAS GTS NX. *JMTS*, 3(4), 1067–1076.
- 7 Juliana, N., & Tarbiyatno. (2019). Hubungan daya dukung tanah berdasarkan hasil sondir, SPT dan laboratorium pada rencana pembangunan gedung multi lantai di lokasi Balige. *Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan dan Sipil*, 5(2), 45–49.
- 8 Krisantos, R. B., & Sianto, P. (2022). Penyelidikan tanah menggunakan metode uji sondir. *Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 50–58.
- 9 Mahmudi, A. (2023). Analisis hasil pengujian sondir untuk mengetahui kapasitas dukung dan penurunan pondasi tiang pancang dan bore pile terhadap variasi dimensi di lokasi UBHARA Surabaya. *Inter Tech*, 1(1), 43–51.
- 10 Measurement, Atmospheric Pressure, & Mercury Barometer. (2013). In *The Weather Observer's Handbook* (Vol. 27, No. 4, pp. 44–44). Reference Reviews.
- 11 Medgaranti. (2019). Sejarah Bendungan Air Manjuto dan dampaknya terhadap perekonomian masyarakat Lubuk Pinang Muko-Muko Bengkulu 1989–2019.
- 12 Nahak, M. (2017). Bab II tinjauan pustaka dan landasan teori. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 21–25.
- 13 Nation. (2001). Analisis hasil pengujian sondir untuk mengetahui peningkatan kekuatan tanah sangat lunak di lokasi gate house dalam pekerjaan “Grouting at Semarang Pumping Station & Retarding Pond.” *Journal of the American Chemical Society*, 123(10), 2176–2181.
- 14 No, A., No, A., & No, A. (2020). Inputting geometry and other parameters.
- 15 Nurwansyah. (2022). Analisis stabilitas lereng timbunan perkuatan geotextile dengan metode limit equilibrium dan finite element pada ruas jalan Planjan–Baron–Tepus STA 8+800 s/d 9+675.
- 16 Notoatmodjo, S. (2012). *Promosi kesehatan & ilmu perilaku*. Rineka Cipta.
- 17 Nurcahyo, M. W. A. (2019). Evaluasi stabilitas dan deformasi tanah lunak pada pembangunan basement. <http://repository.unej.ac.id/>
- 18 Nurhidayah, S. (2020). [No title]. *SELL Journal*, 5(1), 55.

- 19 Robertson, P. K., & Cabal, K. L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. In *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing* (May), 1–8.
- 20 Ridhayani, I., & Saputra, I. (2021). Studi analisis daya dukung tanah berdasarkan data sondir di Kampus Padhang-Padhang Universitas Sulawesi Barat. *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 3(2), 37–42.
- 21 Renata, V., Prihatiningsih, A., & Tim Tarumanagara. (2022). Variasi konsistensi tanah asli dan tanah timbunan. *Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), 391–400.
- 22 Rangan, R., Dendo, R., Matana, H., Manga, J., Honta, Z. L., Kalapadang, E., Lotim, Y. B., Pasarrin, Y., & Kunci, K. (2021). Stabilisasi tanah dengan menggunakan calcium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan tawas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. *Journal Dynamic saint*, 6(2), 22–34.
- 23 Sadewi, B. P. (2009). Bab IV hasil dan pembahasan. *Pengaruh Penambahan Aditif Polistiren pada Karakteristik Semen Gaggi Zinc Oxide Euganol Secara In Vivo*, 5(3), 1–4.
- 24 Saragi, Y., Bernandus, R., & Sidabutar, R. A. (2023). Korelasi nilai hambatan konus terhadap parameter rembesan dalam aplikasinya pada dinding penahan tanah. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 4(2), 151–160.
- 25 Solin, D. P., & Estikhamah, F. (2021). Investigation of relationship between cone penetration test and unit weight in cohesive soil (Study Case: Gunung Anyar District). *E3S Web of Conferences*, 328, 02003, 1–4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132802003>
- 26 Ummah, M. S. (2019). Penanganan alternatif tanah pasca longsor pada timbunan jalan tol. *Sustainability (Switzerland)*, 11(1), 1–14.
- 27 Waani, J. E., Ticoh, J. H., Mandagi, A. T., & Supit, C. J. (2022). Studi daya dukung ijin tanah berdasarkan hasil uji sondir di lokasi Kel. Malalayang, Area Perum Aleandrew, Manado, 20(April), 139–14