E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 2390 - 2414
Volume 3 Nomor 3 Tahun 2026

Stabilitas Lereng Menggunakan Metode *Fellenius* Dan *Bishop Simplified Penstock* PLTM Padang Guci - 2 Bengkulu

Nawan[1], Raka Surya Pradana[2], Riski Wahyudi[3], Muhammad Nur Ikhsan[4], Januari Yanto[5]

[1,2,3,4,5]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tangerang Raya

e-mail: menawan11@gmail.com, raka.suryapradana@untara.ac.id, riskiwahyudi@untara.ac.id , m.nurikhsan@untara.ac.id, januari.yanto@untara.ac.id

Abstrak

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Padang Guci-2 memerlukan analisis kestabilan lereng karena area *penstock* berada pada wilayah perbukitan dengan kondisi geologi yang berpotensi mengalami kelongsoran. Ketidakstabilan lereng dapat mengganggu proses konstruksi dan operasional pembangkit, sehingga diperlukan evaluasi terhadap tingkat keamanan lereng berdasarkan kondisi geoteknik setempat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi stratigrafi dan karakteristik tanah pada area *penstock* berdasarkan hasil investigasi lapangan dan pengujian laboratorium, menentukan nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS) menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*, serta mengevaluasi tingkat kestabilan lereng berdasarkan SNI 8460:2017. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*/LEM). Investigasi geoteknik dilakukan pada lima titik pengeboran, yaitu BH-01 sampai BH-05, dengan kedalaman penyelidikan hingga 30 m. Data hasil *Standard Penetration Test* (SPT), pengujian laboratorium, kondisi muka air tanah, parameter geoteknik, dan geometri lereng digunakan sebagai dasar analisis menggunakan metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slices*) dan *Bishop Simplified*. Hasil investigasi menunjukkan bahwa lapisan penyusun lereng terdiri atas *clay, silty clay, gravelly clay, gravelly silt, clayey gravel, residual soil*, dan *colluvial*, serta ditemukan lapisan *claystone* pada kedalaman yang lebih besar. Nilai SPT secara umum meningkat seiring bertambahnya kedalaman, yang menunjukkan peningkatan kepadatan dan kekuatan

material pada lapisan bawah. Analisis kestabilan lereng menghasilkan nilai FoS sebesar 2,04 menggunakan metode *Fellenius* dan 2,44 menggunakan metode *Bishop Simplified*. Kedua nilai tersebut lebih besar dari nilai minimum 1,50 untuk kondisi statis berdasarkan SNI 8460:2017. Lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 dinyatakan stabil pada kondisi statis karena nilai FoS dari kedua metode memenuhi kriteria keamanan yang ditetapkan. Meskipun demikian, pemeliharaan sistem drainase permukaan dan bawah permukaan serta pemantauan kondisi lereng secara berkala tetap diperlukan untuk mengurangi infiltrasi air dan menjaga kestabilan lereng dalam jangka panjang.

Kata kunci: kestabilan lereng, faktor keamanan, *Fellenius*, *Bishop Simplified*, PLTM Padang Guci-2.

Abstract

The construction of the Padang Guci-2 Mini Hydropower Plant (PLTM) requires a slope stability analysis because the *penstock* area is located in hilly terrain with geological conditions that have the potential to cause slope failure. Slope instability can disrupt the construction process and the operation of the power plant; therefore, an evaluation of the slope safety level based on local geotechnical conditions is required. This study aims to determine the stratigraphy and soil characteristics in the *penstock* area based on field investigations and laboratory testing, determine the Factor of Safety (FoS) using the *Fellenius* and *Bishop Simplified* methods, and evaluate the slope stability level based on SNI 8460:2017. The study employed a quantitative approach using the *Limit Equilibrium Method* (LEM). Geotechnical investigations were conducted at five boreholes, namely BH-01 to BH-05, with an investigation depth of up to 30 m. Data from the Standard Penetration Test (SPT), laboratory testing, groundwater conditions, geotechnical parameters, and slope geometry were used as the basis for the analysis using the *Fellenius* (*Ordinary Method of Slices*) and *Bishop Simplified* methods. The investigation results showed that the slope materials consisted of clay, silty clay, gravelly clay, gravelly silt, clayey gravel,

residual soil, and colluvial materials, with a *claystone* layer encountered at greater depths. The SPT values generally increased with increasing depth, indicating higher density and strength of the underlying materials. The slope stability analysis resulted in a FoS of 2.04 using the *Fellenius* method and 2.44 using the *Bishop Simplified* method. Both values exceeded the minimum value of 1.50 for static conditions specified in SNI 8460:2017. The slope in the *penstock* area of PLTM Padang Guci-2 is therefore classified as stable under static conditions, as the FoS values obtained from both methods meet the specified safety criteria. Nevertheless, maintenance of the surface and subsurface drainage systems, as well as periodic slope monitoring, is still required to reduce water infiltration and maintain long-term slope stability.

Keywords: slope stability, factor of safety, *Fellenius*, *Bishop Simplified*, PLTM Padang Guci-2.

LATAR BELAKANG

Kestabilan lereng merupakan salah satu aspek penting dalam rekayasa geoteknik karena berkaitan langsung dengan keamanan infrastruktur yang dibangun pada wilayah dengan topografi berbukit atau memiliki kemiringan lereng yang relatif curam. Ketidakstabilan lereng dapat menyebabkan deformasi tanah, longsoran, kerusakan infrastruktur, serta gangguan terhadap kegiatan konstruksi dan operasional. Oleh karena itu, analisis kestabilan lereng diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan lereng dan mengevaluasi potensi terjadinya kelongsoran berdasarkan kondisi geometri, karakteristik material, dan kondisi hidrogeologi setempat.

Permasalahan kestabilan menjadi lebih kompleks pada wilayah tropis karena banyak lereng tersusun atas tanah residual yang terbentuk melalui proses pelapukan batuan secara intensif. Karakteristik tanah residual tropis sangat dipengaruhi oleh jenis batuan induk, iklim, topografi, tingkat pelapukan, dan umur pembentukannya. Kondisi tersebut dapat menghasilkan profil tanah yang heterogen serta memiliki perubahan sifat geoteknik terhadap kedalaman. Selain itu, tanah residual pada daerah tropis umumnya

mengalami perubahan kondisi kadar air akibat siklus hujan dan infiltrasi, sehingga tekanan air pori dan tegangan efektif dapat berubah dan selanjutnya memengaruhi kuat geser serta kestabilan lereng. Penelitian mengenai tanah residual tropis di Pahang, Malaysia, menunjukkan bahwa kondisi kejenuhan dan *matric suction* dapat memengaruhi nilai faktor keamanan lereng secara signifikan.

Analisis kestabilan lereng dapat dilakukan dengan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*/LEM), salah satunya melalui metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slices*) dan *Bishop Simplified*. Metode *Fellenius* merupakan metode irisan yang relatif sederhana dengan mengabaikan gaya antaririsan dalam perhitungan, sedangkan metode *Bishop Simplified* mempertimbangkan keseimbangan momen dan pengaruh gaya normal antaririsan sehingga dapat memberikan pendekatan yang berbeda terhadap nilai faktor keamanan. Kedua metode tersebut banyak digunakan untuk menganalisis bidang gelincir berbentuk melingkar dan dapat digunakan sebagai pendekatan komparatif dalam mengevaluasi kestabilan lereng.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya perbedaan nilai faktor keamanan yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Zolkepli, Ishak, dan Zaini (2018) melakukan analisis kestabilan pada tanah residual tropis di Pahang, Malaysia, dengan membandingkan metode *Fellenius* dan *Bishop*. Pada kondisi jenuh, metode *Fellenius* menghasilkan FoS sebesar 1,199, sedangkan metode *Bishop* menghasilkan FoS sebesar 1,262. Pada kondisi tidak jenuh dengan *matric suction* 20 kPa, nilai FoS masing-masing sebesar 1,492 dan 1,550. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *Bishop* menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dibandingkan metode *Fellenius*, dengan perbedaan yang dipengaruhi oleh pendekatan keseimbangan yang digunakan.

Penelitian lain mengenai ketidakstabilan lereng tanah residual akibat hujan menunjukkan bahwa peningkatan intensitas hujan dapat menurunkan *matric suction* dan selanjutnya menurunkan faktor keamanan lereng. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa faktor air tidak dapat dipisahkan dari evaluasi kestabilan lereng pada wilayah tropis, khususnya pada lereng yang tersusun atas tanah residual dan berada pada lingkungan dengan curah hujan relatif tinggi. Pada penelitian tersebut, metode *Fellenius* digunakan

untuk mengevaluasi perubahan faktor keamanan berdasarkan kondisi *matric suction* yang dipengaruhi oleh curah hujan.

Studi-studi tersebut memperlihatkan bahwa penggunaan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified* dapat memberikan nilai faktor keamanan yang berbeda, meskipun parameter tanah dan geometri lereng yang digunakan sama. Namun, penelitian mengenai tanah residual tropis sebelumnya lebih banyak menitikberatkan pada pengaruh kondisi jenuh–tidak jenuh, *matric suction*, atau pengaruh curah hujan terhadap kestabilan lereng. Sementara itu, kajian yang secara khusus membandingkan kedua metode tersebut berdasarkan kondisi geoteknik aktual pada area infrastruktur pembangkit listrik tenaga minihidro, dengan mempertimbangkan hasil investigasi beberapa titik pengeboran, karakteristik stratigrafi, nilai SPT, parameter kuat geser, geometri lereng, dan kondisi muka air tanah, masih perlu dikaji lebih lanjut.

Pada pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Padang Guci-2 di Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu, area *penstock* berada pada wilayah perbukitan dengan kondisi lereng yang relatif curam. Berdasarkan observasi lapangan, ditemukan indikasi ketidakstabilan berupa retakan tanah, deformasi permukaan lereng, rembesan air, serta longsoran yang menyebabkan perubahan posisi jalur pipa *penstock* sekitar ±15–20 m ke arah utara. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi kestabilan lereng diperlukan untuk mengetahui tingkat keamanan lereng berdasarkan kondisi geoteknik aktual di lokasi penelitian.

Hasil investigasi geoteknik pada area penelitian menunjukkan adanya variasi material penyusun lereng, antara lain clay, silty clay, gravelly clay, gravelly silt, clayey gravel, residual soil, dan colluvial, serta lapisan *claystone* pada kedalaman yang lebih besar. Nilai Standard Penetration Test (SPT) secara umum menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kedalaman, yang mengindikasikan adanya perubahan kepadatan dan kekuatan material pada lapisan bawah. Kondisi stratigrafi yang heterogen tersebut menjadi salah satu pertimbangan penting dalam menentukan parameter geoteknik yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Kedua metode diterapkan menggunakan parameter geoteknik dan geometri lereng yang sama sehingga hasil faktor keamanan dapat dibandingkan secara langsung. Selanjutnya, hasil analisis dievaluasi berdasarkan kriteria faktor keamanan dalam SNI 8460:2017. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kestabilan lereng pada area *penstock* sekaligus menunjukkan perbedaan hasil analisis antara metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified* pada kondisi geoteknik lokasi penelitian.

Kestabilan Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah atau batuan yang memiliki kemiringan tertentu dan dapat terbentuk secara alami maupun akibat aktivitas konstruksi. Kestabilan lereng ditentukan oleh keseimbangan antara gaya penggerak (*driving forces*) dan gaya penahan (*resisting forces*). Gaya penggerak terutama berasal dari berat massa tanah, kemiringan lereng, beban tambahan, serta pengaruh air, sedangkan gaya penahan terutama dipengaruhi oleh kuat geser tanah. Apabila gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahan, maka lereng berpotensi mengalami keruntuhan atau longsor.

Pada area *penstock*, kondisi lereng menjadi penting karena perubahan kestabilan dapat berdampak langsung terhadap jalur pipa dan infrastruktur pendukung. Dalam penelitian ini, kondisi lapangan menunjukkan adanya indikasi ketidakstabilan berupa retakan tanah, deformasi permukaan, rembesan air, serta longsoran yang menyebabkan perubahan posisi jalur *penstock*.

Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan tegangan geser yang bekerja pada bidang tertentu. Parameter utama yang digunakan dalam menentukan kuat geser tanah adalah kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Kedua parameter tersebut menjadi dasar dalam menentukan kemampuan tanah menahan gaya penggerak pada bidang gelincir.

Menurut konsep Mohr-Coulomb, kuat geser tanah dipengaruhi oleh tegangan efektif, kohesi, dan sudut geser dalam. Tegangan efektif dipengaruhi oleh tekanan air pori. Peningkatan tekanan air pori akibat infiltrasi air hujan atau kenaikan muka air tanah dapat menurunkan tegangan efektif sehingga kuat geser tanah berkurang dan potensi kelongsoran meningkat. Oleh karena itu, kondisi air tanah merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kestabilan lereng.

Parameter Tanah dan Kondisi Geoteknik

Karakteristik material penyusun lereng merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi kestabilan. Berdasarkan hasil investigasi geoteknik pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2, lapisan tanah didominasi oleh *clay, silty clay, gravelly clay, residual soil*, dan *colluvial*, sedangkan pada kedalaman yang lebih besar ditemukan lapisan *claystone*. Nilai N-SPT juga menunjukkan kecenderungan meningkat terhadap kedalaman yang mengindikasikan peningkatan kepadatan dan kekuatan material pada lapisan bawah.

Parameter yang digunakan dalam analisis kestabilan meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), stratigrafi tanah, geometri lereng, serta kondisi muka air tanah. Parameter tersebut diperoleh dari hasil penyelidikan *borehole*, pengujian laboratorium, serta data kondisi lapangan.

Limit Equilibrium Method

Limit Equilibrium Method (LEM) merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng dengan membandingkan gaya penahan terhadap gaya penggerak pada massa tanah yang berpotensi mengalami longsor. Dalam pendekatan ini, massa tanah dibagi menjadi sejumlah irisan (*slice*), kemudian gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan dianalisis untuk memperoleh nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS).

Tahapan umum analisis LEM meliputi penentuan geometri lereng, penentuan parameter tanah, penentuan kondisi muka air tanah, asumsi bidang gelincir, pembagian massa tanah menjadi beberapa irisan, perhitungan gaya yang bekerja pada setiap irisan, serta perhitungan faktor keamanan. Nilai FoS kemudian digunakan untuk menentukan tingkat kestabilan lereng.

Dalam penelitian ini digunakan dua pendekatan LEM, yaitu metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Penggunaan kedua metode tersebut dimaksudkan untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang dapat dibandingkan pada kondisi lereng yang sama.

Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* atau *Ordinary Method of Slices* merupakan metode keseimbangan batas yang menganalisis massa tanah dengan membaginya menjadi beberapa irisan. Faktor keamanan diperoleh dari perbandingan antara jumlah gaya penahan dan jumlah gaya penggerak pada bidang gelincir.

Metode ini digunakan dalam penelitian karena relatif sederhana dan dapat diterapkan pada bidang gelincir berbentuk melingkar. Pada analisis penelitian, massa tanah dibagi menjadi 10 irisan dengan lebar rata-rata 1,5 m. Parameter geoteknik yang digunakan meliputi berat isi tanah, kohesi, dan sudut geser dalam. Secara umum, faktor keamanan metode *Fellenius* dapat dinyatakan sebagai:

$$FoS = \Sigma R / \Sigma D$$

dengan FoS adalah faktor keamanan, ΣR adalah jumlah gaya penahan, dan ΣD adalah jumlah gaya penggerak.

Metode *Bishop Simplified*

Metode *Bishop Simplified* merupakan metode keseimbangan batas yang digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng dengan bidang gelincir melingkar. Metode ini mempertimbangkan keseimbangan momen serta gaya normal pada setiap irisan. Perhitungan dilakukan secara iteratif sampai diperoleh nilai faktor keamanan yang konvergen.

Metode *Bishop Simplified* banyak digunakan untuk analisis longsoran rotasional karena memberikan pendekatan yang lebih representatif terhadap pengaruh gaya normal pada irisan dibandingkan metode irisan sederhana. Dalam penelitian ini, metode *Bishop Simplified* digunakan sebagai metode pembanding terhadap metode *Fellenius* dengan parameter tanah dan geometri lereng yang sama.

Faktor Keamanan Lereng

Faktor keamanan merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kestabilan lereng. Nilai faktor keamanan pada prinsipnya merupakan perbandingan antara kemampuan tanah dalam memberikan gaya penahan terhadap gaya yang menyebabkan pergerakan massa tanah. Semakin besar nilai FoS, semakin besar tingkat keamanan lereng terhadap kemungkinan terjadinya longsor.

Dalam penelitian ini, hasil perhitungan FoS dibandingkan dengan kriteria kestabilan yang digunakan berdasarkan SNI 8460:2017. Kriteria yang digunakan adalah:

Tabel 1. Kondisi Pembebanan

Kondisi Pembebanan	Kriteria Fos
Statis	≥ 1,50
Dinamis	≥ 1,10

Nilai faktor keamanan yang lebih besar atau sama dengan kriteria menunjukkan bahwa lereng memenuhi persyaratan kestabilan untuk kondisi yang dianalisis. Sebaliknya, nilai yang lebih kecil menunjukkan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap kondisi lereng.
Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan dalam skripsi menunjukkan bahwa metode keseimbangan batas dapat digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng berdasarkan parameter tanah dan geometri lereng. Salah satu penelitian yang dibahas dalam skripsi menunjukkan bahwa metode *Bishop* dapat digunakan untuk menentukan faktor keamanan pada lereng yang berpotensi mengalami longsor dan mengevaluasi tingkat kestabilannya.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified* untuk menganalisis kestabilan lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2. Kedua metode menggunakan parameter geoteknik dan geometri lereng yang sama sehingga hasil faktor keamanan dapat dibandingkan secara langsung. Selanjutnya, nilai FoS dibandingkan dengan kriteria SNI 8460:2017 untuk menentukan kondisi kestabilan lereng. Dengan demikian, studi literatur menjadi dasar dalam menentukan parameter analisis, metode perhitungan, serta kriteria evaluasi kestabilan lereng pada penelitian ini.

METODE

Penelitian dilakukan pada area *penstock* Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Padang Guci-2 yang berada di Desa Jati Mulyo, Kecamatan Padang Guci Hulu, Kabupaten Kaur, Provinsi Bengkulu. Lokasi penelitian merupakan daerah perbukitan dengan kondisi lereng yang memiliki kemiringan relatif curam dan ditemukan indikasi longsoran serta perubahan posisi jalur *penstock*. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis kestabilan lereng.

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui investigasi geoteknik di lapangan, meliputi pengamatan kondisi lereng, pengeboran tanah, nilai Standard Penetration Test (SPT), serta pengamatan kondisi muka air tanah. Investigasi dilakukan pada lima titik borehole, yaitu BH-01, BH-02, BH-03, BH-04, dan BH-05 dengan kedalaman penyelidikan hingga 30 m. Data sekunder meliputi data geometri lereng, hasil pengujian laboratorium, data kondisi lapangan, serta literatur dan standar teknis yang digunakan sebagai dasar analisis.

Investigasi Geoteknik dan Penentuan Parameter Tanah

Investigasi geoteknik dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi bawah permukaan dan karakteristik material penyusun lereng yang digunakan sebagai dasar analisis kestabilan. Investigasi dilakukan pada lima titik borehole, yaitu BH-01, BH-02, BH-03, BH-04, dan BH-05 dengan kedalaman penyelidikan hingga 30 m. Data investigasi meliputi hasil pengeboran, nilai Standard Penetration Test (SPT), kondisi lapisan tanah, dan muka air tanah. Hasil penyelidikan menunjukkan adanya beberapa jenis material, antara lain clay, silty clay, gravelly clay, gravelly silt, clayey gravel, residual soil, dan colluvial, serta lapisan *claystone* pada kedalaman yang lebih besar.

Parameter tanah yang digunakan dalam analisis meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Parameter tersebut diperoleh dari hasil pengujian laboratorium terhadap sampel tanah yang diperoleh dari investigasi geoteknik. Hasil pengujian laboratorium selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan parameter geoteknik untuk masing-masing kondisi lapisan tanah yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Nilai SPT digunakan sebagai informasi pendukung untuk menggambarkan tingkat kepadatan dan kekuatan relatif tanah terhadap kedalaman.

Asumsi Bidang Gelincir dan Pembagian Irisan

Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*/LEM). Dalam penelitian ini, bidang gelincir diasumsikan berbentuk melingkar (*circular slip surface*) sesuai dengan pendekatan yang digunakan pada metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Massa tanah yang berada di atas bidang gelincir kemudian dibagi menjadi beberapa irisan (slices) untuk dilakukan analisis gaya dan momen.

Pada analisis penelitian, massa tanah dibagi menjadi 10 irisan dengan lebar rata-rata sekitar 1,5 m. Pembagian irisan tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan pada metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Kedua metode dianalisis menggunakan kondisi geometri lereng dan parameter tanah yang sama sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan dapat dibandingkan secara langsung.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan dilakukan menggunakan metode *Fellenius* (*Ordinary Method of Slices*) dan *Bishop Simplified*. Metode *Fellenius* menghitung faktor keamanan berdasarkan keseimbangan massa tanah dengan mempertimbangkan gaya penahan dan gaya penggerak pada bidang gelincir. Sementara itu, metode *Bishop Simplified* mempertimbangkan keseimbangan momen serta gaya normal pada setiap irisan dan dilakukan melalui proses iterasi hingga diperoleh nilai faktor keamanan yang konvergen.

Hasil analisis dari kedua metode kemudian dibandingkan dengan kriteria faktor keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Dalam penelitian ini digunakan nilai faktor keamanan minimum sebesar 1,50 untuk kondisi statis. Lereng dinyatakan memenuhi kriteria kestabilan apabila nilai faktor keamanan yang diperoleh lebih besar atau sama dengan nilai minimum tersebut.

Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* atau *Ordinary Method of Slices* dilakukan dengan membagi massa tanah yang berpotensi longsor menjadi beberapa irisan. Faktor keamanan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah gaya penahan dengan jumlah gaya penggerak pada bidang gelincir. Secara umum faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai:

$$FoS = \Sigma R / \Sigma D$$

Dengan:

FoS = faktor keamanan.

Σ R = jumlah gaya penahan.

Σ D = jumlah gaya penggerak.

Metode *Bishop Simplified*

Metode *Bishop Simplified* digunakan untuk menganalisis bidang gelincir yang diasumsikan berbentuk melingkar. Perhitungan mempertimbangkan keseimbangan momen serta gaya normal pada setiap irisan. Nilai faktor keamanan diperoleh melalui proses iterasi hingga diperoleh nilai yang konvergen. Metode *Bishop Simplified* digunakan sebagai pembanding terhadap metode *Fellenius* untuk mengetahui perbedaan nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari kedua pendekatan tersebut.

Kriteria Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan hasil analisis selanjutnya dibandingkan dengan kriteria keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Dalam penelitian ini digunakan nilai faktor keamanan minimum sebesar 1,50 untuk kondisi statis dan 1,10 untuk kondisi dinamis.

Tabel 2. Kriteria Faktor Keamanan Lereng

Kondisi	FK Minimum	Keterangan
Statis	1,50	Lereng memenuhi kriteria apabila FoS ≥ 1,50
Dinamis	1,10	Lereng memenuhi kriteria apabila FoS ≥ 1,10

Sumber. Berdasarkan SNI 8460:2017

Lereng dinyatakan memenuhi persyaratan kestabilan apabila nilai faktor keamanan hasil analisis lebih besar atau sama dengan nilai minimum yang ditetapkan.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk menentukan tingkat kestabilan lereng berdasarkan nilai *Factor of Safety* (FoS). Data hasil investigasi geoteknik dan pengujian laboratorium digunakan untuk menentukan parameter tanah berupa berat isi (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ), serta kondisi geometri dan muka air tanah. Selanjutnya, massa tanah

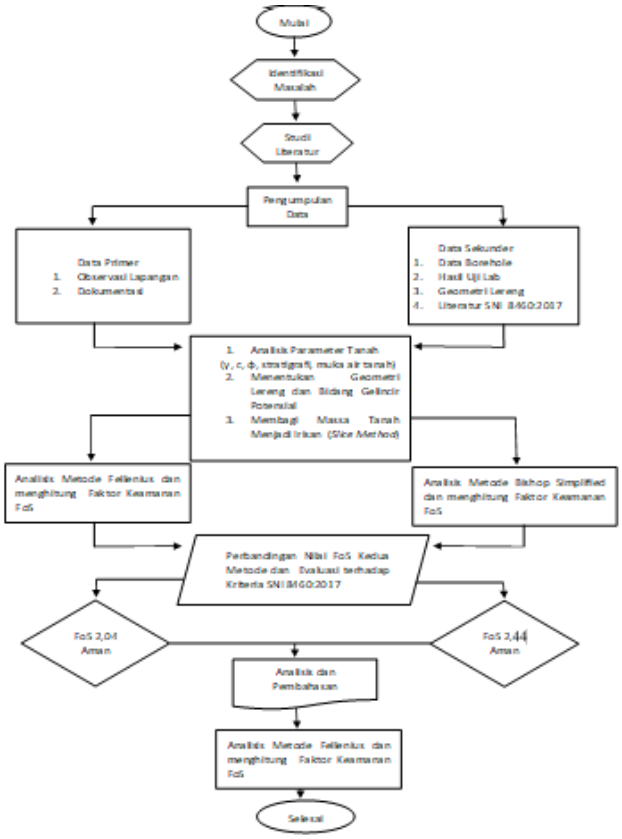
yang berpotensi mengalami longsoran dibagi menjadi beberapa irisan dan dianalisis menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Masing-masing metode menghasilkan nilai FoS berdasarkan perbandingan gaya penahan terhadap gaya penggerak pada bidang gelincir.

Hasil analisis kedua metode kemudian dibandingkan dan dievaluasi berdasarkan SNI 8460:2017. Lereng dinyatakan stabil apabila nilai FoS memenuhi atau melebihi nilai minimum yang ditetapkan, yaitu FoS ≥ 1,50 untuk kondisi statis. Hasil akhir digunakan untuk menentukan kondisi kestabilan lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 serta memberikan rekomendasi teknis yang diperlukan.

Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis untuk memperoleh hasil analisis kestabilan lereng yang sesuai dengan kondisi lapangan. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan pada area *penstock*, dilanjutkan dengan studi literatur dan pengumpulan data geoteknik. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan parameter tanah dan geometri lereng sebagai dasar analisis menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Hasil analisis berupa nilai faktor keamanan (FoS) selanjutnya dibandingkan dengan kriteria SNI 8460:2017 untuk menentukan kondisi kestabilan lereng. Secara umum, tahapan penelitian disajikan pada Gambar 1.

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 2390 - 2414
Volume 3 Nomor 3 Tahun 2026



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Investigasi Geoteknik

Hasil investigasi geoteknik pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 dilakukan pada lima titik borehole, yaitu BH-01 sampai BH-05 dengan kedalaman penyelidikan hingga 30 m. Investigasi dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi bawah permukaan serta karakteristik lapisan tanah yang menjadi dasar dalam analisis kestabilan lereng.

Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa lapisan tanah pada lokasi penelitian tersusun atas beberapa jenis material, antara lain *clay, silty clay, gravelly clay, gravelly silt, clayey gravel, residual soil,* dan *colluvial*. Pada kedalaman yang lebih besar ditemukan lapisan *claystone* yang memiliki karakteristik material lebih kuat dibandingkan lapisan

tanah permukaan. Variasi jenis material tersebut menunjukkan bahwa kondisi geoteknik di area penelitian bersifat heterogen, sehingga karakteristik masing-masing lapisan perlu diperhatikan dalam analisis kestabilan lereng.

Berdasarkan hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT), nilai pukulan secara umum menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Peningkatan nilai SPT menunjukkan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam memiliki tingkat kepadatan dan kekuatan yang lebih tinggi. Kondisi tersebut memberikan kontribusi terhadap meningkatnya kemampuan massa tanah dalam menahan gaya penggerak yang bekerja pada bidang longsor.

Lapisan tanah permukaan yang terdiri atas material lempung, lanau, material koluvial, dan campuran *gravel* memiliki karakteristik yang relatif lebih rentan terhadap perubahan kadar air dibandingkan lapisan yang lebih dalam. Sementara itu, keberadaan lapisan *claystone* pada kedalaman tertentu memberikan kontribusi terhadap kekuatan massa tanah secara keseluruhan.

Hasil investigasi geoteknik selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan parameter tanah yang digunakan pada analisis kestabilan lereng. Parameter utama meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), kondisi muka air tanah, serta geometri lereng. Ketepatan penentuan parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan yang diperoleh.

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) dengan pendekatan *Fellenius* dan *Bishop Simplified*. Analisis dilakukan dengan membagi massa tanah yang berpotensi mengalami longsoran menjadi beberapa irisan (*slices*). Pada setiap irisan diperhitungkan gaya penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada massa tanah untuk memperoleh nilai faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS).

Metode *Fellenius* atau *Ordinary Method of Slices* menghitung keseimbangan massa tanah dengan mempertimbangkan momen terhadap pusat lingkaran bidang longsor. Metode ini relatif sederhana karena gaya antaririsan tidak diperhitungkan secara

eksplisit. Sementara itu, metode *Bishop Simplified* memperhitungkan keseimbangan momen dan memasukkan pengaruh gaya normal antaririsan secara lebih representatif. Oleh karena itu, hasil faktor keamanan dari kedua metode dapat menunjukkan nilai yang berbeda meskipun menggunakan kondisi geometri dan parameter tanah yang sama.

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *Fellenius* menghasilkan nilai FoS sebesar 2,04, sedangkan metode *Bishop Simplified* menghasilkan nilai FoS sebesar 2,44. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih besar daripada kriteria minimum yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3. Hasil Analisis Faktor Keamanan

Metode	Nilai FK	Kriteria Minimum	Kondisi
Fellenius	2,04	1,50	Stabil
Bishop Simplified	2,44	1,50	Stabil

Sumber. Data Penelitian (2026)

Berdasarkan Tabel 3, nilai FoS metode *Fellenius* sebesar 2,04 memberikan rasio keamanan sekitar 36% lebih tinggi dibandingkan nilai minimum 1,50. Sementara itu, nilai FoS metode *Bishop Simplified* sebesar 2,44 memberikan rasio keamanan sekitar 63% lebih tinggi dibandingkan nilai minimum tersebut. Dengan demikian, kedua hasil analisis menunjukkan bahwa lereng memiliki tingkat keamanan yang memadai terhadap potensi kelongsoran pada kondisi statis. Nilai FoS yang diperoleh juga menunjukkan bahwa gaya penahan yang berasal dari kuat geser tanah lebih besar dibandingkan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya pergerakan massa tanah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi pembebanan yang dianalisis, keseimbangan lereng masih berada dalam kondisi aman.

Pengaruh Parameter Tanah dan Analisis Sensitivitas terhadap Faktor Keamanan

Nilai faktor keamanan lereng dipengaruhi oleh karakteristik material penyusun lereng, terutama berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Berdasarkan parameter desain yang digunakan dalam analisis, residual soil memiliki nilai γ sebesar 18 kN/m³, c sebesar 25 kPa, dan ϕ sebesar 18° , sedangkan material colluvial memiliki γ sebesar 19 kN/m³, c sebesar 30 kPa, dan ϕ sebesar 20° . Lapisan *claystone* (HW)

memiliki karakteristik material yang lebih kuat dibandingkan material tanah pada lapisan permukaan, dengan nilai γ dan c yang lebih besar. Parameter tersebut menjadi komponen penting dalam menentukan besarnya gaya penahan dan gaya penggerak pada bidang gelincir.

Secara mekanis, peningkatan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) akan meningkatkan kuat geser tanah sehingga cenderung meningkatkan nilai faktor keamanan. Sebaliknya, peningkatan berat isi (γ) meningkatkan berat massa tanah dan komponen gaya penggerak pada lereng sehingga cenderung menurunkan faktor keamanan. Pengaruh tersebut menjadi semakin penting pada material yang berada di sepanjang atau berdekatan dengan bidang gelincir karena perubahan parameter pada zona tersebut secara langsung memengaruhi keseimbangan gaya dan momen.

Untuk mengetahui tingkat sensitivitas hasil analisis terhadap perubahan parameter tanah, dilakukan analisis sensitivitas dengan memvariasikan parameter γ, c, dan ϕ terhadap nilai dasar. Variasi parameter dilakukan secara bertahap, sedangkan geometri lereng, pembagian irisan, dan parameter lainnya dipertahankan tetap. Nilai faktor keamanan dari setiap skenario kemudian dibandingkan dengan kondisi dasar untuk mengetahui parameter yang memberikan perubahan paling signifikan terhadap FoS.

Hasil analisis sensitivitas digunakan untuk mengidentifikasi parameter geoteknik yang paling dominan dalam mengontrol kestabilan lereng. Parameter dengan perubahan FoS terbesar terhadap perubahan nilai input menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dan oleh karena itu memerlukan perhatian lebih besar dalam penentuan parameter desain. Pendekatan ini juga memberikan gambaran mengenai tingkat ketahanan hasil analisis terhadap ketidakpastian parameter tanah yang diperoleh dari investigasi lapangan dan pengujian laboratorium.

Kontribusi Lapisan *Claystone* terhadap Kestabilan Lereng

Lapisan *claystone* yang berada pada kedalaman lebih besar memiliki karakteristik material yang lebih kuat dibandingkan lapisan tanah permukaan. Keberadaan lapisan tersebut memberikan kontribusi terhadap kondisi geoteknik lereng secara keseluruhan. Namun, kontribusi langsung *claystone* terhadap tahanan geser bidang gelincir bergantung

pada sejauh mana bidang gelincir memotong lapisan tersebut. Pada model penelitian ini, bidang gelincir berbentuk lingkaran dan terutama melalui lapisan residual soil dan colluvial sebelum mencapai *claystone*. Oleh karena itu, kestabilan bidang gelincir lebih langsung dikontrol oleh parameter kuat geser material yang dilalui bidang gelincir, sedangkan *claystone* berperan sebagai lapisan yang relatif lebih kuat pada bagian bawah susunan stratigrafi.

Perbandingan Metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*

Hasil analisis memperlihatkan bahwa nilai FoS yang diperoleh menggunakan metode *Bishop Simplified* lebih tinggi dibandingkan metode *Fellenius*. Perbedaan tersebut ditunjukkan oleh nilai FoS sebesar 2,44 pada metode *Bishop Simplified* dan 2,04 pada metode *Fellenius*, dengan selisih sebesar 0,40.

Secara relatif, nilai FoS *Bishop Simplified* sekitar 19,6% lebih tinggi dibandingkan hasil metode *Fellenius*. Perbedaan tersebut dapat dikaitkan dengan pendekatan analisis yang digunakan. Metode *Fellenius* menggunakan pendekatan yang lebih sederhana dengan mengabaikan pengaruh gaya antaririsan, sedangkan metode *Bishop Simplified* mempertimbangkan keseimbangan momen dengan memasukkan pengaruh gaya normal pada bidang antar irisan.

Meskipun menghasilkan nilai yang berbeda, kedua metode memberikan kesimpulan yang konsisten, yaitu lereng berada dalam kondisi stabil. Konsistensi tersebut memperkuat hasil evaluasi kestabilan lereng karena kestabilan tidak hanya ditunjukkan oleh satu pendekatan analisis.

Dalam konteks perencanaan dan evaluasi geoteknik, metode *Fellenius* dapat digunakan sebagai pendekatan awal karena prosedur perhitungannya relatif sederhana. Sementara itu, metode *Bishop Simplified* memberikan pendekatan yang lebih representatif untuk kondisi lereng dengan bidang longsor berbentuk melingkar. Oleh karena itu, penggunaan kedua metode secara bersamaan dapat memberikan pembanding terhadap tingkat kestabilan lereng pada lokasi penelitian.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Bishop Simplified* menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar 2,44, sedangkan metode *Fellenius* menghasilkan nilai sebesar 2,04. Kecenderungan tersebut sejalan dengan penelitian Ishak dan Zolkepli (2018) serta Ishak dan Zolkepli (2016), yang menunjukkan bahwa metode *Bishop* menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dibandingkan metode *Fellenius* pada kondisi analisis yang sama. Perbedaan tersebut berkaitan dengan pendekatan keseimbangan yang digunakan oleh masing-masing metode.

Hasil penelitian ini juga memiliki kesesuaian dengan penelitian Pangemanan et al. (2014), yang menerapkan metode *Fellenius* pada bidang gelincir berbentuk lingkaran dan menunjukkan bahwa metode tersebut dapat digunakan sebagai pendekatan sederhana dalam analisis kestabilan lereng. Dalam penelitian ini, metode *Fellenius* menghasilkan nilai FoS yang lebih rendah dibandingkan *Bishop Simplified*, sehingga memberikan hasil yang lebih konservatif.

Meskipun terdapat kesamaan kecenderungan dengan penelitian terdahulu, nilai faktor keamanan pada penelitian ini tidak dapat dibandingkan secara langsung tanpa mempertimbangkan perbedaan kondisi lokasi. Perbedaan geometri lereng, jenis dan susunan lapisan tanah, parameter kuat geser, kondisi air tanah, serta karakteristik material penyusun lereng dapat menghasilkan nilai FoS yang berbeda. Pada lokasi penelitian ini, keberadaan residual soil, colluvial, dan lapisan *claystone* pada kedalaman yang lebih besar menjadi karakteristik geoteknik yang turut membedakan kondisi lereng dengan lokasi penelitian terdahulu. Dengan demikian, hasil penelitian memperkuat temuan sebelumnya bahwa pemilihan metode analisis dan karakteristik parameter geoteknik merupakan faktor penting dalam penentuan faktor keamanan lereng. Penggunaan dua metode, yaitu *Fellenius* dan *Bishop Simplified*, memberikan dasar pembanding yang lebih baik dalam mengevaluasi kondisi kestabilan lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2.

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (FoS) metode *Fellenius* sebesar 2,04 dan *Bishop Simplified* sebesar 2,44. Kedua nilai tersebut lebih besar dari

kriteria minimum 1,50 berdasarkan SNI 8460:2017, sehingga lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 dikategorikan stabil pada kondisi statis. Perbedaan nilai FoS antara kedua metode disebabkan oleh perbedaan pendekatan perhitungan. Metode *Bishop Simplified* mempertimbangkan keseimbangan momen dan pengaruh gaya antaririsan secara lebih representatif dibandingkan metode *Fellenius*, sehingga menghasilkan nilai FoS yang lebih tinggi. Meskipun demikian, kedua metode memberikan kesimpulan yang sama terhadap kondisi kestabilan lereng.

Perbedaan nilai FoS tersebut menunjukkan bahwa parameter geoteknik yang digunakan dalam analisis memiliki peranan penting terhadap hasil evaluasi kestabilan. Parameter utama yang digunakan meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Kohesi dan sudut geser dalam berhubungan langsung dengan kuat geser material pada bidang gelincir, sedangkan berat isi memengaruhi berat massa tanah dan gaya penggerak yang bekerja pada lereng. Berdasarkan data penelitian, parameter desain pada penampang analisis perlu dipertimbangkan bersama dengan kondisi stratigrafi dan geometri lereng karena perubahan karakteristik material pada setiap lapisan dapat memengaruhi distribusi gaya penahan dan gaya penggerak.

Pengaruh parameter tanah juga berkaitan dengan kondisi air pada lokasi penelitian. Hasil investigasi menunjukkan bahwa muka air tanah berada pada kedalaman sekitar 3,30–8,70 m, sedangkan hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa material tanah pada lokasi penelitian didominasi oleh tanah berbutir halus dengan plastisitas sedang hingga tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan kadar air dan peningkatan tekanan air pori perlu diperhatikan dalam evaluasi kestabilan. Peningkatan tekanan air pori dapat mengurangi tegangan efektif sehingga kuat geser tanah berpotensi menurun. Oleh karena itu, nilai FoS yang diperoleh pada kondisi analisis tidak hanya dipengaruhi oleh parameter kuat geser, tetapi juga oleh kondisi hidrologi dan posisi muka air tanah pada lereng.

Untuk memperdalam evaluasi pengaruh parameter tanah terhadap FoS, analisis sensitivitas terhadap variasi parameter γ, c, dan ϕ dapat digunakan dengan mempertahankan geometri lereng dan kondisi analisis lainnya. Variasi tersebut bertujuan

untuk mengetahui seberapa besar perubahan nilai faktor keamanan akibat ketidakpastian parameter tanah. Parameter yang menghasilkan perubahan FoS paling besar dapat diidentifikasi sebagai parameter yang paling sensitif terhadap kestabilan lereng. Analisis sensitivitas ini penting karena parameter tanah yang diperoleh dari investigasi lapangan dan pengujian laboratorium memiliki variasi dan ketidakpastian tertentu. Dalam penelitian ini, analisis sensitivitas merupakan pengembangan dari kondisi dasar yang menghasilkan FoS 2,04 dengan metode *Fellenius* dan 2,44 dengan metode *Bishop Simplified*.

Kondisi geoteknik berupa peningkatan nilai SPT pada lapisan yang lebih dalam juga mendukung interpretasi kestabilan lereng. Pada lapisan permukaan, nilai SPT relatif rendah hingga sedang, sedangkan pada lapisan *claystone* nilai SPT dapat mencapai lebih dari 60 pukulan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan material seiring bertambahnya kedalaman. Dengan demikian, susunan stratigrafi berupa lapisan tanah pelapukan pada bagian atas dan material yang lebih kuat pada bagian bawah menjadi salah satu aspek penting dalam memahami mekanisme kestabilan lereng.

Keberadaan lapisan *claystone* perlu dibahas secara khusus karena lapisan tersebut ditemukan pada kedalaman yang lebih besar dan memiliki karakteristik material yang lebih kuat dibandingkan lapisan tanah permukaan. Namun, kontribusi *claystone* terhadap kestabilan tidak dapat hanya ditentukan berdasarkan kekuatan materialnya, tetapi juga harus dikaitkan dengan posisi lapisan tersebut terhadap bidang gelincir. Pada model analisis penelitian ini, bidang gelincir diasumsikan berbentuk lingkaran dan massa tanah dibagi menjadi beberapa irisan. Bidang gelincir terutama melalui lapisan residual soil dan colluvial sebelum mencapai lapisan *claystone*. Dengan kondisi tersebut, kontribusi langsung *claystone* terhadap tahanan geser sepanjang bidang gelincir bergantung pada bagian bidang gelincir yang berinteraksi dengan lapisan tersebut. Material residual soil dan colluvial yang dilalui bidang gelincir menjadi bagian yang lebih langsung menentukan tahanan geser pada bidang longsor, sedangkan *claystone* yang berada lebih dalam memberikan kondisi lapisan pendukung yang relatif lebih kuat.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan kecenderungan yang sama dengan beberapa penelitian terdahulu yang membandingkan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*.

Penelitian terdahulu yang digunakan dalam skripsi menunjukkan bahwa metode *Bishop* dapat menghasilkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi dibandingkan metode *Fellenius* pada kondisi geometri dan parameter tanah yang sama. Hasil penelitian ini menunjukkan kecenderungan serupa, yaitu FoS *Bishop Simplified* sebesar 2,44 lebih tinggi daripada FoS *Fellenius* sebesar 2,04, dengan selisih 0,40 atau sekitar 19,6%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis dapat memengaruhi besarnya nilai FoS yang diperoleh meskipun kondisi lereng yang dianalisis sama.

Hasil penelitian ini juga dapat dibandingkan dengan penelitian Pangemanan et al. yang menerapkan metode *Fellenius* pada analisis kestabilan lereng dengan bidang gelincir berbentuk lingkaran. Kesamaan tersebut terutama terdapat pada penggunaan pendekatan keseimbangan batas dan bidang gelincir melingkar. Namun, nilai FoS tidak dapat dibandingkan secara langsung tanpa mempertimbangkan perbedaan geometri lereng, jenis dan susunan material, parameter kuat geser, serta kondisi muka air tanah pada masing-masing lokasi penelitian. Perbedaan karakteristik geoteknik tersebut dapat menyebabkan nilai faktor keamanan yang berbeda meskipun metode analisis yang digunakan sama.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 memenuhi kriteria kestabilan pada kondisi statis berdasarkan nilai FoS yang diperoleh dari kedua metode. Meskipun demikian, kondisi lereng tetap dipengaruhi oleh perubahan kadar air, infiltrasi air hujan, dan tekanan air pori. Keberadaan lapisan tanah lempung dengan plastisitas sedang hingga tinggi serta muka air tanah yang relatif dangkal menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan lereng. Oleh karena itu, pemeliharaan sistem drainase dan pengendalian aliran air permukaan perlu dilakukan secara berkala untuk mengurangi infiltrasi, menjaga kondisi tekanan air pori, dan mempertahankan kestabilan lereng dalam jangka panjang.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng pada area *penstock* PLTM Padang Guci-2 menggunakan metode *Fellenius* dan *Bishop Simplified*, diperoleh nilai faktor

keamanan (FoS) masing-masing sebesar 2,04 dan 2,44. Kedua nilai tersebut lebih besar dari kriteria minimum sebesar 1,50 berdasarkan SNI 8460:2017, sehingga lereng pada area penelitian dikategorikan stabil pada kondisi statis. Metode *Bishop Simplified* menghasilkan nilai FoS yang lebih tinggi dibandingkan metode *Fellenius* dengan selisih sebesar 0,40 atau sekitar 19,6%. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan pendekatan dalam analisis keseimbangan batas, terutama dalam perhitungan keseimbangan momen dan pengaruh gaya antaririsan. Meskipun menghasilkan nilai faktor keamanan yang berbeda, kedua metode memberikan kesimpulan yang sama terhadap kondisi kestabilan lereng.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa parameter geoteknik, yaitu berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ), memiliki peranan penting dalam menentukan nilai faktor keamanan. Parameter tersebut berpengaruh terhadap keseimbangan antara gaya penggerak dan gaya penahan pada bidang gelincir, sedangkan kondisi muka air tanah dapat memengaruhi tegangan efektif dan kuat geser tanah melalui perubahan tekanan air pori. Kondisi stratigrafi pada lokasi penelitian menunjukkan adanya lapisan residual soil dan colluvial pada bagian yang lebih dekat dengan permukaan, sedangkan lapisan *claystone* ditemukan pada kedalaman yang lebih besar dengan nilai SPT yang dapat mencapai lebih dari 60 pukulan. Lapisan *claystone* yang memiliki karakteristik material lebih kuat dapat memberikan kondisi pendukung yang lebih baik terhadap kestabilan lereng, tetapi kontribusinya terhadap tahanan geser secara langsung tetap bergantung pada posisi lapisan tersebut terhadap bidang gelincir. Pada model analisis yang digunakan, bidang gelincir terutama melalui lapisan residual soil dan colluvial sehingga karakteristik kedua material tersebut lebih dominan dalam menentukan tahanan geser sepanjang bidang longsor.

Kondisi hidrologi juga menjadi aspek penting dalam mempertahankan kestabilan lereng. Muka air tanah yang berada pada kedalaman sekitar 3,30–8,70 m dan dominasi material berbutir halus dengan plastisitas sedang hingga tinggi menunjukkan bahwa perubahan kadar air dan peningkatan tekanan air pori perlu diperhatikan. Oleh karena itu, meskipun lereng memenuhi kriteria kestabilan pada kondisi statis berdasarkan hasil

analisis, pemeliharaan sistem drainase, pengendalian aliran air permukaan, serta pemantauan kondisi lereng tetap diperlukan untuk mengurangi infiltrasi dan menjaga kestabilan lereng dalam jangka panjang. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis dan karakteristik parameter geoteknik merupakan aspek penting dalam evaluasi kestabilan lereng, sehingga interpretasi nilai FoS perlu dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi geometri, stratigrafi, dan hidrologi lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. F. I. U. M. P. A. S., Zolkepli, M. F., & Ishak, M. F. (2016). Exploration of methods for slope stability analysis influenced by unsaturated soil. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/309527645

Akbar Bunawan, I., Trides, T., Hasan, H., Oktaviani, R., & Pontus, A. J. (2023). Analysis of slope stability using the simplified *Bishop* method and geometry of retaining walls in Palaran District, Samarinda City, East Kalimantan Province.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 Persyaratan perancangan geoteknik. Badan Standardisasi Nasional.

Cherianto, P. R., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode *Fellenius* (Studi kasus: Kawasan Citraland STA. 1000 m). Jurnal Sipil Statik, 2(3), 139–147.

Firdaus, Y. F., Sarie, F., & Hendri, O. (2022). Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius* (Studi kasus: Proyek pekerjaan drainase Gedung PPIIG di Universitas Palangka Raya). Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan, 5(2), 1–9. https://doi.org/10.52868/jt.v5i2.7642

Google. (2024). Google Earth. Google LLC.

Ishak, M. F., & Zolkepli, M. F. (2018). Analysis of slope stability on tropical residual soil.

Khodijah, S., Monica, U. S., Ersyari, J., Khoirullah, N., & Sophian, R. I. (2022). Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dalam kondisi statis dan dinamis pada Pit X, Tanjung Enim, Sumatra Selatan.

Nugroho Putro, M. F. E., & Agustina, D. H. (2023). Analisis kestabilan lereng dengan perkuatan shotcrete menggunakan PLAXIS (Studi kasus: Ruas Jalan Tarempa–Rintis STA 07+800 Kab. Anambas).

Pahrul Rodji, A., Indriasari, Sihombing, S. M., & Freadno, B. (2023). Analisis stabilitas lereng dengan metode *Bishop* pada proyek geotechnical investigation Kutai Kartanegara.

Pangemanan, V. G. M., Turangan, A. E., & Sompie, O. B. A. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode *Fellenius* (Studi kasus: Kawasan Citraland). Jurnal Sipil Statik, 2(3), 139–147.

Pratama Widya Engineering. (2024). Laporan lapangan dan dokumentasi longsoran lereng PLTM Padang Guci-2. Dokumen internal proyek.

Rahmi, N., Hermanto, E., & Lubis, K. (2025). Karakteristik campuran AC-BC menggunakan batu gunung sebagai agregat. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil (JITAS), 4(1), 40–48. https://doi.org/10.31289/jitas.v4i1.5830

Rotaru, A., Bejan, F., & Almohamad, D. (2022). Sustainable slope stability analysis: A critical study on methods. Sustainability, 14, 8847.

Tefa, M. G., Sundari, W., & Krisnasiwi, I. F. (2023). Analisis kestabilan lereng dengan metode *Bishop* pada lereng longsor di Kelurahan Manutapen, Kecamatan Alak, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur.

Turangan, A. E., Sompie, O. B. A., & Pangemanan, V. G. M. (2014). Analisis kestabilan lereng dengan metode *Fellenius*. Jurnal Sipil Statik