

POTENSI LONGSOR AKIBAT AKTIVITAS PENAMBANGAN ILEGAL DI KECAMATAN SUNGAI DURIAN, KABUPATEN KOTABARU

Landslide Potential Affected by Illegal Mining Activity in Sungai Durian District, Kotabaru Regency

RADHI WAHYUZI*, DICKY MUSLIM**, ZUFIALDI ZAKARIA**, EMI SUKIYAH** dan
R. IRVAN SOPHIAN**

Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Jl. Dipati Ukur No. 35 Bandung.

Korespondensi e-mail: radhi13001@mail.unpad.ac.id

* Kontributor Utama, ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

Secara umum potensi longsor dapat terjadi apabila gaya penggerak suatu material, lebih dominan dibandingkan dengan gaya penahannya. Kesetimbangan terjadi saat kedua aspek tersebut pada kondisi sebanding, atau apabila gaya penggerak yang ada lebih kecil dari pada gaya penahan. Perubahan tata ruang, morfologi, dan alih guna lahan seringkali menjadi penyebab terjadinya longsor, apabila perubahan tersebut tidak direncanakan dan dilaksanakan dengan baik tanpa menghiraukan kaidah-kaidah geoteknik. Salah satu perubahan yang disebabkan alih guna lahan adalah usaha pertambangan, yaitu ketika proses ekskavasi akan terjadi perubahan morfologi yang sangat signifikan. Perubahan tersebut biasanya akan berpotensi menimbulkan longsor apabila tidak ditangani dengan baik dan benar. Akan tetapi usaha pertambangan tanpa izin selalu muncul dan melakukan usaha penambangan tanpa memperhitungkan kaidah-kaidah teknik pertambangan yang baik (*Good Mining Practices*), sehingga akan cukup berbahaya bagi lingkungan dan manusia, baik dari segi potensi bahaya longsor maupun kerusakan lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui area dan potensi bahaya longsor pada area tambang rakyat tanpa izin berdasarkan citra satelit dan analisis kestabilan lereng pada lokasi tambang. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode uji laboratorium geoteknik dan observasi lapangan, serta analisis kestabilan lereng sebagai pendekatan untuk mengetahui potensi longsor yang terdapat pada lokasi penelitian. Secara umum dapat diamati bahwa lereng yang terbentuk akibat adanya aktivitas penambangan ilegal pada lokasi penelitian memiliki nilai *factor of safety* pada kondisi labil (0.516-1.076) dengan *probability of failure* berkisar antara 15%-20%, serta memiliki status *consequence of failure* tinggi. Berdasarkan data hasil penelitian tersebut diketahui adanya kondisi tidak stabil yang disebabkan oleh aktivitas penambangan ilegal dan berpotensi menyebabkan terjadinya longsor pada lokasi penelitian.

Kata kunci: potensi longsor, penambangan ilegal, Kabupaten Kotabaru.

ABSTRACT

Generally, landslide potential can occur when a materials drifting force dominates the resisting force. A state of equilibrium is reached when the two aspects are in comparable conditions, or when the force of drift is less than the force of resistance. Spatial changes, morphological changes and changes in land use are often the cause of landslides if these changes are not properly planned and carried out without taking into account the principles of geotechnical engineering. One of the changes brought about by land use change is mining activity, in which very large morphological changes occur during the mining operation. These changes will usually have the potential to cause landslides if they are not managed in a proper and correct procedure. However, ilegal mining communities always appear and carry out mining operations without considering the principles of Good Mining Practices, so it will be quite dangerous for the environment and human beings, both in terms of potential landslide hazards and environmental damage. The purpose of this study is to determine the area and potential

landslide hazard in the unlicensed community mining area using satellite imagery and slope stability analysis at the mining site. This research was conducted using a combination of geotechnical laboratory testing methods and field observations, as well as slope stability analysis, in order to determine the landslide potential at the research site. In general, the research data clearly shows that the slope formed due to illegal mining activities has a factor of safety value in an unstable condition (0.516-1.076) with a probability of failure ranging from 15%-20%, and has a high consequence of failure status. The research data indicates that the research site is experiencing an unstable condition, which is likely the result of illegal mining activities with the potential of landslides in the research site.

Keywords: landslide potential, illegal mining, Kotabaru Regency.

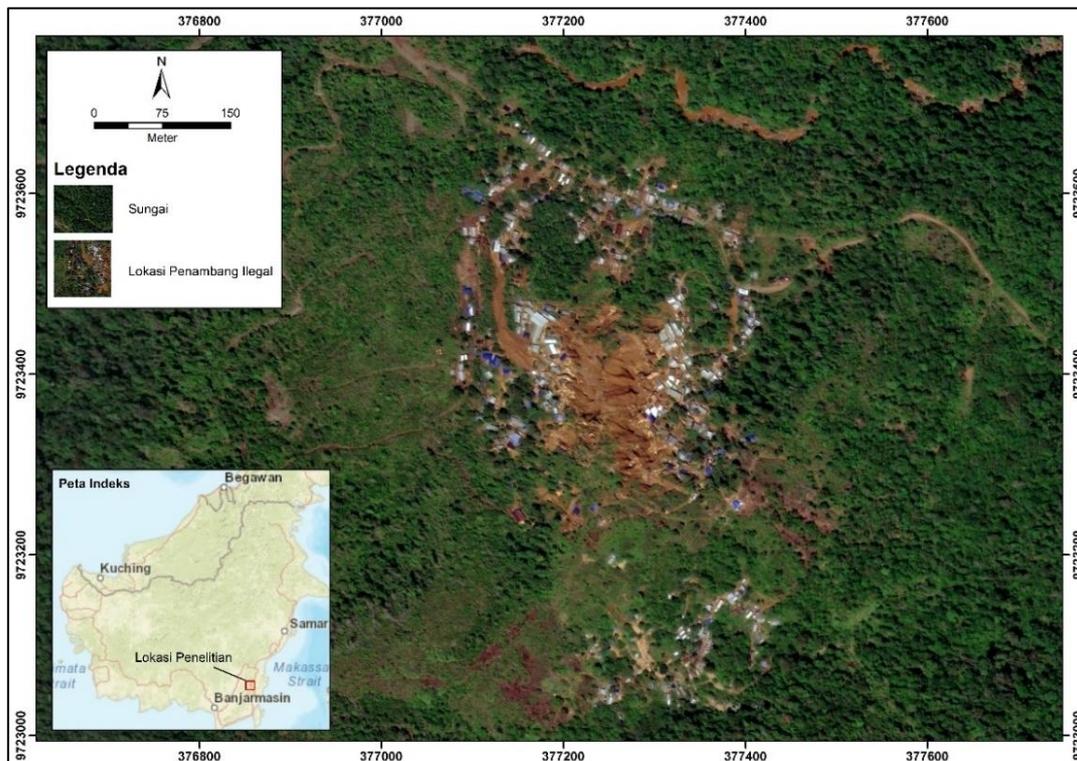
PENDAHULUAN

Secara umum bahaya kegeologian dari suatu area dapat muncul secara alami, atau oleh adanya perubahan fungsi dan morfologi lahan. Perubahan fungsi dan morfologi yang signifikan tanpa menghiraukan kaidah teknik yang baik dapat memperbesar potensi terjadinya longsor. Aktivitas penambangan menjadi salah satu bagian dari perubahan fungsi/alih fungsi lahan, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan potensi longsor.

Area penelitian merupakan bekas lokasi penambangan tanpa izin (PETI) yang berada

pada wilayah administratif kecamatan Sungai Durian, Kabupaten Kotabaru, provinsi Kalimantan Selatan seperti yang terlihat pada Gambar 1. Lokasi penelitian didominasi oleh morfologi perbukitan, sehingga banyak lereng yang terbentuk secara alamiah dilapangan.

Adanya indikasi dan potensi sumber daya alam berupa deposit emas (Au) di lokasi tersebut, menimbulkan antusiasme masyarakat pendatang dalam melakukan aktifitas penambangan, walaupun area penelitian merupakan bagian dari izin konsesi suatu perusahaan swasta nasional.



Sumber: United States Geological Survey Earth Explorer

Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Kecamatan Sungai Durian, Kabupaten Kotabaru

Diperkirakan proses ekskavasi dan penambangan tanpa izin telah berjalan sejak 1998, sehingga telah cukup banyak mengubah kenampakan dan kondisi morfologi lahan. Dengan adanya aktivitas PETI dan proses ekskavasi yang tidak terencana, serta mengabaikan kaidah keselamatan dan teknik penambangan, alih fungsi lahan secara lateral dapat menimbulkan bahaya geologi dan lingkungan.

Perusahaan pemegang izin pertambangan di wilayah ini dapat mengambil alih kembali area tersebut sebagaimana mestinya. Namun perubahan yang sangat signifikan akibat aktivitas penambangan PETI tanpa perencanaan yang matang berpotensi menimbulkan bahaya geologi, terutama longsor pada lereng-lereng bukaan tambang yang dilakukan tanpa mengacu pada kaidah teknik pertambangan yang baik (*good mining practice*). Komponen utama yang mempengaruhi stabilitas suatu lereng adalah kohesi, sudut geser dalam, berat jenis, kandungan air dan geometri lereng (Wahyuzi, Zakaria dan Sophian, 2018).

Area penelitian memiliki morfologi perbukitan dengan elevasi 315-450 Mdpl, dan memiliki kemiringan lereng 22°-29°. Berdasarkan peta geologi lembar Banjarmasin (Sikumbang dan Heryanto, 1994), area penelitian berada pada Formasi batuan *ocean basement*/ alas kerak samudera (Kx) yang tersusun oleh beberapa batuan sedimen berjenis batupasir, batulempung dan batulanau, serta (Jx) peridotit, gabro dan basal. Formasi batuan alas kerak samudera tersebut berada disekitar Formasi *continental magmatic rock*/ batuan magmatite benua (Ku.4) yang tersusun atas batuan granit, granadorit dan diorite, kemudian Formasi bantuan sedimen anjungan/*platform sedimentary rocks* (Kl) yang tersusun atas batugamping orbulina dan amonit.

METODE

Area penelitian berada di kecamatan Sungai Durian, kabupaten Kotabaru berlokasi di bekas area PETI seperti yang tergambar dalam Gambar 1. Ketebalan dari lapisan tanah yang merupakan produk oksida dan pelapukan batuan asal berkisar antara 20-70 m, apabila terjadi peningkatan intensitas hujan disekitar area

tersebut dapat memicu terjadinya longsor. Penambahan *internal water content* dalam material akibat hujan, merupakan salah satu faktor kunci penyebab terjadinya longsor (Zakaria, 2010). Saat hujan, proses infiltrasi air ke dalam material akan meningkat, memberikan efek turunan pada beberapa karakter fisik dan mekanik dari material tersebut (Zakaria *dkk.*, 2015).

Kadar air merupakan salah satu variabel yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng, konsentrasi air pada material akan mampu mengubah laju F_s dan juga dapat mengubah laju aktivitas dari material penyusun lereng. Dengan kata lain kandungan air pada material penyusun lereng akan mampu mengubah karakteristik lereng secara keseluruhan (Wahyuzi, Zakaria dan Sophian, 2018). Karakteristik dari geometri lereng, drainase, dan kekuatan material di kawasan tersebut akan sangat berkaitan dengan kondisi kestabilan lereng (Zakaria, 2009). Hal ini juga bisa menjadi salah satu penyebab terjadinya longsor saat terjadinya peningkatan intensitas hujan dengan durasi lama, akan berdampak pada persentase *water content* dari sifat fisik material tersebut (Zakaria *dkk.*, 2015).

Pada dasarnya stabilitas lereng sangat ditentukan oleh gravitasi yang akan mempengaruhi material tanah dan batuan pada lereng. Selama gaya penahan yang bekerja pada tubuh lereng sama atau sama besar dengan gaya gravitasi maka lereng akan tetap berada pada kondisi stabil (Hunt, 2007). Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan apakah lereng tergolong stabil atau tidak stabil berdasarkan kriteria tertentu (Khodijah *dkk.*, 2023). Apabila gaya penahan pada tubuh lereng lebih kecil dari pada gaya gravitasi, maka akan terjadi ketidakseimbangan pada lereng yang mengakibatkan lereng tidak dapat mempertahankan masa tubuh dan geometrinya. Hal tersebut sering menjadi pemicu terjadinya longsor (Wahyuzi, Zakaria dan Sophian, 2018). Umumnya kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya dimensi lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, struktur geologi batuan serta faktor gaya luar yang bekerja pada lereng tersebut (Sirait, Pulungan dan Pujiyanto, 2021).

Dalam praktek pertambangan yang tidak memenuhi kaidah keteknikan yang baik, kesetimbangan area kerja akan menjadi sangat rentan untuk runtuh. Penerapan program pola mitigasi bahaya diperlukan untuk meminimalisir dampak yang ditimbulkan oleh bencana longsor (Zakaria *dkk.*, 2022). Bukaan lahan yang tidak terencana, tidak adanya reklamasi maupun vegetasi pada setiap lokasi tambang ilegal akan memperburuk stabilitas dan ketahanan agregat tanah terhadap erosi (Cen, Peng dan Dai, 2024).

Hal ini dikarenakan adanya aktivitas pengambilan material secara terus menerus, tanpa mempertimbangkan geometri lereng dalam mempertahankan massa tubuhnya. Curah hujan, gempa bumi, erosi, karakteristik geologi, dan kejadian konstruksi merupakan faktor-faktor yang dapat menyebabkan keruntuhan lereng (Alsharifia, Mahmood dan Akhtarpourb, 2021). Sedikitnya terdapat empat faktor utama yang mempengaruhi stabilitas suatu lereng, yaitu: kondisi geologi, topografi, iklim dan cuaca, serta aktivitas kegempaan. Salah satu aspek kondisi geologi yang memberikan dampak signifikan pada lereng adalah jumlah diskontinuitas, hal tersebut dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya runtuhnya batuan (Idris *dkk.*, 2019). Struktur geologi berperan sebagai jalur rembesan air

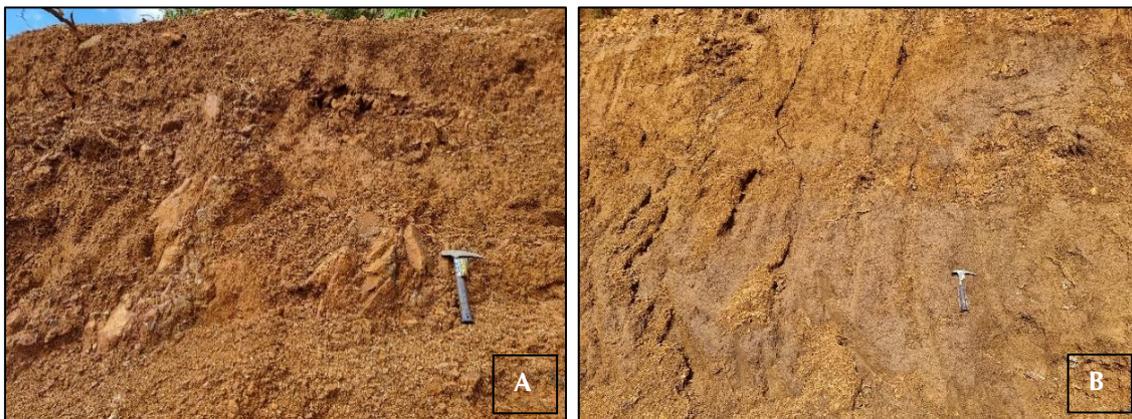
sehingga hadirnya struktur geologi dapat menurunkan kualitas massa batuan (Hasibuan dan Heriyadi, 2020).

Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan di sekitar area penelitian yang merupakan bekas lokasi PETI. Dari hasil observasi, ditemukan dua jenis material yang mendominasi *surface area* yaitu lanau dengan plastisitas tinggi (MH) dan lempung dengan plastisitas tinggi (CH) (Gambar 2) mengacu pada klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*).

Litologi MH lebih mendominasi dan tersebar merata hampir diseluruh area penelitian. Material yang terdapat di area penelitian, diperkirakan merupakan produk hasil disintegrasi, pelapukan dan oksidasi dari batuan asal (Kolay, 1993), dari formasi *continental magmatite rock* dan *oceanic basement sedimentary rock*.

Karakteristik material MH, didominasi oleh warna cokelat kemerahan, berbutir halus dengan tipe material lanau, *highly-completely weathered*, memiliki kekerasan *firm-stiff*, bersifat plastisitas tinggi dan terkadang ditemukan juga *loose material* berukuran krikil-brangkal, sedangkan untuk litologi CH memiliki warna coklat gelap, berbutir halus dengan tipe material lempung, *highly-completely wethered*, memiliki kekerasan *soft-firm* dan bersifat plastisitas tinggi.



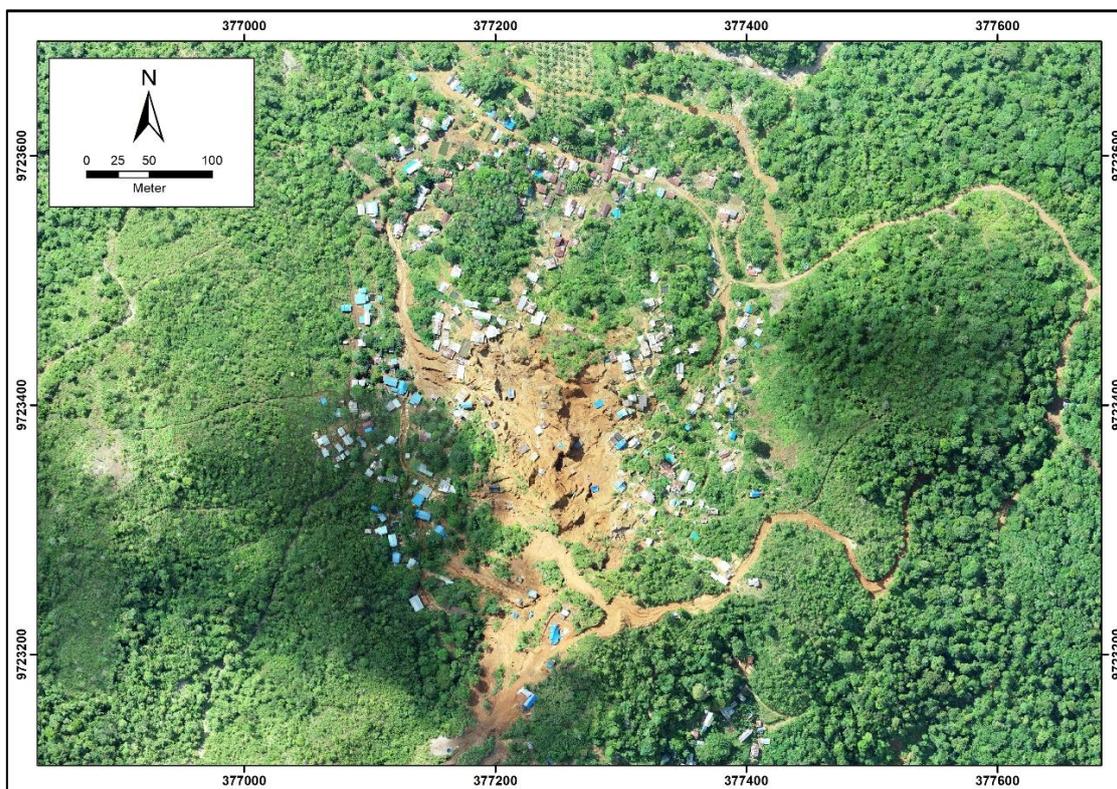
Gambar 2. Foto A, kenampakan material berjenis MH (lanau dengan plastisitas tinggi)-dominan; dan Foto B, kenampakan material berjenis CH (lempung dengan plastisitas tinggi)-ditemukan di beberapa lokasi saja

Dari hasil observasi langsung, diketahui bahwa proses pelapukan dan alterasi hidrotermal memiliki peran signifikan dalam keberagaman litologi yang terbentuk pada suatu lokasi. Kedua proses tersebut dapat merubah karakter batuan dan tanah disekitarnya (Maeda dkk., 2012). Material lempung merupakan salah satu komponen utama penyusun tanah, batuan sedimen dan batuan dasar, sehingga keberadaannya berlimpah baik pada tanah dan batuan (Singh dan Um, 2023).

Dari kedua material yang ditemukan di lapangan, karakter plastisitas tinggi menjadi perhatian penting, karena karakter tersebut akan mengakibatkan adanya kembang dan susut material saat kondisi kering maupun basah. Material tanah akan mengalami peningkatan volume dalam kondisi basah dan akan terjadi penyusutan volume pada saat kondisi kering (Iqbal dkk., 2020). Dengan adanya plastisitas kembang susut, material akan cenderung berada pada kondisi labil, dan rentan untuk bergerak. Hal ini yang nantinya juga mampu menjadi salah satu penyebab

menurunnya kekuatan daya tahan lereng dalam menyangga geometri aktualnya.

Selain kondisi material yang terekspos, ditemukan juga beberapa indikasi pergerakan material pada bagian barat area penelitian, berupa retakan memanjang yang berlokasi disekitar aktivitas penambangan konvensional tanpa izin. Retakan tersebut diduga sebagai akibat dari proses dan aktivitas penambangan terdahulu, yang merubah bentang alam dan morfologi alami dari lereng-lereng di area penelitian. Selain melakukan penggalian langsung di permukaan, para penambang ilegal juga melakukan penggalian melalui terowongan konvensional secara vertikal dan horizontal. Selain itu, pengaruh iklim tropis di Indonesia juga menyebabkan material tanah akan cenderung menjadi labil terutama pada musim hujan (Zakaria dkk., 2022), sehingga hujan dapat memberikan efek dan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan lereng dengan komposisi material tanah didalamnya (Mala dan Dahal, 2021).



Gambar 3. Kenampakan kondisi aktual area penelitian melalui foto dan citra drone

Triaxial Compression Test (Unconsolidated Undrained)

Frekuensi bencana geologi semakin meningkat, dan ketidakstabilan lereng selama bencana tersebut tidak dapat diabaikan. Peristiwa geologis yang tiba-tiba ini tidak hanya berdampak pada tidak stabilnya perkembangan perekonomian namun juga menimbulkan berbagai bahaya keselamatan, yang mengancam kehidupan masyarakat (Zhou *dkk.*, 2024). Pendekatan ilmiah melalui uji laboratorium dapat menjadi salah satu solusi dzalam mengetahui karakter dan perilaku material, sehingga pengujian dengan standar baku terhadap material mutlak dilakukan sebagai pendekatan kuantitatif dalam mempelajari karakteristik dan kekuatan material. Uji triaksial merupakan cara untuk menguji parameter gesekan tanah yang paling akurat untuk saat ini. Tanah merupakan bahan partikel (partikulat), oleh karena itu keruntuhan geser akan terjadi jika ada tegangan antar partikel yang terlalu besar untuk ditahan sehingga partikel tanah akan saling tergelincir atau berputar (Wahyuzi, Zakaria dan Sophian, 2018). Uji triaksial juga merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk menentukan parameter kelongsoran, baik untuk material pasir maupun material lanau dan lempung.

Pada uji triaksial digunakan sampel tanah berbentuk prisma (silinder) yang ditutup dengan membran plastik dan dimasukkan ke dalam bejana silinder yang terbuat dari plastik atau kaca. Pengujian berdasarkan ASTM D2850-03 dan SNI 03-4813-1998 untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan data sudut geser dalam (ϕ) seperti terlihat pada Tabel 1. Pada simulasi lereng digunakan data nilai kohesi dan nilai sudut geser dalam dari masing-masing material untuk mendapatkan nilai F_s dari pada lereng. Nilai kohesi dan sudut geser dalam dari masing-masing material penyusun lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Slope Stability Analysis (Factor of Safety, FoS)

Factor of safety (FoS) pada lereng tersusun oleh dominansi material tanah, sebelumnya dilakukan analisis dan melakukan perhitungan bidang gelincir. Data dasar yang diperlukan untuk melaksanakan metode penghitungan standar kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

1. Data geometri lereng (diperlukan untuk pembuatan penampang dua dimensi) yang terdiri dari sudut lereng, tinggi lereng, dari area *toe* hingga ke posisi *crest* dari lereng. Pada geometri lereng, bagian kaki lereng akan menerima konsentrasi tegangan paling tinggi (Liu, Lai dan Xu, 2024).
2. Data parameter fisik dan mekanik:
 - a. Sudut geser dalam (ϕ ; derajat ($^{\circ}$));
 - b. Berat jenis (gwet; g/cm^3 atau kN/m^3 atau kg/m^3);
 - c. Kohesi (c ; kpa atau Mpa atau kN/m^2).

Ditemukan dua material dominan yang tersebar merata hampir di seluruh area penelitian, lempung dengan plastisitas tinggi (CH) dan lanau dengan plastisitas tinggi (MH).

Karakteristik material MH memiliki warna dasar coklat kemerahan, berbutir halus dengan tipe material lanau, *highly-completely wethered*, memiliki kekerasan *firm-stiff*, bersifat plastisitas tinggi dan terkadang ditemukan juga *loose material* berukuran krikil-brangkal. Sedangkan untuk lithologi CH memiliki warna coklat gelap, berbutir halus dengan tipe material lempung, *highly-completely wethered*, memiliki kekerasan *soft-firm* dan bersifat plastisitas tinggi. Pengklasifikasian material tersebut mengacu kepada klasifikasi USCS, dan pengolahan data dilandaskan pada hasil uji fisik dan mekanik material. Dari data diatas diketahui bahwa terdapat kehadiran material lempung yang ekspansif di area penelitian. Pola keruntuhan lereng tanah ekspansif biasanya sangat dipengaruhi oleh siklus basah-keringnya material (*wet/dry season*) sehingga mengakibatkan munculnya keretakan pada tanah (Wang, Wang dan Jin, 2024).

Data geometri *slope* diperoleh dari pembaruan data survey topografi geodesi, sedangkan data sifat fisik dan mekanik material diperoleh melalui serangkaian uji laboratorium. Dengan adanya dua data dasar tersebut, maka analisis kestabilan lereng di bekas lokasi penambangan rakyat tanpa izin dapat dilaksanakan sesuai kondisi aktual saat ini. Adapun acuan yang dipakai dalam pelaksanaan analisis kestabilan lereng adalah Kepmen ESDM No.1827/K/30/MEM/2018 (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018).

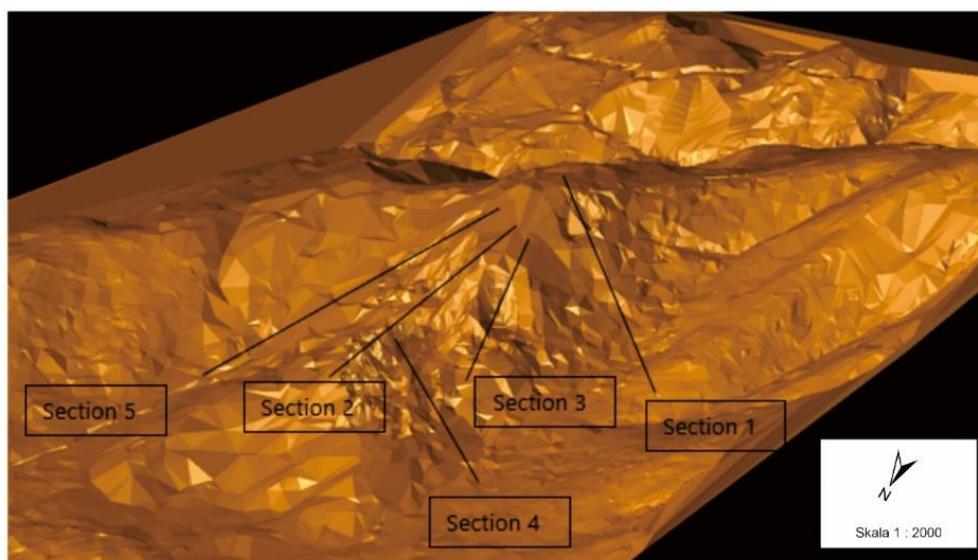
Tabel 1. *Basic and mechanical data properties*

<i>Triaxial Test</i>			
Material (USCS)	Unit weight (γ) (kg/cm ³)	Kohesi (c) (Kpa)	Sudut geser dalam (ϕ) (°)
MH	1643	17.49	20.81
MH	1650	10.58	18.59
CH	1617	14.63	15.99
MH	1641	9.41	17.24
MH	1636	14.05	18.28
CH	1648	23.15	17.2
MH	1610	20.53	19.44
CH	1647	17.49	15.74

Factor of safety (FoS), Probability of Failure (PoF) dan Consequence of Failure (CoF) yang dipakai, akan mengacu pada regulasi berdasarkan Kepmen ESDM No.1827/K/30/MEM/2018 (Zulfahmi, 2022). Karakteristik geoteknik daerah yang terkena dampak pertambangan ataupun dalam tahap reklamasi perlu dipantau, selain itu juga perlu dinilai tingkat risiko kelongsorannya agar bahaya kegagalan daya dukung lereng dapat lebih awal diketahui (Zedek, Šembera dan Kurka, 2024). Indikasi lainnya yang ditemui di lapangan adalah lokasi material waste yang dibuang dan ditumpuk tanpa adanya kajian mendalam tanpa memperhatikan kondisi dan geometri timbunan, studi mengungkapkan bahwa stabilitas disposal/ *waste dump* material tambang sangat dipengaruhi oleh berat, kondisi air tanah, beban gempa, dan curah hujan (Yang dkk., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan data yang diakuisisi di lapangan serta diuji melalui pengujian sifat fisik dan mekanik material, maka didapatkan hasil berupa *unit weight* (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan kondisi aktual dari lokasi penelitian didapatkan melalui update data topografi geodesi. Kondisi kestabilan *overall slope* pada area penelitian diketahui berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang direpresentasikan pada lima lokasi *cross section* (Gambar 4). Hasil inilah yang menjadi data dasar dalam melakukan analisis kestabilan lereng untuk memperoleh nilai FoS sebagai pendekatan dalam penghitungan nilai kemantapan stabilitas lereng.



Gambar 4. Lokasi *Cross section line* pada data *digital terrain model (DTM)* di area penelitian

Dari hasil observasi lapangan aktual dan analisis kestabilan lereng, didapatkan beberapa temuan yang mengindikasikan adanya kegagalan daya dukung lereng berupa longsoran maupun retakan, khususnya di beberapa lokasi bekas aktifitas penambangan tanpa izin tersebut. Namun terkadang material longsoran langsung diambil dan dikeruk sebagai bahan galian oleh pihak penambang ilegal, sehingga bidang-bidang longsoran tidak lagi dapat dikenali dan terdata secara utuh. Walaupun demikian, jejak-jejak longsoran dan retakan-retakan pada area penelitian masih dapat ditemukan dengan jelas di beberapa lokasi, dan kenampakan serta perubahan morfologi yang masif akibat proses penambangan konvensional menimbulkan potensi area kritis dan rawan longsor.

Pada riset yang melibatkan analisis terkait kestabilan lereng, terdapat beberapa komponen data yang harus dipenuhi, antara lain: *unit weight* (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ) dan koefisien kegempaan (*seismic load*), agar analisis kestabilan lereng dapat dilakukan dengan komperhensif mewakili keadaan dan kondisi aktual dari lokasi penelitian. Material tanah yang mengandung tanah liat terkadang memiliki kelemahan berupa penurunan kuat geser saat berinteraksi dengan air (airtanah maupun air hujan), sehingga menjadi rawan terhadap erosi dan tanah longsor (Nayak dkk., 2024).

Dari hasil analisis kestabilan lereng menggunakan metode Bishop (Tabel 2), yang mengacu pada *threshold overall slope* berdasarkan Kepmen ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 untuk *overall slope*, terkonfirmasi bahwa area penelitian yang merupakan lahan bekas lokasi penambangan konvensional ilegal memiliki nilai FoS yang cenderung labil. Dari lima *cross section* yang menjadi representasi area penelitian, lereng-lereng yang berada pada area barat-timur memiliki nilai FoS dibawah standar yang di tetapkan, serta memiliki nilai PoF diluar ambang batas yang telah ditetapkan. Adapun nilai FoS yang dihasilkan dari kelima lokasi lereng aktual di area penelitian berkisar antara 0.516-1.076, sedangkan rentang PoF berkisar pada angka 26.2-100%. Area timur lokasi penelitian diwakili oleh *cross section section 1*, dengan nilai FoS sebesar 0.655 dan PoF 100%. Area tengah diwakili oleh 3 *cross section* yaitu section 2-4, salah satu fokus dari penulis pada

area ini adalah adanya perubahan morfologi dan ekskavasi lereng yang masif dan cukup sporadis, sehingga menghasilkan kondisi area yang cenderung kritis hingga labil seperti terlihat pada Gambar 5. Pada *section 2* FoS bernilai 0.516 dengan PoF 100%, pada *section 3* FoS bernilai 0.664 dengan PoF 100%, dan pada *section 4* FoS bernilai 1.076 dengan PoF 26.20%. Sedangkan untuk lereng pada area barat direpresentasikan oleh *section 5*, dengan nilai FoS 0.564 dan PoF 100%. Grafik nilai FoS aktual lereng yang terpengaruh aktifitas penambangan ilegal pada area penelitian dapat dilihat pada Gambar 7.

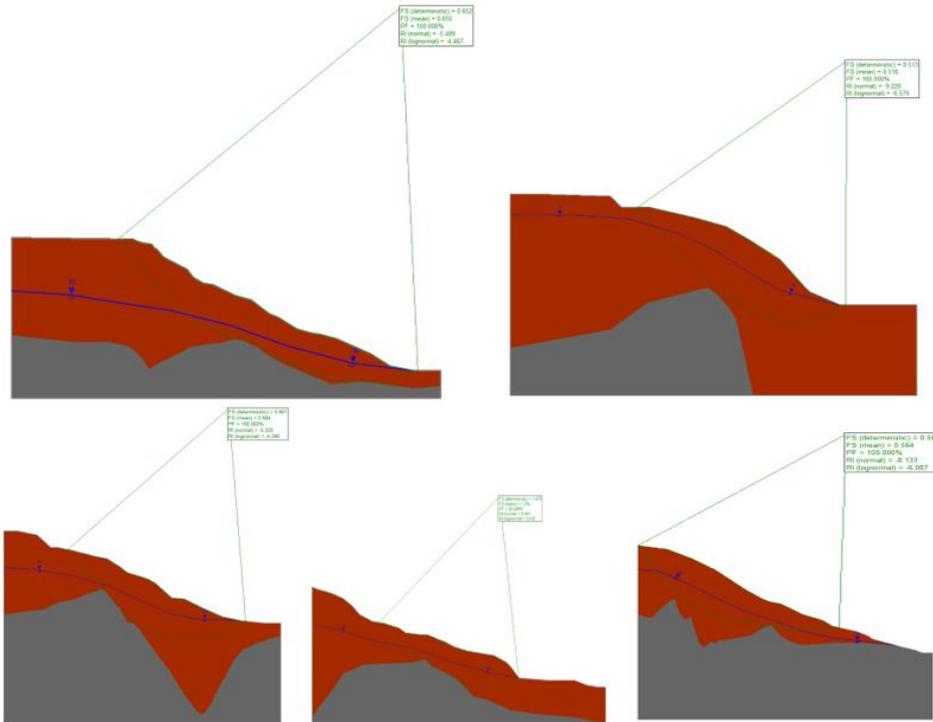
Kecenderungan material untuk mengalami longsoran berkaitan dengan kondisi geometri lereng *existing*, yang terbentuk akibat penambangan konvensional yang tidak terencana dan tidak mengikuti kaidah pertambangan yang baik. Sehingga *overall slope* dengan tinggi berkisar antara 40-107 m hanya membentuk satu buah *single slope* dengan kisaran *slope angle* adalah 22°-29°, dengan kondisi fisik dan mekanik material pembentuk lereng yang ada, sangatlah tidak mendukung untuk keterbentukan geometri lereng tersebut.



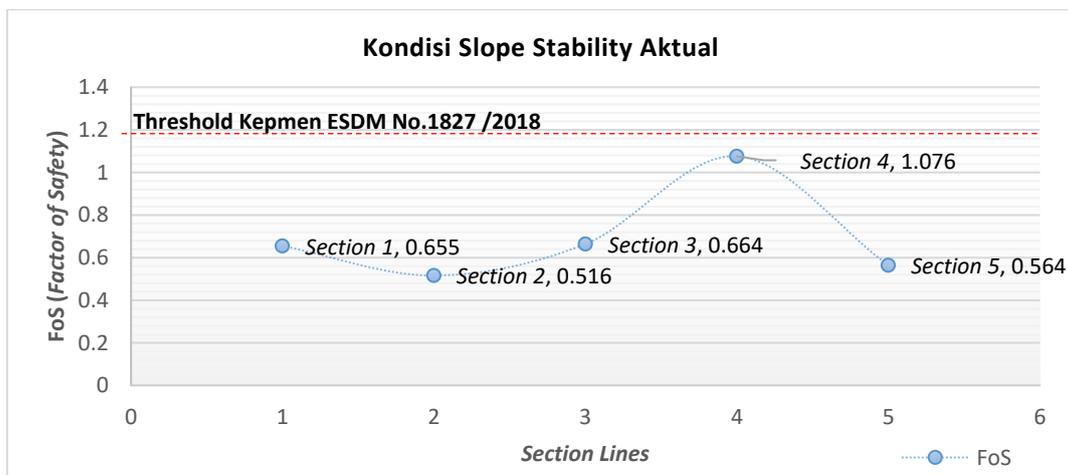
Gambar 5. Kondisi aktual kenampakan lereng diarea penelitian yang cendrung pada fase kritis-labil

Tabel 2. Hasil simulasi *factor of safety*

Section	Slope geometry		Actual (Bishop)		Threshold overall slope (Kepmen ESDM No. 1827 K 30 MEM 2018)		
	Slope angle (°)	Slope height (m)	FoS	PoF %	FoS	PoF %	Status CoF
Section 1	26	95	0.655	100.00			High
Section 2	27	50	0.516	100.00			High
Section 3	22	73	0.664	100.00	1.10	15 - 20	High
Section 4	22	40	1.076	26.20			High
Section 5	29	107	0.564	100.00			High



Gambar 6. Hasil simulasi perhitungan *factor of safety* pada lokasi penelitian



Gambar 7. Grafik nilai FoS aktual lereng-lereng yang terpengaruh aktifitas penambangan ilegal pada area penelitian

Selain faktor geometri lereng yang terbentuk akibat proses penambangan ilegal, curah hujan yang cukup tinggi di kawasan dengan iklim tropis menyebabkan infiltrasi air hujan menjadi tidak terbendung pada saat curah hujan mencapai puncaknya pada *wet season*. Selain itu, tidak terbentuknya jalur air dan drainase pada kawasan tersebut membuat laju *run off* air hujan menjadi tidak terkontrol. Potensi longsor akibat *run off* air hujan yang membawa debris material banyak ditemukan di bagian kaki lereng area penelitian. Pergerakan pada lereng dapat diamati melalui penurunan vertikal (*vertical settlement*) yang meningkat seiring bertambahnya tinggi timbunan.

Hasil penelitian menunjukkan adanya kecenderungan utama perpindahan yang diamati pada lereng timbunan berupa penurunan secara vertikal yang meningkat seiring dengan tinggi timbunan. Fenomena ini terjadi karena adanya regangan tambahan yang disebabkan oleh beban tambahan dari lapisan tanah atas terhadap lapisan tanah bawah, sehingga terjadi deformasi berupa penurunan. Dengan berkembangnya penimbunan kembali pada lereng, menyebabkan tanah di bagian bawah secara bertahap terpadatkan dan terdorong ke depan akibat pengaruh gravitasi. Hal ini menyebabkan kompresi lateral tanah di sisi luar kaki lereng yang menyebabkan tanah di bagian depan kaki lereng mengalami pelendutan/*bulging* (Zhou dkk., 2024).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dampak dari penambangan konvensional tanpa izin pada morfologi dan alih guna lahan sangatlah berbahaya, baik dari segi dampak terhadap lingkungan maupun potensi *geological hazard* yang terkandung di dalamnya. Dari hasil penelitian dan observasi dilapangan, ditemukan bahwa aktifitas penambangan tersebut telah menghasilkan area-area yang cenderung kritis dan labil. Nilai FoS dan PoF yang dianalisis langsung dari kondisi aktual area penelitian menunjukkan bahwa semua area berada di luar ambang batas yang ditentukan pemerintah. Hal ini dapat menjadi bahan perhatian kita bersama, bahwa segala bentuk alih fungsi lahan harus mengikuti regulasi dan kaidah pertambangan yang baik, termasuk didalamnya usaha pertambangan dan konstruksi infrastruktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih pada semua pihak yang membantu dalam mewujudkan penelitian ini, serta kepada seluruh dosen pembimbing dan Laboratorium Geologi Teknik Universitas Padjadjaran atas semua dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsharifia, Z., Mahmood, M.S. dan Akhtarpourb, A. (2021) "Numerical evaluation of slope stability for construction and seismic loads: case study," *International Journal of Engineering*, 34(7), hal. 1602–1610. Tersedia pada: <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.07a.05>.
- Cen, L., Peng, X. dan Dai, Q. (2024) "Response of the stability of soil aggregates and erodibility to land use Patterns in wetland ecosystems of Karst Plateau Plateau," *Forests*, 15(4), hal. 599. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/f15040599>.
- Hasibuan, S. dan Heriyadi, B. (2020) "Analisis balik kestabilan lereng bekas disposal area dengan menggunakan metode Bishop di tambang PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat," *Jurnal Bina Tambang*, 5(4), hal. 46–56.
- Hunt, R.E. (2007) "Landslide and other slope failures," in *Geologic Hazards: a Field Guide for Geotechnical Engineers*, hal. 3–135.
- Idris, S.R., Muslim, D., Sulaksana, N. dan Burhannudinnur, M. (2019) "Karakteristik kestabilan lereng daerah Jatigede Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat berdasarkan analisis kinematik," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), hal. 89–96. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No2.2019.1009>.
- Iqbal, P., Muslim, D., Zakaria, Z., Permana, H., Satriyo, N.A., Syahbana, A.J., Yunarto, Khoirullah, N. dan Asykarullah, A.W. (2020) "Swelling potential of volcanic residual soils in Sumatra (Indonesia) in relation to environmental issues," *Environmental & Socio-economic Studies*, 8(4), hal. 1–10. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2478/environ-2020-0019>.
- Khodijah, S., Monica, U.S., Ersyari, J., Khoirullah, N. dan Sophian, R.I. (2023) "Potensi longsor berdasarkan analisis kinematik pada area low wall PT. Bukit Asam Tbk, site Tanjung Enim,

- Sumatera Selatan," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 19(2), hal. 111–124. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol19.No2.2023.1363>.
- Kolay, a k (1993) *Basic Concepts of Soil Science*. New Age International Publisher.
- Liu, Y., Lai, J. dan Xu, J. (2024) "Study on slope monitoring and stability based on bolt–cable combined support," *Buildings*, 14(4), hal. 886. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/buildings14040886>.
- Maeda, H., Sasaki, T., Furuta, K., Takashima, K., Umemura, A. dan Kohno, M. (2012) "Relationship between landslides, geologic structures, and hydrothermal alteration zones in the Ohekisawa-Shikerebembetsugawa landslide area, Hokkaido, Japan," *Journal of Earth Science and Engineering*, 2, hal. 317–327.
- Mala, B. dan Dahal, B.K. (2021) "Effect of rainfall on stability of soil slope," in *Proceedings of 10th IOE Graduate Conference*, hal. 1299–1303.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2018) *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik*. Jakarta.
- Nayak, D., Sarvade, P.G., Udayashankar, H.N., Maddodi, B.S. dan Kumar, M.P. (2024) "Correlation of geotechnical and mineralogical properties of lithomargic clays in Uttara Kannada Region of South India," *Geosciences*, 14(4), hal. 92. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/geosciences14040092>.
- Sikumbang, N. dan Heryanto, R. (1994) "Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan 1:250,000." Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Singh, B.K. dan Um, W. (2023) "Application of clay materials for sorption of radionuclides from waste solutions," *Minerals*, 13(2), hal. 239. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/min13020239>.
- Sirait, B., Pulungan, Z. dan Pujiyanto, E. (2021) "Identifikasi potensi longsor lereng pada kuari batugamping menggunakan analisis kinematika," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(2), hal. 61–75. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol17.no2.2021.1113>.
- Wahyuzi, R., Zakaria, Z. dan Sophian, R.I. (2018) "Slope stability affected by percentage of soil water content in Dago Giri, West Bandung regency," in *AIP Conference Proceedings*, hal. 7. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1063/1.5047315>.
- Wang, H., Wang, Y. dan Jin, F. (2024) "Stability of expansive soil slopes under wetting–drying cycles based on the discrete element method," *Water*, 16(6), hal. 861. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/w16060861>.
- Yang, Z., Ding, X., Liu, X., Wahab, A., Ao, Z., Tian, Y., Bang, V.S., Long, Z., Li, G. dan Ma, P. (2024) "Slope deformation mechanisms and stability assessment under varied conditions in an iron mine waste dump," *Water*, 16(6), hal. 846. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/w16060846>.
- Zakaria, Z. (2009) *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Bandung: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran.
- Zakaria, Z. (2010) "Model starlet, suatu usulan untuk mitigasi bencana longsor dengan pendekatan genetika wilayah (Studi kasus: Longsor Citatah, Padalarang, Jawa)," *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(2), hal. 93–112. Tersedia pada: <https://doi.org/10.17014/ijog.v5i2.95>.
- Zakaria, Z., Jihadi, L.H., Sabila, Z.S. dan Oscar, A.W. (2015) "Simulation of slope stability in the dry and rainy season at Jatinangor, District of Sumedang, West Java," in *Proceedings of The 2nd International Conference Hanoi 2015*. Hanoi, hal. 358–365.
- Zakaria, Z., Sulaksana, N., Sophian, R.I. dan Alam, B. (2022) "Hexa Helix, participatory concept to support landslide early warning system," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 989(1), hal. 8. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012031>.
- Zedek, L., Šembera, J. dan Kurka, J. (2024) "Inclusion of nature-based solution in the evaluation of slope stability in large areas," *Land*, 13(3), hal. 372. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/land13030372>.
- Zhou, B., Zhong, H., Yang, K., Yang, X., Cai, C., Xiao, J., Liu, Y. dan Yuan, B. (2024) "A study on the factors influencing high backfill slope reinforced with anti-slide piles under static load based on numerical simulation," *Buildings*, 14(3), hal. 799. Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/buildings14030799>.

Zulfahmi, Z. (2022) "Geotechnical study for analyzing slope stability between two mining pit boundary," *Indonesian Mining Journal*, 25(1), hal. 1–11. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/imj.Vol25.No1.2022.1279>.