

# POTENSI PEMANFAATAN REL BEKAS SEBAGAI PENGGANTI DINDING PENAHAN TANAH (DPT) UNTUK MENDUKUNG MITIGASI BENCANA KELONGSORAN TANAH

M. Arva Kurniawan Tasri<sup>1</sup>, M. Putra Gunawan<sup>2</sup>, Nita Anggraini<sup>3\*</sup>, Luthfiyyah Ulfah<sup>4</sup>,  
Dimitri Yulianti<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Diploma Tiga Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya

\*Email : nita.anggraini@polsri.ac.id

## Abstract

*Used railway rails are one of the non-hazardous waste materials generated from the operational activities of PT Bukit Asam (PTBA). These materials tend to accumulate in storage areas because they are difficult to reuse through conventional recycling processes. Therefore, an alternative utilization method is required to reduce waste accumulation while providing additional functional value. One potential application is the use of used rails as retaining walls. This concept is based on the mechanical properties of steel rails, which possess high structural capacity, good stiffness, and a cross-sectional shape similar to steel piles used in sheet pile retaining wall systems. PTBA has implemented this method by installing used rails vertically at the toe of slopes in mining areas susceptible to instability. The installation is intended to increase the lateral resistance of the soil, thereby restraining soil mass movement and improving slope stability. To evaluate its effectiveness, a numerical analysis was conducted using a finite element method-based program. The analysis compared slope conditions before and after the installation of used rails under two soil types, namely sandy soil and clayey soil. The results indicate that, prior to rail installation, the slopes did not satisfy the required safety criteria, with factors of safety of 0.918 for sandy soil and 1.147 for clayey soil. Following the installation of the used rails, the factors of safety increased significantly to 1.565 and 1.545, respectively. These findings demonstrate that used rails can effectively function as retaining walls to enhance slope stability and offer a promising innovative solution for waste material management in the mining industry.*

**Keywords :** *used railway rails, retaining wall, slope stability, mining waste management*

## 1. PENDAHULUAN

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk atau yang lebih dikenal dengan nama PTBA merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batu bara. Titik awal berdirinya perusahaan ini adalah ketika tambang air laya di Tanjung Enim pada kisaran tahun 1923 hingga tahun 1940 mulai beroperasi dengan mengaplikasikan metode penambangan bawah tanah. Seiring semakin meningkatnya kegiatan produksi, selanjutnya di tahun 1950 pemerintah mengesahkan pendirian Perusahaan Negara Tambang Arang Bukit Asam (PN TABA) yang kemudian pada tahun 1981 berubah status dan berganti nama menjadi PT. Bukit Asam (Persero) atau PTBA yang dikenal hingga saat ini. Selain kegiatan utama pertambangan batu bara, PTBA juga

terlibat dalam kegiatan terkait, seperti penjualan batubara, pengembangan infrastruktur, dan kegiatan usaha lainnya yang terkait dengan industri pertambangan.

Hal yang kemudian menjadi sangat penting dari kegiatan pertambangan batu bara ini adalah limbah yang dihasilkan. Terdapat dua katagori limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan batu bara, antara lain limbah yang tergolong bahan berbahaya dan beracun (limbah B3) dan limbah yang tergolong bukan bahan yang berbahaya dan bukan yang beracun (limbah Non-B3). Berdasarkan data terbaru yang dikumpulkan oleh PTBA pada tiga tahun terakhir (2020 – 2022) (PT.Bukit Asam, n.d.) bahwa limbah padat B3 yang dihasilkan oleh PTBA secara berturut yaitu sekitar 405 ton limbah pada

tahun 2020, sekitar 531,21 ton limbah pada tahun 2021 dan sekitar 743,92 ton limbah pada tahun 2022. Limbah padat B3 ini terdiri dari filter bekas, aki bekas, bahan terkontaminasi B3, lampu, cartridge/toner, grease bekas, hose bekas, limbah laboratorium, sludge, limbah elektronik, asbestos, dan radiator cleaning. Selain itu terdapat juga limbah padat non-B3 yang dihasilkan oleh PTBA selama tiga tahun terakhir, yaitu sekitar 250,72 ton limbah pada tahun 2020, sekitar 263,23 ton limbah pada tahun 2021, dan sekitar 260,45 ton limbah pada tahun 2022. Limbah padat non-B3 ini terdiri dari limbah belt conveyor, limbah roller conveyor (besi), limbah track plate (besi), limbah bucket (besi), limbah belt frame (besi), limbah rel (besi), limbah chain (besi), limbah wearing plate (besi), limbah drum (besi), limbah shaft (besi), limbah roller AF (besi), limbah seng (besi), limbah besi konstruksi workshop lama (besi), plastik, kaca, kaleng, sisa makanan, kertas, daun, kayu, limbah rumput dan daun bambu dan limbah batang bambu.

Sesuai dengan visi dan misi dari PTBA yaitu menjadi perusahaan yang peduli akan kelestarian lingkungan, PTBA mengeluarkan berbagai program pengelolaan lingkungan, salah satu program ini adalah program memanfaatkan rel bekas sebagai material pengganti dinding penahan tanah serta dianggap mampu mencegah kelongsoran tanah. Namun, hal ini perlu dikaji kembali untuk menjawab pertanyaan seberapa besar rel bekas tersebut mampu menahan tanah agar tidak terjadi kelongsoran. Selain itu, perlu ditinjau juga bagaimana konfigurasi ataupun susunan rel bekas agar efektif mampu mencegah kelongsoran tanah. Dengan demikian, hasil dari kajian ini akan menjadi langkah awal dalam kegiatan penggunaan kembali (*reuse*) limbah rel bekas.

Salah satu program pengelolaan limbah padat yang digagas oleh PTBA yaitu penggunaan kembali (*reuse*) limbah rel bekas sebagai pengganti material dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran tanah. Penggunaan limbah rel bekas sebagai dinding penahan tanah perlu dikaji terlebih dahulu supaya dapat dipastikan mampu menahan lereng tanah. Kajian akan mencakup bagaimana konfigurasi dan susunan rel yang efektif sehingga dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendukung program pengelolaan lingkungan yang telah digagas oleh PTBA agar program tersebut dapat direalisasikan dan berjalan dengan lancar. Selain itu terdapat manfaat penting dari hasil penelitian ini adalah

1. Limbah padat non-B3 berupa rel bekas dapat dikelola dengan baik sehingga tidak menumpuk pada area penyimpanan.
2. Rel bekas yang terbukti dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah artinya akan mengurangi biaya konstruksi pembangunan dinding penahan tanah dari beton pada lereng-lereng tanah.
3. Dapat mencegah terjadinya kelongsoran di area-area tanah yang memiliki kemiringan yang cukup curam, terutama di area-area penambangan batu bara PTBA.

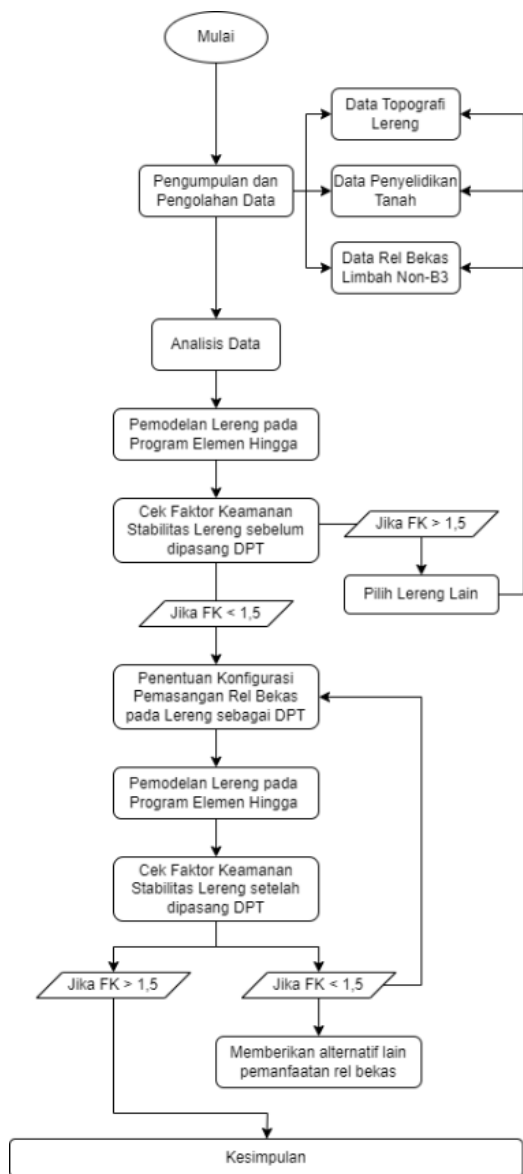
## 2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan tahap pengumpulan data yang terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi lapangan pada area lereng yang ditinjau, meliputi kondisi geometrik lereng dan elevasi, serta dokumentasi visual lokasi penelitian. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen teknis perusahaan, hasil investigasi tanah sebelumnya, peta topografi, data stratigrafi, serta parameter geoteknik tanah yang diperlukan dalam analisis.

Tahap berikutnya adalah melakukan analisis kestabilan lereng menggunakan program berbasis metode elemen hingga. Pemodelan awal dilakukan terhadap kondisi lereng eksisting tanpa perkuatan atau tanpa dinding penahan tanah. Model ini bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual kestabilan lereng melalui nilai faktor keamanan (FK). Nilai FK hasil analisis kemudian dibandingkan dengan kriteria desain yang digunakan dalam SNI 8460 – 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, yaitu FK minimum sebesar 1,5. Apabila hasil analisis menunjukkan nilai FK lebih besar dari 1,5, maka lereng dinyatakan stabil dan tidak memerlukan penambahan struktur penahan tanah. Sebaliknya, apabila nilai FK kurang dari 1,5, maka lereng dinyatakan belum memenuhi syarat keamanan sehingga diperlukan upaya perkuatan. Perkuatan dilakukan dengan memodelkan dinding penahan tanah

menggunakan elemen plate pada program elemen hingga. Parameter material elemen plate diinput berdasarkan sifat mekanis rel bekas sebagai alternatif material konstruksi. Rel bekas dimodelkan terpasang pada bagian kaki lereng atau zona kritis yang berpotensi mengalami kelongsoran.

Setelah penambahan elemen rel bekas, dilakukan pemodelan ulang untuk memperoleh nilai faktor keamanan baru. Hasil analisis pascaperkuatan kemudian dievaluasi. Jika nilai faktor keamanan meningkat hingga melebihi 1,5, maka dapat disimpulkan bahwa rel bekas efektif digunakan sebagai pengganti dinding penahan tanah dalam meningkatkan stabilitas lereng dan mencegah terjadinya kelongsoran.



Gambar 1. Alur Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengelolaan Limbah Non-B3

Berdasarkan kandungannya, limbah dikategorikan menjadi dua macam, yaitu limbah bahan berbahaya dan beracun yang kemudian disingkat menjadi limbah B3 dan limbah bukan bahan berbahaya dan beracun yang kemudian disingkat menjadi limbah non B3 (Indonesia Patent No. No.19 Tahun 2021, 2021). Kedua jenis limbah ini dapat berbentuk limbah cair, limbah padat ataupun limbah gas/partikel. Namun, karakteristik dari kedua limbah tersebut sangat bertolak belakang. Limbah B3 merupakan sisa kegiatan produksi yang keberadaannya dapat merusak ekosistem lingkungan karena memiliki kandungan berbahaya di dalam nya. Berbeda dengan limbah non B3 yang merupakan sisa kegiatan produksi yang keberadaannya lebih kepada merusak pemandangan karena jika tidak dikelola dengan baik maka akan membuat lingkungan menjadi kumuh dan tidak terawat. Untuk itu, pengelolaan kedua limbah tersebut memiliki tantangan masing-masing.

Peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan nomor 19 tahun 2021 mengatur tentang tata cara pengelolaan limbah non bahan berbahaya dan beracun. Berdasarkan permen no.19 tahun 2021 (Indonesia Patent No. No.19 Tahun 2021, 2021), terdapat beberapa cara pengelolaan limbah non B3 antara lain dengan cara pengurangan, penyimpanan, pemanfaatan, penimbunan, pengangkutan, dan perpindahan lintas batas limbah non B3.

1. Cara Pertama: Pengurangan terhadap limbah non B3 yang belum dihasilkan dapat dilakukan dengan cara modifikasi proses produksi ataupun kegiatan dengan menggunakan teknologi yang ramah terhadap lingkungan. Untuk pengurangan limbah non B3 yang telah dihasilkan dapat dilakukan dengan cara pencacahan, penggilingan, pemadatan, dan termal.
2. Cara Kedua: Penyimpanan limbah non B3 merupakan cara pengelolaan yang membutuhkan suatu tempat yang besar untuk menyimpan limbah non B3. Tempat penyimpanan dapat berupa bangunan, silo atau lapangan untuk menumpuk limbah non B3 (*waste pile*). Penyimpanan limbah non B3 harus

- dikemas secara rapi dan diberi label agar mudah dipantau.
3. Cara Ketiga: Pemanfaatan limbah non B3 merupakan kegiatan yang memanfaatkan limbah sebagai pengganti bahan baku, sebagai pengganti bahan energi, sebagai pengganti suatu produk.
  4. Cara Keempat: Penimbunan limbah non B3 hampir mirip dengan cara penyimpanan. Hanya pada penimbunan biasanya digunakan area bekas tambang sebagai tempat untuk menimbun limbah non B3.
  5. Cara Kelima: Pengangkutan. Pengelolaan limbah dengan cara pengangkutan yang dimaksud adalah memindahkan limbah dari tempat penyimpanan ke tempat pemanfaatan limbah. Dalam proses pengangkutan harus dipantau agar tidak terjadi limbah yang tercecer dalam perjalanan.
  6. Cara Keenam: Pengelolaan limbah dengan cara perpindahan lintas batas adalah kegiatan mengeksport limbah dari suatu negara ke negara lain yang mampu mengelola limbah non B3.

Dari banyak cara pengelolaan limbah non B3 yang telah dijelaskan dalam Permen No.19 Tahun 2021, terdapat tiga metode yang dapat melestarikan lingkungan. Metode pengelolaan limbah padat non B3 tersebut dilakukan dengan cara 3R yaitu reduce, reuse, dan recycle yang dalam bahasa Indonesia adalah pengurangan, pemanfaatan dan daur ulang (Vogtlander, Scheepens, Bocken, & Peck, 2017) (Vogtlander, Brezet, & Hendriks, The virtual eco-costs '99 A single LCA-based indicator for sustainability and the eco-costs-value ratio (EVR) model for economic allocation, 2001). Sejalan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.1 Tahun 2021 tentang program penilaian peringkat kinerja perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup (Indonesia Patent No. Nomor 1 Tahun 2021, 2021), bahwa kinerja paling baik dari suatu perusahaan dalam pengelolaan lingkungan hidup adalah mengubah pendekatan kumpul-angkut-buang (end of pipe) menjadi pendekatan 3R yaitu reduce, reuse, dan recycle. Aspek penilaian tersebut terdiri atas beberapa kriteria yaitu apakah perusahaan memiliki kebijakan tertulis dalam pelaksanaan pengelolaan limbah dengan cara 3R,

perusahaan memiliki tim yang bertanggung jawab dalam program pengelolaan limbah dengan cara 3R, perusahaan memiliki rencana strategis dalam pengelolaan limbah dengan cara 3R, perusahaan memiliki program yang jelas terhadap pengelolaan limbah dengan cara 3R, perusahaan memiliki ketersediaan dana dalam pelaksanaan program pengelolaan limbah dengan cara 3R, dan apakah perusahaan memberikan pelatihan kepada staf tentang prosedur pengelolaan limbah dengan cara 3R.

### **Pemanfaatan Limbah Non B3**

Salah satu cara pengelolaan limbah non B3 yang mendukung kegiatan pelestarian lingkungan dan dapat meningkatkan peringkat kinerja perusahaan dalam kegiatan pengelolaan lingkungan hidup adalah dengan cara memanfaatkan limbah non B3 menjadi bahan baku, bahan energi atau material dengan banyak fungsi (Indonesia Patent No. Nomor 1 Tahun 2021, 2021).

Beberapa contoh pemanfaatan limbah non B3 antara lain PT. Indocement Tunggul Prakasa Tbk (PT.ITP) yang memanfaatkan limbah kantong semen reject menjadi kantong souvenir atau kantong obat (Lestianingrum, Nobon, & Ariyanto, 2022); PT. Borneo Indobara memanfaatkan limbah ban bekas untuk rompon ikan dan planula karang (Werdana, 2022); PT. Antam memanfaatkan limbah slag dan tailing sebagai bahan campuran dalam kegiatan konstruksi (PT. Antam, 2020); Potensi limbah kertas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku paper ropes (Romas, Pramuaji, Indriati, & Wirawan, 2017); dan PTBA yang memanfaatkan rel bekas sebagai pengganti dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran pada lereng (Komite Lingkungan-UPTE, 2022).

### **Pengelolaan Limbah Non B3 di PTBA**

PT. Bukit Asam merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dan menghasilkan berbagai macam limbah padat non B3. Berdasarkan data website PTBA, total limbah padat non B3 adalah 260,45 ton pada tahun 2022; sekitar 263,23 ton limbah pada 2021 dan sekitar 250,72 ton limbah pada tahun 2020. Limbah padat non-B3 ini terdiri dari limbah belt

conveyor, limbah roller conveyor (besi), limbah track plate (besi), limbah bucket (besi), limbah belt frame (besi), limbah rel (besi), limbah chain (besi), limbah wearing plate (besi), limbah drum (besi), limbah shaft (besi), limbah roller AF (besi), limbah seng (besi), limbah besi konstruksi workshop lama (besi), plastik, kaca, kaleng, sisa makanan, kertas, daun, kayu, limbah rumput dan daun bambu dan limbah batang bambu. Limbah non B3 ini jika tidak dikelola dengan baik maka akan menimbulkan masalah pada lingkungan hidup.

Salah satu limbah padat non B3 yang dibahas dalam program pengelolaan lingkungan yang disusun oleh PTBA adalah limbah rel bekas. Penampakan limbah rel bekas di PTBA dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Rel Bekas Limbah Non B3 (Sumber: Program Pengelolaan Lingkungan PTBA, 2022)

Jumlah limbah rel bekas yang dihasilkan oleh PTBA berturut-turut dari tahun 2020 hingga tahun 2022 adalah 4,86 ton; 4,90 ton dan 8,60 ton. Tumpukan rel bekas ini akan merusak pemandangan dan membuat lingkungan menjadi kumuh. PTBA berinisiasi menjadikan limbah rel bekas sebagai pengganti dinding penahan tanah untuk mencegah kelongsoran.

### Berbagai Alternatif Pencegahan Longsor

Indonesia merupakan negara dengan topografi yang terdiri dari dataran rendah, dataran tinggi, gunung dan pegunungan atau perbukitan. Dengan topografi yang demikian Indonesia sering dihadapkan dengan masalah kelongsoran tanah. Sudah banyak alternatif pencegahan kelongsoran tanah yang dikembangkan dan diaplikasikan di Indonesia.

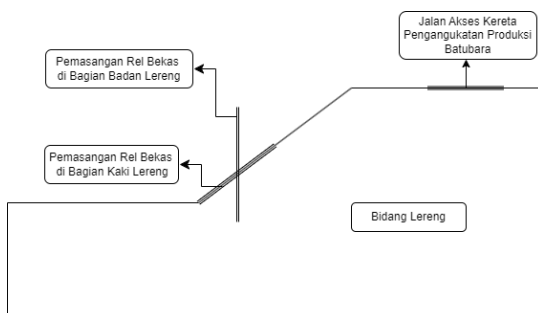
Melandaikan lereng dengan kemiringan tertentu merupakan salah satu metode untuk mengurangi potensi kelongsoran (Anggraini & Sarifah, Penentuan Kemiringan Lereng Pengerukan Pantai Tanah Lempung dengan Penggunaan Data Standard Penetration Test, 2023) dan sudah diaplikasikan di Indonesia (Anggraini, Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Elemen Hingga (Studi : Proyek New Priok Container Terminal), 2023). Pencegahan kelongsoran juga dapat dilakukan dengan menanam tanaman pengikat tanah seperti rumput, cover crops, atau tanaman pendek dengan akar yang kuat sehingga dapat mengikat tanah dan mencegah kelongsoran tanah (Hamdhan, Pratiwi, & Rahmah, 2020). Selain cara vegetasi, penggunaan bahan geotextile atau geogrid di lereng juga dapat membantu meningkatkan stabilitas tanah (Rizqullah & Yelvi, 2022). Dan yang paling populer diterapkan di Indonesia adalah dengan memasang dinding penahan tanah (DM & Wirawan, 2023). Dinding penahan tanah dapat dipasang di pinggir badan jalan untuk menahan lereng (Putra, Ardana, & Aryati, 2010), dapat juga dipasang untuk menahan konstruksi yang ada di area tebing (Yelvi & Salimah, 2020). Dinding penahan tanah memiliki banyak jenis, antara lain dinding penahan tanah tipe gravitasi, dinding penahan tanah tipe kantilever, dinding penahan tanah tipe counterfort, dan dinding penahan tanah tipe sheetpile atau turap. Dinding penahan tanah didesain dengan ukuran yang berbeda-beda tergantung dengan ketinggian lereng dan besarnya tekanan tanah aktif yang akan bekerja di belakang dinding penahan tanah.



Gambar 3. Proses Pengelolaan Limbah Rel Bekas yang Telah Dilakukan

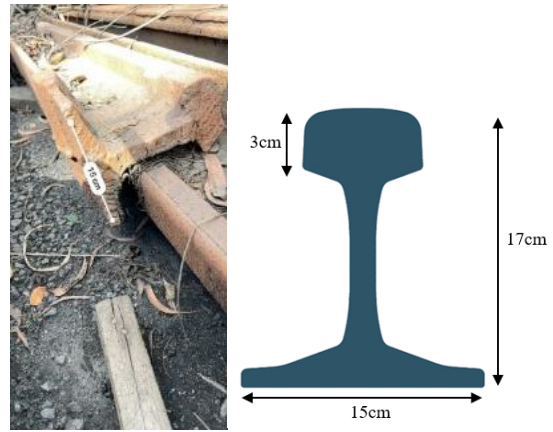
## Kondisi Eksisting Pemasangan Rel Bekas sebagai DPT

Pemanfaatan rel bekas sebagai dinding penahan tanah adalah salah satu inovasi dalam konstruksi yang memanfaatkan bahan daur ulang. Rel bekas yang sudah tidak terpakai bisa digunakan sebagai material utama dalam pembuatan dinding penahan tanah. Berdasarkan hasil kunjungan ke area pertambangan PTBA di Air Laya, rel bekas telah dipasang pada satu lokasi. Lokasi tersebut terletak pada lereng di sekitar akses jalan kereta angkutan produksi batubara. Jarak antara lereng dan akses jalan kereta pengangkutan produksi batubara yaitu sekitar 7 meter. Pada saat musim penghujan, akses jalan ini dikhawatirkan akan mengalami kelongsoran akibat aliran air yang merembes ke dalam tanah di sekitar lereng, sehingga rel bekas dipasang sebagai dinding penahan tanah. Panjang lereng yang dipasang rel bekas yaitu sekitar 20 meter. Pada bagian kaki lereng, rel bekas dipasang secara vertikal dan secara horizontal dan membentuk pola jaring. Pada bagian badan lereng, rel bekas dipasang secara vertikal saja dengan jarak antar rel bekas yaitu sekitar 2 meter.



Gambar 4. Kondisi Topografi Lereng

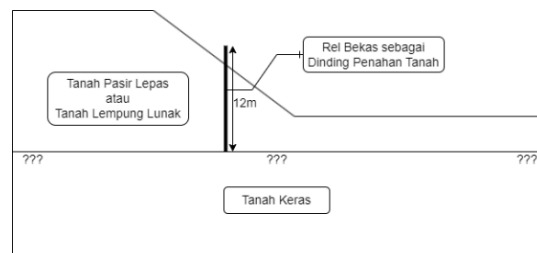
Rel bekas yang ada di lokasi penambangan batubara dikumpulkan dan diletakkan di beberapa lokasi penyimpanan. Panjang rel bekas berkisar 12 meter per batang. Penampang rel bekas berbentuk seperti huruf I dengan dimensi tertentu.



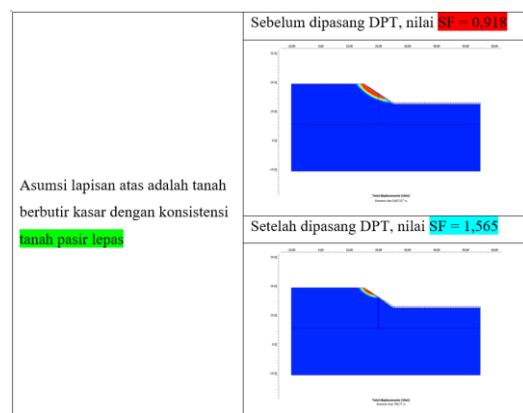
Gambar 5. Penampang Rel Bekas

## Pemodelan Lereng dan DPT pada Program Elemen Hingga

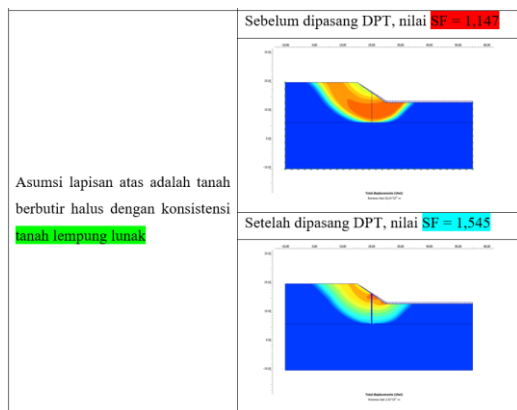
Pemodelan dinding penahan tanah menggunakan program elemen hingga seperti Plaxis memungkinkan analisis interaksi antara struktur dan tanah secara mendalam. Pendekatan ini sangat penting dalam desain geoteknik untuk memastikan kestabilan dinding penahan tanah, menghindari keruntuhan, dan mengoptimalkan penggunaan material.



Gambar 6. Pemodelan Geometri saat Pemasangan Rel Bekas



Gambar 7. Hasil Pemodelan Lereng dengan Kondisi Tanah Pasir



Gambar 8. Hasil Pemodelan Lereng dengan Kondisi Tanah Lempung

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pemanfaatan rel bekas sebagai dinding penahan tanah terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng pada area pertambangan. Analisis numerik menunjukkan bahwa kondisi lereng awal pada tanah pasiran maupun tanah lempung belum memenuhi kriteria keamanan, namun setelah pemasangan rel bekas nilai faktor keamanan meningkat hingga berada pada kondisi aman. Selain memberikan fungsi struktural yang baik melalui peningkatan tahanan lateral tanah, penggunaan rel bekas juga menjadi alternatif inovatif dalam mengurangi penumpukan limbah non-B3 hasil operasional pertambangan. Dengan demikian, rel bekas memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai solusi yang ekonomis, fungsional, dan berkelanjutan dalam pengelolaan limbah material serta penanganan kestabilan lereng di lingkungan tambang.

#### REFERENSI

Anggraini, N. (2023). Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Elemen Hingga (Studi : Proyek *New Priok Container Terminal*). Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil, 8(1), 1-5.

Anggraini, N., & Sarifah, F. (2023). Penentuan Kemiringan Lereng Pengerukan Pantai Tanah Lempung dengan Penggunaan Data Standard Penetration Test. *Proceedings 27th Annual National Conference on Geotechnical Engineering*, 27, 318-323.

DM, A. P., & Wirawan, R. (2023). Perencanaan Pencegahan Tanah Longsor dengan Metode Dinding Penahan Tanah. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(1), 59-63.

Hamdhan, I. N., Pratiwi, D. S., & Rahmah, R. A. (2020). Analisis Stabilitas pada Lereng dengan Perkuatan Tanaman Vetiver Menggunakan Metode Elemen Hingga 3D. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(2), 174-182.

Komite Lingkungan-UPTE. (2022). Program Pengelolaan Lingkungan. Tanjung Enim, Sumatera Selatan: PT. Bukit Asam.

Lestianingrum, E., Nobon, & Ariyanto, T. (2022). Tanggung Jawab Sosial, Ekonomi, dan Lingkungan PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk (PT ITP) melalui Program *Reduce, Reuse, Recycle, dan Recovery* Kantong Semen. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 151-158.

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Indonesia Patent No. No.19 Tahun 2021.

Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Indonesia Patent No. Nomor 1 Tahun 2021.

PT. Antam. (2020). Laporan Keberlanjutan 2020 *Sustainability Report*. Jakarta: PT. Antam.

PT.Bukit Asam. (n.d.). ptba.co.id. (PTBA) Retrieved December Monday, 2023, from <https://www.ptba.co.id/esg/kinerja-lingkungan/pengelolaan-limbah-b3>

Putra, T. G., Ardana, M. D., & Aryati, M. (2010). Analisis Stabilitas Lereng pada Badan Jalan dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah (Studi Kasus Jalan Raya Selemadeg, Desa Bantas, Kecamatan Selemadeg Timur, Kabupaten Tabanan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 36-42.

Rizqullah, P. G., & Yelvi. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung –

- Cilincing Seksi 2 STA 6+475). Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, 19(2), 145-156.
- Romas, M. S., Pramuaji, I., Indriati, L., & Wirawan, S. K. (2017). Potensi Kertas sebagai Bahan Baku Paper Ropes. Jurnal Selulosa, 7(2), 91-100.
- Vogtlander, J., Brezet, H., & Hendriks, C. (2001). *The virtual eco-costs '99 A single LCA-based indicator for sustainability and the eco-costs-value ratio (EVR) model for economic allocation. The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 157-166.
- Vogtlander, J., Scheepens, A., Bocken, N., & Peck, D. (2017). *Combined analyses of costs, market value and eco-costs in circular business models: eco-efficient value creation in remanufacturing. Journal of Remanufacturing*, 7, 1-17.
- Werdana, K. P. (2022). Pemanfaatan Limbah Non B3 (Ban Bekas) Untuk Rompon Ikan Dan Planula Karang Pt Borneo Indobara Di Desa Angsana Dan Bunati Kabupaten Tanah Bumbu Kalimantan Selatan. Prosiding PERHAPI, 403-412.
- Yelvi, & Salimah, A. (2020). Analisis Stabilitas Lereng dan Upaya Pencegahan Kelongsoran di Desa Wirotaman Kabupaten Malang Jawa Timur. Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan.