



Kajian Teknis Daya Dukung Tanah untuk Menentukan Kapasitas Optimum *Stockpile* Utama PT Putra Muba Coal

Zella Navtalia ^{1*}, Hisni Rahmi ², Muhammad Faisal Seprizal ³, Diah Wully Agustine ⁴,
Dimas Agung Permadi ⁵, Andy Yanottama ⁶
¹⁻⁶ Universitas Jambi, Indonesia

Alamat : Jl. Jambi – Muara Bulian No.KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi

Korespondensi penulis: zellanavtalia@unja.ac.id *

Abstract. Settlement of the ground floor of stockpile is caused by ground pressure of coal pile which is bigger than stockpile floor bearing capacity leads to bury under of some coal. So it is needed to do a study of optimum capacity by stockpile floor bearing capacity. Study of stockpile optimum capacity is started by calculating Californian Bearing Ratio (CBR) of stockpile subgrade using dynamic cone penetrometer in some location on each of the stockpile compartment. CBR value of stockpile subgrade converted into bearing ratio, so the maximum tonage of stockpile can be known. By considering of pile height, angle of repose of low grade coal, monthly production target, and the road geometry for mechanical equipment access purpose, the optimum capacity of PT Putra Muba Coal stockpile is 198.549,95 ton, which divided into seven coal piles.

Keywords: Bearing Capacity, Coal, Stockpile

Abstrak. Penurunan lantai dasar *stockpile* dikarenakan beban tumpukan batubara yang melebihi daya dukung tanah *stockpile* menyebabkan tertimbunnya sejumlah batubara ke dalam lantai dasar. Sehingga perlu dilakukan suatu kajian terhadap kapasitas optimum melalui daya dukung tanah dasar. Pengkajian kapasitas optimum melalui daya dukung tanah *stockpile* diawali dengan melakukan pengujian *californian bearing ratio* (CBR) tanah dasar menggunakan *dynamic cone penetrometer* di beberapa titik pada masing-masing *compartment stockpile* yang selanjutnya dikonversi menjadi daya dukung tanah (DDT) untuk mengetahui tonase maksimal yang mampu ditampung *stockpile*. Melalui pertimbangan terhadap tinggi, kemiringan, target produksi bulanan dan akses jalan alat mekanis yang beroperasi pada *stockpile* diperoleh kapasitas optimum *stockpile* PT Putra Muba Coal sebesar 198.549,95 ton yang terbagi atas 7 tumpukan.

Kata kunci: Batubara, daya dukung tanah, *stockpile*

1. LATAR BELAKANG

Batubara yang dihasilkan dari *front* penambangan pada umumnya tidak langsung dikirim ke konsumen sehingga batubara tersebut harus ditumpuk sementara ditempat penumpukan yang disebut dengan *stockpile*. Manajemen *stockpile* merupakan bagian yang penting dalam proses penanganan batubara yang telah ditambang sebelum dipasarkan ke konsumen. Umumnya, *stockpile* dibutuhkan oleh perusahaan pertambangan batubara sebagai media penyimpanan maupun persiapan sebelum dipasarkan sesuai dengan permintaan atau spesifikasi yang diinginkan konsumen. Manajemen *stockpile* menjadi penting untuk menghindari resiko terjadinya penurunan kualitas batubara, kerusakan lingkungan, dan kerugian ekonomis bagi perusahaan.

Manajemen *stockpile* meliputi pola penimpunan dan pengangkutan batubara pada *stockpile*. Jika desain dan sistem manajemen pada daerah penimbunan tidak dilaksanakan dengan baik, maka akan terjadi faktor yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas batubara pada daerah penimbunan serta dapat terjadi penimbunan dengan kapasitas yang terlalu besar pada *stockpile* dibandingkan dengan target produksi (Aldiansyah et al., 2024). Faktor penyebab terjadinya swabakar adalah lamanya penimbunan, metode penimbunan, kondisi timbunan, tinggi timbunan, dan suhu (Sarmidi Sarmidi et al., 2024). Pada kegiatan penimbunan, syarat dan teknis penimbunan menekankan pada kualitas batubara, ukuran butiran, keadaan tempat penimbunan, dan desain permukaan dasar. Pengelolaan penimbunan yang baik dapat mencegah dampak negatif seperti swabakar dan genangan air. Sistem penumpukan batubara dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti menumpuk batubara memanjang searah angin untuk mengurangi permukaan yang terpapar angin, serta pola pengiriman batubara menggunakan sistem LIFO (*Last In First Out*) atau FIFO (*First In First Out*) dengan pertimbangan manajemen kualitas (Kusdarini et al., 2023).

Permasalahan yang timbul pada sistem penumpukan batubara di *stockpile* PT Putra Muba Coal antara lain adalah penurunan lantai dasar *stockpile* dikarenakan material lantai dasar yang tidak mampu menopang beban tumpukan batubara. Manajemen *stockpile* PT Putra Muba Coal menerapkan toleransi *losses* sebesar 3%. Toleransi *losses* diterapkan sebagai toleransi terhadap kemungkinan terjadinya kehilangan batubara yang sulit untuk dihindari meliputi tercecernya batubara saat penumpukan dan pengangkutan di *stockpile*, batubara yang ikut terlimpaskan air hujan, debu batubara yang tertiuap angin, dan tertimbunnya batubara kedalam lantai dasar *stockpile*. Melalui laporan *barging reconciliation*, penurunan lantai dasar *stockpile* menyebabkan tertimbunnya 9.182 ton (6,88%) batubara kedalam lantai dasar, seolah-olah terjadi kehilangan sejumlah batubara (*losses*). Hal ini telah diatasi dengan melakukan penggalian kembali terhadap batubara yang tertimbun, dengan resiko batubara terkontaminasi oleh material penyusun lantai dasar. Selain itu, kegiatan penggalian ulang batubara dan pemadatan ulang lantai *stockpile* akan menambah biaya operasi. Hal tersebut merupakan kerugian yang seharusnya dapat diminimalisir kemungkinan terjadinya. Oleh karena itu, perlu dilakukan suatu kajian terhadap daya dukung tanah *stockpile* tersebut agar didapatkan kapasitas optimum *stockpile* yang dapat ditopang, guna menghindari kemungkinan terjadinya penurunan lantai *stockpile*.

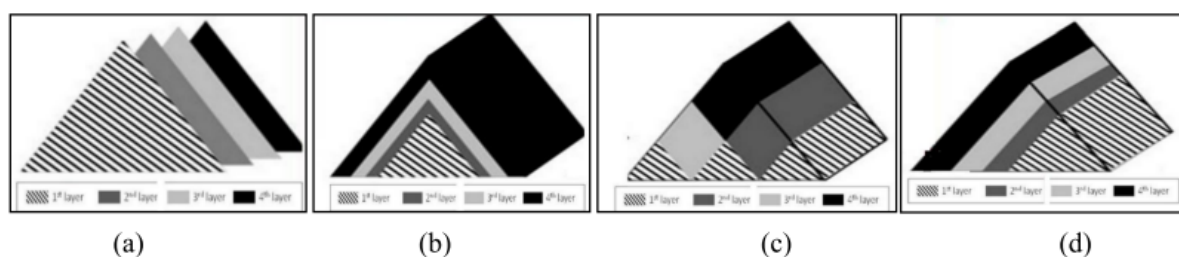
Penelitian terkait kajian teknis pada area penimbunan batubara sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. (Fadil, 2019) telah melakukan penelitian evaluasi base ROM 19 guna meminimalisir *deviasi loading time double trailer* di Pit Central 2, PT Saptaindra Sejati

jobsite Adaro Mining Operation (ADMO), Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan. (Ardy Nugroho et al., 2020) melakukan kajian teknis sistem penimbunan batubara pada rom *stockpile* BWE 203 di Muara Tiga Besar Utara (MTBU) PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. (Hardianti & Sepriadi, 2023) mendesain stock ROM yang untuk menampung batubara dari pit penambangan dengan total rencana produksi yaitu 25.000 ton pada PT Baturona Adimulya. Sementara itu terkait kajian daya dukung tanah lebih sering dilakukan untuk kajian jalan seperti yang dilakukan oleh bidang sipil (Pratama & Dhana, 2024; Ramadani et al., 2024; Sastradi & Kurniawan, 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

Batubara yang dibawa dari *front* penambangan akan disimpan di area penyimpanan sementara sebelum dipasarkan disebut sebagai *stockpile* batubara (Oktariyani & Widayati, 2024). Area *stockpile* menjadi penting untuk dikelola dengan baik sesuai *standard operating procedure* (SOP) dengan tujuan agar perusahaan tidak mengalami kerugian dan tidak terjadi swabakar batubara. Proses merencanakan, mengorganisasi, mengkoordinasi, dan mengontrol sumberdaya batubara yang berada di *stockpile* disebut sebagai manajemen *stockpile* (Afandi et al., 2023). Manajemen *stockpile* bertujuan untuk mengusahakan semaksimal mungkin cadangan batubara yang telah dieksploitasi agar dapat dijual dengan cara mengontrol kualitas batubara sesuai dengan permintaan pasar. Selain itu, sebagai langkah intensif perusahaan dalam menjaga lingkungan sekitar agar tidak terkena polutan paparan dari batubara ke lingkungan sekitar.

Metode penimbunan dibagi menjadi dua yaitu metode penimbunan terbuka (*open stockpile*) dan metode penimbunan tertutup (*coverage storage*) (Renaldy et al., 2025). Metode penimbunan yang sering digunakan adalah metode penimbunan terbuka. Berikut pola penimbunan yang dapat diterapkan antara lain:



Gambar 1. a) Pola Penimbunan Cone Ply, b) pola Penimbunan Chevron, c) Pola Penimbunan Chevcon d) Pola penimbunan Windrow (Renaldy et al., 2025)

Sistem penumpukan batubara harus diatur berdasarkan perbedaan spesifikasi agar pemisahan *stockpile* dapat dilakukan dengan baik, sehingga dapat meminimalisir resiko

terjadinya swabakar. Sistem penumpukan disesuaikan pada kondisi cuaca, dimensi dan desain penumpukan dan peralatan mekanis yang digunakan atau dimiliki. Penumpukan batubara dapat dibuat memanjang searah datangnya angin (Carpenter, 1999) hal ini agar permukaan tumpukan batubara yang menghadap ke arah datangnya angin akan menjadi kecil.

1. Tinggi Tumpukan

Tumpukan yang terlalu tinggi akan menyebabkan semakin banyak panas yang terserap. Hal ini dikarenakan sisi miring yang terbentuk akan semakin panjang, sehingga daerah yang tidak terpadatkan akan semakin luas dan akan mengakibatkan permukaan yang teroksidasi semakin besar. Tinggi maksimal *stockpile* yang direkomendasikan adalah 11-12 meter agar tidak terjadi swabakar (Renaldy et al., 2025).

2. Sudut Tumpukan

Sudut tumpukan yang terbentuk dari suatu tumpukan (*stockpile*) sebaiknya lebih kecil dari *angle of repose* tumpukan batubara. Pada umumnya, material berukuran kasar memiliki *angle of repose* (Tabel 1) lebih besar dibandingkan material berukuran halus (Hartman, 1992).

Kemiringan tumpukan batubara yang cukup ideal akan berbeda untuk tiap jenis batubara, perlu dipertimbangkan juga kontak angin terhadap permukaan tumpukan, dengan sudut tumpukan yang semakin kecil akan meminimalisir kemungkinan angin tertahan oleh permukaan tumpukan, sehingga akan memperkecil kemungkinan angin menembus rongga-rongga yang terbentuk antar kontak butiran atau pecahan batubara pada tumpukan.

Tabel 1. *Angle Of Repose* (°) Berbagai Kualitas Dan Kondisi Batubara (Hartman, 1992)

Material	<i>Angle of Repose</i> (°)
Coal, antrachite	27
Coal, antrachite, sized	27
Coal, bituminous	45-55
Coal, bituminous, mined, sized	35
Coal, bituminous, mined, run-of-mine	38
Coal, bituminous, mined, slack, ½ in. & under	40
Coal, bituminous, strip, not cleaned	-
Coal, lignite	38

Selain itu, untuk penyimpanan batubara yang relatif lama, bagian permukaan yang menghadap kearah angin harus dipadatkan dan sudut lerengnya diperkecil, hal ini akan meminimalisir udara masuk ke dalam rongga antar material batubara (Carpenter, 1999).

Temperatur permukaan tumpukan batubara yang menghadap angin dan berada dalam kondisi terpadatkan cenderung lebih rendah dibanding batubara yang tertumpuk dalam kondisi tidak dipadatkan.

Kegiatan penumpukan sendiri dapat dilakukan secara layer per layer (Carpenter, 1999), dimana tiap layer memiliki ketebalan berkisar 0,5 - 1 meter, dengan pemadatan dilakukan menggunakan alat mekanis berupa *bulldozer*. Tidak hanya pada bagian atas tumpukan, kegiatan pemadatan juga harus dilakukan pada bagian sisi miring atau lereng tumpukan. Pemilihan alat mekanis yang bertugas untuk memadatkan tumpukan batubara harus mempertimbangkan besarnya pembebanan yang mungkin diberikan oleh alat mekanis terhadap batubara (*ground pressure*), untuk meminimalisir terjadinya pengecilan ukuran butir batubara dan terbentuknya debu batubara. Batubara dengan partikel 40 - 120 μm memiliki kecenderungan mudah tertransportasi oleh angin hingga 50 - 400 m. Hal ini berujung pada kehilangan batubara (*losses*) dan dapat memberikan dampak negatif kepada lingkungan sekitar *stockpile*.

Permukaan dasar dari suatu *stockpile* harus dibuat stabil dan dibuat *bedding* dengan menggunakan material yang cukup kuat untuk menopang berat tumpukan batubara (Carpenter, 1999). Hal ini ditujukan untuk meminimalisir penurunan dasar *stockpile*. Material *bedding* tersebut harus dipadatkan, tebal lapisan *bedding* material ini harus didesain cembung (menebal dibagian tengah). Kekuatan lantai dasar dapat diupayakan agar mampu mengatasi beban kendaraan dan timbunan batubara dengan cara perkerasan (Sukirman, 1999), hal ini selain bertujuan meminimalisir penurunan lapisan dasar, juga mencegah air tidak terkumpul pada bagian tengah *stockpile*. Jika air terkumpul ditengah tanah dasar *stockpile* kemungkinan besar akan terjadi perubahan kepadatan dari lapisan dasar.

Cekungan tersebut semakin lama akan semakin dalam, sehingga pada akhirnya akan menimbun sebagian batubara kedalam tanah. Pada saat pengambilan batubara, yang dijadikan patokan sebagai dasar permukaan adalah level disekitar pinggiran *stockpile*, sedangkan batubara yang tertimbun kedalam lapisan tanah akan tertinggal. Sehingga, seolah-olah terjadi kehilangan batubara, dengan dibuat dasar *stockpile* yang kuat dan relatif cembung, diharapkan kejadian tersebut dapat dicegah.

Selain pola penimbunan batubara yang perlu diperhatikan, tanah dasar dari area *stockpile* menjadi hal yang perlu dikaji juga guna mengoptimalkan kapasitas *stockpile*. Salah satu uji daya dukung tanah adalah CBR (*California Bearing Ratio*) dimana metode ini membandingkan beban penetrasi suatu lapisan tanah dengan bahan standar pada kecepatan penetrasi dan kedalaman tertentu (Friska Desi Afrida & Priyanto, 2023; Rasyid et al., 2021).

Metode CBR adalah metode yang cukup praktis, ringan, dan memberikan hasil yang akurat dalam menilai kualitas tanah (Rachael Tunas Pratama et al., 2021). Selain itu daya dukung tanah dapat juga menggunakan metode *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) (Megasukma et al., 2023). Metode DCP dilakukan dengan cara mengukur kedalaman penetrasi kerucut baja ke dalam tanah setelah diberikan tumbukan palu dengan berat tertentu (Nasrullah et al., 2024). Berdasarkan analisis hasil uji CBR dan DJP dapat diperoleh daya dukung tanah.

3. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian di lapangan dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

a. Orientasi lapangan

Kegiatan orientasi lapangan dilakukan dengan mengamati secara langsung aktifitas pada area *stockpile* serta mencari informasi pendukung yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas melalui wawancara langsung terhadap orang-orang yang berkerja pada lingkup manajemen *stockpile*, terkait kendala yang telah dan mungkin akan terjadi. Wawancara dapat dilakukan kepada *mine engineer*, *surveyor*, *operator*, dan *foreman*.

b. Pengambilan data

Pengambilan data yang dilakukan berupa data primer dan data sekunder. Adapun data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1) Data Primer

- a) Pengambilan data nilai daya dukung tanah (DDT) *stockpile*,
- b) Pengambilan data tekanan permukaan (*ground pressure*) alat angkut terhadap permukaan tanah, dan

2) Data Sekunder

- a) Data produksi dan pengiriman batubara harian, bulanan, dan tahunan,
- b) Spesifikasi batubara yang ditumpuk, dan
- c) Volume aktual batubara pada *stockpile*.

c. Pengkajian Kapasitas Optimum Melalui Daya Dukung Tanah *Stockpile*

Tahapan ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan maksimal tanah atau lantai *stockpile* menopang tonase dari dimensi tumpukan batubara. Pengkajian diawali dengan meneliti *califoirnian bearing ratio* tanah menggunakan *dynamic cone penetrometer* pada beberapa titik pada masing-masing *compartment stockpile*, yang selanjutnya akan dikonversi kedalam nilai daya dukung tanah, sehingga didapatkan tonase maksimal batubara yang dapat ditampung pada *stockpile*. Dengan mempertimbangkan metode penumpukan dan pembongkaran *stockpile* serta

sudut optimum suatu tumpukan batubara, akan didapatkan dimensi optimum masing masing tumpukan berupa luas alas, sudut, tinggi, volume, dan tonase tumpukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Penumpukan Batubara

1. Sistem Penumpukan Batubara pada *Stockpile* PT PMC

Kegiatan penumpukan (*stockpiling*) batubara di PT Putra Muba Coal dilakukan menggunakan bantuan alat mekanis berupa *dumptruck* dan *wheel loader* dimana batubara yang berasal dari tambang diangkut menuju *stockpile* dengan *dump truck* Hino 500 FM260TI dengan kapasitas maksimal 20 ton, dan ditumpahkan (*dump*) didekat tumpukan yang telah ada, sesuai dengan *seam* dan *layer* masing-masing. Selanjutnya, dilakukan penumpukan terhadap batubara yang telah ditumpahkan ke tumpukan batubara yang telah ada sebelumnya menggunakan *wheel loader* XGMA XG692 sehingga membentuk sudut tumpukan dengan kisaran antara 40-60°.

Penerapan metode penumpukan tersebut menyebabkan batubara tidak ditumpuk dalam kondisi yang padat, baik pada bagian atasnya maupun pada lereng tumpukan. Terlebih lagi kegiatan pengiriman (*barging*) batubara terkadang menyebabkan sudut tumpukan batubara menjadi lebih besar (Gambar 1), dikarenakan tidak dilakukannya perapihan kembali sudut tumpukan pasca kegiatan *barging*.



Gambar 2. Sudut Tumpukan Batubara Pasca Kegiatan *Barging*

Hal ini dapat meningkatkan resiko longsor material pada tumpukan batubara dan meningkatkan potensi terjadinya pemanasan (*self heating*) dan bahkan swabakar (*self combustion*) dikarenakan penetrasi udara yang menjadi lebih besar pada lereng tumpukan, terlebih lagi batubara PT PMC memiliki nilai kaori yang rendah (tergolong *sub-bituminous*) dengan nilai kalori berada pada kisaran 3500 kcal/kg (ar) dan *total moisture* sebesar $\pm 47\%$.

2. Upaya Perbaikan Terhadap Sistem Penumpukan Batubara pada *Stockpile* PT PMC

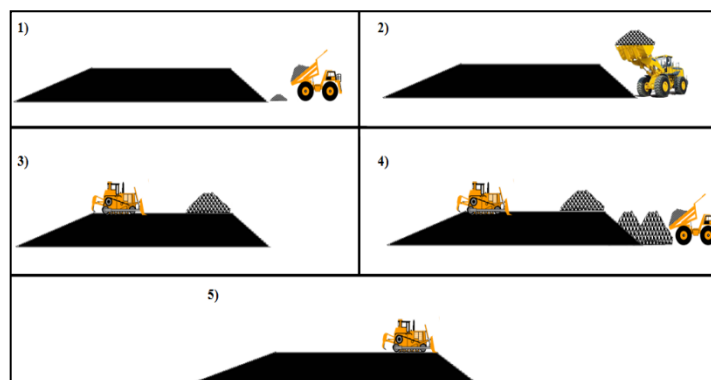
a) Perbaikan Terhadap Rencana Sudut dan Tinggi Tumpukan

Kemiringan tumpukan batubara dapat dimaksimalkan pada sudut sebesar 37° , dimana untuk batubara dengan peringkat yang rendah seperti *lignite* dan *sub-bitumious* memiliki *angle of repose* sebesar 38° . Dengan diterapkannya sudut timbunan sebesar 37° akan meminimalisir terjadinya longsor pada bagian lereng tumpukan. Namun, kemiringan tumpukan untuk jalan akses unit *trimming* dapat dibuat sebesar 20° sedangkan untuk tinggi tumpukan dapat dimaksimalkan pada ketinggian hingga 4 meter, dimana direncanakan tinggi timbunan $\geq$ tinggi *vessel dump truck* untuk menerapkan pola pemuatan *normal loading* dalam rangka memaksimalkan *cycle time excavator* dalam memuat batubara kedalam *vessel dump truck* dengan tinggi 3,5 meter. Kegiatan penumpukan dan pengiriman batubara juga menggunakan alat muat berupa *wheel loader* dengan jangkauan tertinggi bucket *wheel loader* adalah 5 meter.

b) Perbaikan Sistem Penumpukan dan Pemadatan

Sebagai upaya pencegahan terjadinya swabakar, diterapkan kegiatan pemadatan batubara pada *stockpile* terutama pada tumpukan yang direncanakan untuk ditumpuk dalam kurun waktu yang cukup lama. Pemadatan tidak hanya pada bagian atas tumpukan, tetapi juga pada bagian sisi miring atau lereng tumpukan. Selain itu, kegiatan pemadatan juga dapat memaksimalkan kapasitas *stockpile*, dimana terjadi penurunan volume seiring padatnya tumpukan batubara. Selama ini, penumpukan batubara yang telah ditumpahakan oleh *dumptruck* dilakukan oleh *wheel loader*, sehingga pada bagian atas berada dalam kondisi yang tidak rata dan tidak padat, hal ini mengakibatkan kemungkinan penetrasi udara terhadap tumpukan.

Kegiatan pemadatan tumpukan batubara dapat menggunakan *bulldozer* komatsu D85ESS, dengan tetap memanfaatkan unit *wheel loader* untuk menumpuk batubara yang ditumpahakan *dump truck* kemudian akan diratakan oleh *bulldozer* (Gambar 3).



Gambar 3. Rencana Kegiatan *Trimming* Terhadap Tumpukan Batubara

Sistem Pengiriman Batubara

Kegiatan pengiriman batubara PT PMC dilakukan melalui tahapan pemuatan (*loading*), pengangkutan (*hauling*), dan perataan (*trimming*) di tongkang. Kegiatan pemuatan (*loading*) dilakukan menggunakan *excavator* Komatsu PC200 dan *wheel loader* XGMA XG692 yang memuat batubara dari *stockpile* kedalam alat angkut berupa DT Hino 500 FM260TI dan Nissan CWA 260X untuk kemudian diangkut (*hauling*) menuju tongkang. Batubara yang telah ditumpahkan kedalam tongkang selanjutnya diratakan (*trimming*) menggunakan *wheel loader* XGMA XG692 sebagai upaya untuk memberikan akses masuk bagi alat angkut untuk menumpahkan batubara dan memaksimalkan muatan tongkang.

Kegiatan pengiriman batubara pada *stockpile* PT PMC secara umum masih belum seutuhnya menerapkan sistem FIFO (*First In First Out*). Hal ini dikarenakan kegiatan pengiriman batubara disertai dengan kegiatan pencampuran (*blending*), dimana sebagian besar konsumen menginginkan batubara yang akan dikirim berada dalam kondisi baru, hal ini dikarenakan adanya pertimbangan bahwa batubara yang telah lama ditumpuk akan mengalami penurunan kualitas. Sehingga akan menyebabkan semakin lama batubara tertumpuk.

Kajian Daya Dukung Tanah

Melalui kajian *californian bearing ratio* (CBR) tanah dasar *stockpile* (lampiran F) yang dilakukan pada 25 titik pada area *stockpile* PT PMC, diketahui daya dukung tanah *stockpile* yang terbagi atas 4 area (Tabel 2) yang dibatasi oleh saluran terbuka atau paritan, untuk selanjutnya disebut dengan *stockpile* 1, 2, 3, dan 4. Pada tiap area *stockpile* terdapat 1-2 *compartament*.

Kondisi awal lantai dasar *stockpile* merupakan tanah timbunan, dimana sebelum digunakan sebagai tempat penumpukan batubara terlebih dilakukan pemadatan menggunakan alat mekanis berupa *compactor*. Melalui pengujian daya dukung tanah menggunakan DCP, diketahui pada semua area lantai *stockpile* juga dilapisi oleh batubara yang terbentuk karena terdapat sisa dari penumpukan sebelumnya yang tidak terambil sehingga membentuk suatu *bedding* dengan ketebalan yang bervariasi diatas lapisan tanah timbunan.

Tabel 2. Daya Dukung Tanah *Stockpile* 1, 2, 3, dan 4

<i>Stock</i>	No.	Koordinat	CBR (%)	DDT (kg/m ²)	CBR segmen (%)	DDT Total (kg/cm ²)
1	1	2°35'2,627"S ; 104°10'38,676"E	20,60	7,39	3,74	4,16
	2	2°35'4,333"S ; 104°10'38,139"E	10,14	6,05		

	3	2°35'4,630"S ; 104°10'39,603"E	3,00	3,74		
	4	2°35'2,960"S ; 104°10'39,858"E	12,66	6,47		
	Average		11,60			
2	5	2°35'5,869"S ; 104°10'29,020"E	0,96	1,59	5,08	4,74
	6	2°35'6,958"S ; 104°10'29,874"E	5,38	4,85		
	7	2°35'6,548"S ; 104°10'29,843"E	15,90	6,90		
	8	2°35'6,620"S ; 104°10'31,205"E	26,57	7,87		
	9	2°35'6,710"S ; 104°10'31,638"E	21,84	7,50		
	Average		14,13			
3	10	2°35'6,551"S ; 104°10'39,550"E	66,27	9,60	13,65	6,61
	11	2°35'5,286"S ; 104°10'34,717"E	25,28	7,78		
	12	2°35'4,991"S ; 104°10'35,820"E	34,25	8,35		
	13	2°35'6,756"S ; 104°10'39,150"E	47,82	8,99		
	14	2°35'7,548"S ; 104°10'37,943"E	62,44	9,49		
	15	2°35'7,504"S ; 104°10'37,325"E	24,95	7,75		
	16	2°35'7,548"S ; 104°10'37,943"E	17,22	7,05		
	17	2°35'7,504"S ; 104°10'37,325"E	2,63	3,49		
	18	2°35'7,608"S ; 104°10'35,627"E	22,13	7,53		
	19	2°35'6,006"S ; 104°10'35,087"E	18,74	7,21		

4	20	2°35'6,558"S ; 104°10'32,848"E	5,65	4,94	25,74	7,81
	21	2°35'6,981"S ; 104°10'32,773"E	6,42	5,18		
	22	2°35'7,566"S ; 104°10'32,814"E	5,64	4,94		
	Average		33,66			
	23	2°35'8,800"S ; 104°10'39,350"E	37,57	8,53		
	24	2°35'9,129"S ; 104°10'40,546"E	25,11	7,77		
	25	2°35'8,759"S ; 104°10'37,948"E	34,10	8,35		
	Average		32,26			

Kondisi awal lantai dasar *stockpile* merupakan tanah timbunan, di mana sebelum digunakan sebagai tempat penumpukan batubara terlebih dilakukan pemadatan menggunakan alat mekanis berupa *compactor*. Melalui pengujian daya dukung tanah menggunakan DCP, diketahui pada semua area lantai *stockpile* juga dilapisi oleh batubara yang terbentuk karena terdapat sisa dari penumpukan sebelumnya yang tidak terambil sehingga membentuk suatu *bedding* dengan ketebalan yang bervariasi di atas lapisan tanah timbunan.

Melalui tiap titik pengujian terhadap kondisi perlapisan lantai *stockpile* terdapat nilai CBR dan DDT yang berbeda, sehingga dapat diperkirakan hingga kedalaman 1 (satu) meter dari permukaan lantai *stockpile* pada tiap area terdiri dari beberapa lapisan yang berbeda. Sehingga, lapisan paling bawah merupakan lapisan alami, kemudian dilapisi tanah timbunan dan dilapisi lagi dengan batubara yang membentuk *bedding* dikarenakan tertinggal atau tercecer saat dilakukan kegiatan penongkangan dan terpadatkan oleh aktivitas alat mekanis yang beroperasi di *stockpile*.

Kajian daya dukung tanah tersebut juga dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan tanah menopang beban alat mekanis yang beroperasi di area *stockpile*. Melalui perhitungan *ground pressure* alat mekanis yang beroperasi di *stockpile* (lampiran E) dapat dilihat bahwa ban depan *dump truck* Hino 500 FM 260 TI memberikan *ground pressure* terbesar di antara alat mekanis lainnya yaitu 4,96 kg/cm² (Tabel 3).

Tabel 3. Ground Pressure Alat Mekanis yang Beroperasi Di Stockpile

Alat Mekanis	Ground Pressure (kg/cm ²)	
	Ban Depan	Ban Belakang
Dump Truck Nissan UD CWA 260X	4,70	3,52
Dump Truck Hino 500 FM 260 TI	4,96	3,72
Wheel Loader XGMA XG692		1,93
Excavator PC200		0,36
Bulldozer D85E-SS		0,58 - 0,61

Terdapat beberapa area pada tiap *compartment* yang memiliki daya dukung tanah dibawah *gound pressure dump truck* Hino 500 FM 260 TI sebesar 4,96 kg/cm². Area dengan daya dukung tanah di bawah 4,96 kg/cm² meliputi titik uji 3, 5, 6, 17, 20, dan 22, hal ini memungkinkan terjadinya perubahan kondisi tanah atau jalan saat dilalui oleh *dump truck* Hino 500 FM 260 TI.

Kapasitas Optimum Stockpile

Alat mekanis terlebar yang beroperasi di *stockpile* adalah *Wheel Loader* XGMA XG692 dengan lebar kendaraan 3,128 m, maka lebar jalan minimal untuk jalur lurus ganda dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 L_{\min} &= (n.Wt) + (n+1) (1/2. Wt) \\
 L_{\min} &= (2 \times 3,128 \text{ m}) + (2+1) (1/2 \times 3,128) \\
 &= 10,948 \text{ m} \approx 11 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Lebar jalan minimal untuk jalur lurus ganda adalah sebesar 11 m, sehingga dari total keseluruhan luasan masing-masing *compartment stockpile* diberikan area selebar 11 m untuk akses jalan alat mekanis disekeliling *stockpile*. Kapasitas *stockpile* direncanakan menggunakan *software* minescape 4.118, sehingga diperoleh kapasitas maksimum 7 *compartment stockpile* PT PMC yang diperoleh dari kajian daya dukung tanah (Tabel 4).

Tabel 4. Kapasitas Maksimum Hasil Kajian Daya Dukung Tanah

Stockpile	DDT (kg/cm ²)	DDT (ton/m ²)	Luas Lantai		Tonase (ton)
			Bawah		
			(ha)	(m ²)	
1	4,16	41,63	0,25	2.500	120.739,29
2.a	4,74	47,42	1,12	11.200	455.235,98
2.b			1,00	10.000	270.296,36

3.a	6,61	66,13	1,24	12.400	694.392,16
3.b			0,84	8.400	548.900,47
4.a	7,81	78,14	0,22	2.200	140.651,21
4.b			0,49	4.900	359.441,99
Total					2.589.657,46

Kapasitas maksimum *stockpile* hasil kajian daya dukung tanah sulit untuk diaplikasikan karena akan membentuk tinggi tumpukan dengan kisaran 40 - 70 meter. Dengan kegiatan penumpukan batubara pada *stockpile* PT PMC yang menggunakan sistem *trucking*, tinggi tumpukan sebesar itu akan sulit untuk diterapkan baik dalam hal pembuatan maupun perawatannya kelak.

Melalui pembahasan sebelumnya tentang upaya perbaikan terhadap sistem penumpukan batubara pada *stockpile* PT PMC, diperoleh sudut tumpukan optimum sebesar 37° (kurang dari *angle of repose* batubara), serta tinggi optimum tumpukan sebesar 4 meter. Maka, didapatkan kapasitas optimum 7 *compartment stockpile* (Tabel 5) melalui kajian sudut dan ketinggian optimum menggunakan *software* minescape 4.118 (lampiran G).

Tabel 5. Kapasitas Optimum Hasil Kajian Sudut dan Tinggi Optimum

<i>Stockpile</i>	Luasan Bawah Tumpukan (m ²)	Luasan Atas Tumpukan (m ²)	Tinggi Tumpukan (m)	Sudut Optimum (°)	Volume (m ³)	Tonase (ton) (Densitas bb = 1,1 ton/m ³)
1	2.500	1.600	4	37	8.046,82	8.851,50
2.a	11.200	8.900	4	37	40.055,38	44.060,92
2.b	10.000	8.000	4	37	36.078,94	39.686,83
3.a	12.400	10.000	4	37	44.747,94	49.222,73
3.b	8.400	6.500	4	37	29.760,87	32.736,96
4.a	2.200	700	4	37	5.748,58	6.323,44
4.b	4.900	3.200	4	37	16.062,25	17.668,48
Total	43.400	31.800	-	-	180.499,95	198.549,95

Diperoleh *stockpile* dengan kapasitas sebesar 198.549,95 ton dengan *ground pressure* tiap tumpukan sebesar 4,4 ton/m², yang telah melebihi target produksi maksimum bulanan PT Putra Muba Coal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan yaitu empat area *stockpile* PT. PMC memiliki daya dukung tanah masing-masing sebesar 4,16 kg/cm²; 4,74 kg/cm²; 6,61 kg/cm²; 7,81 kg/cm². Total kapasitas optimumnya adalah sebesar 198.549,95 ton dengan tonase di masing-masing *compartment*-nya antara lain 1 = 8.851,50 ton, 2.a = 44.060,92 ton, 2.b = 39.686,83 ton, 3.a = 49.222,73 ton, 3.b = 32.736,96 ton 4.a = 6.323,44 ton, dan 4.b = 17.668,48 ton. Tumpukan batubara dibuat dengan tinggi 4 meter dengan sudut timbunan sebesar 37⁰. Saran yang diberikan dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Perlu dibuat gorong-gorong di beberapa lokasi pada saluran terbuka di *stockpile* untuk menghindari alat mekanis yang beroperasi melintas bebas melalui saluran terbuka (paritan), perlu dilakukan pengarahan dan pengawasan terhadap operator alat mekanis tersebut, serta perlu dibuat rambu sebagai peringatan untuk tidak melintasi paritan.
2. Perlu dilakukan kegiatan pemadatan dan perapihan terhadap kemiringan pada sisi tumpukan batubara pasca dilaksanakan kegiatan *barging*, dengan sudut maksimal sebesar 37⁰.
3. Perlu dilakukan perbaikan terhadap daya dukung tanah pada area *stockpile* yang masih dibawah 4,96 kg/m³ melalui kegiatan pemadatan.

DAFTAR REFERENSI

- Afandi, R., Purnomo, H., & Putra, B. P. (2023). Kajian Teknis Manajemen *Stockpile* Pada Area Exportable Transit Ore Terhadap Moisture content Bijih Nikel Di PT . Koninis Fajar Mineral Kabupaten Banggai , Provinsi Sulawesi Tengah. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII)*, 2023(November), 146–154.
- Aldiansyah, Arisanti, R., & Nursani, R. (2024). Evaluasi Pola Penimbunan Batubara Pada Rom *Stockpile* Di PT Global Energi Makmur. *Pondasi: Kurnal of Applied Science Engineering*, 2(1), 50–62.
- Ardy Nugroho, H., Aprilia Rande, S., & Sidiq, H. (2020). Kajian Teknis Sistem Penimbunan Batubara Pada Rom *Stockpile* BWE 203 Di Muara Tiga Besar Utara (MTBU) PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Mining Insight*, 01(02), 185–196.
- Carpenter, A. M. (1999). *Management Of Coal Stockpile*. IEA Coal Research.
- Fadil, A. R. (2019). *Evaluasi Base Rom 19 Guna Meminimalisir Deviasi Loading Time Double Trailer Di Pit Central 2, PT Saptaindra Sejati Jobsite Adaro Mining Operation (Admo), Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan* [Universitas Sriwijaya]. <http://repository.unsri.ac.id/id/eprint/12591>

- Friska Desi Afrida, M., & Priyanto, B. (2023). Pengendalian Mutu Tanah Dasar Dan Lapis Pondasi Agregat Pada Pekerjaan Akses Jalan Bandara Internasional Dhoho Kediri. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 2(5), 1067–1076. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i5.321>
- Hardianti, S., & Sepriadi, S. (2023). Desain Stock Rom Pit 6 Pt Baturona Adimulya, Banyuasin, Propinsi Sumatra Selatan. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 14(01), 4–13. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v14i01.186>
- Hartman, H. L. (1992). *SME Mining Engineering Handbook*. 2nd Edition, Volume 1”, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., Colorado.
- Kusdarini, E., Afrianti, R., Yuwanto, S. H., Budianto, A., Teknologi, I., & Tama, A. (2023). Evaluasi Kegiatan Penimbunan Batubara pada *Stockpile* di PT . M Kabupaten Malinau. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 1–12. <https://ejournal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/5156>
- Megasukma, Y., Zahar, W., Wiratama, J., Prabawa, A. D., & Lagowa, M. I. (2023). Karakteristik Material Jalan Angkut Tambang Berdasarkan Uji Atterberg dan California Bearing Ratio. *Jurnal GEOSAPTA*, 9(1), 15. <https://doi.org/10.20527/jg.v9i1.13509>
- Nasrullah, Lubis, K., & Amsuardiman. (2024). Analisis Daya Dukung Tanah Lapisan Pondasi Jalan pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Tahap I (Zona 1). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Arsitektur (JITAS)*, 3(2), 86–94. <https://doi.org/10.31289/jitas.v3i2.3878>
- Oktariyani, R., & Widayati, S. (2024). Analisis Desain terhadap Manajemen *Stockpile* Batubara di PT . Era Perkasa Mining. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 4(2), 125–132.
- Pratama, Y. P., & Dhana, R. R. (2024). Analisis Daya Dukung Tanah Dasar terhadap Kerusakan Jalan Raya Pule-Sarirejo. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 15. <https://doi.org/10.33087/talantasipil.v7i1.347>
- Rachael Tunas Pratama, Fatma Sarie, & Okrobrianus Hendri. (2021). Analisis Perbaikan Tanah Menggunakan Geotekstil Pada Lapisan Subgrade Proyek Pekerjaan Jalan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan G.Obos Xxiv Kota Palangka Raya). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 148–154. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2728>
- Ramadani, A., Hi, A., Muhammad, Husain, T., & Altarans, I. (2024). Analisis perhitungan daya dukung tanah pada lapisan jalan. *Jurnal DINTEK*, 17, 27–33.
- Rasyid, M., Harahap, S., & Rambe, M. R. (2021). Analisa Kerusakan Rumah Tinggal Ditinjau Dari Struktur Tanah Di Desa Batang Pane Kec. Halongonan Timur Kab. Padang Lawas *Statika*, 4(2), 41–50. <http://jurnal.ugn.ac.id/index.php/statika/article/view/765%0Ahttps://jurnal.ugn.ac.id/index.php/statika/article/download/765/580>
- Renaldy, D., Bahar, H., & Yuwanto, S. H. (2025). *Evaluasi Desain Stockpile pada Live Stock BWE 203 - MTBU untuk Pencegahan Swabakar Batubara PT . Bukit Asam , Tbk Kecamatan Tanjung Enim Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. Senastitan V.*

- Sarmidi Sarmidi, Apriansyah Zulatama, & Reno Widodo. (2024). Analisis Timbunan Sementara Untuk Pencegahan Pembakaran Spontan Batubara Di PIT 2 Banko Barat, PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 1(3), 118–125. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i3.22>
- Sastradi, H., & Kurniawan, A. (2023). Perkuatan Daya Dukung Tanah dengan Geotextile pada Jalan Tambang. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3(5), 10871–10879.
- Sukirman, S. (1999). *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. NOVA.