

## Upaya Teknis Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar (Spontaneous Combustion) pada Stockpile di PT. Manambang Muara Enim Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan

Jepriansyah<sup>1</sup>, Hendro Purnomo<sup>\*2</sup>, Shilvyanora Aprilia Rande<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Intitut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi<sup>\*2</sup> : [hendro.purnomo@itny.ac.id](mailto:hendro.purnomo@itny.ac.id)

### ABSTRAK

PT. Manambang Muara Enim merupakan suatu perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara. Penelitian dilakukan pada lokasi *stockpile* yang memiliki kapasitas penyimpanan sebesar 170.000 ton, dan permasalahan utama dalam penumpukan batubara pada *stockpile* adalah terjadinya swabakar. Tumpukan batubara di *stockpile* yang mengalami swabakar akan menyebabkan kerugian bagi perusahaan seperti penurunan kualitas batubara yang akan mempengaruhi permintaan pasar, terbuangnya sebagian volume batubara dan pihak perusahaan harus mengeluarkan biaya tambahan untuk penanganan batubara yang terbakar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya swabakar batubara pada area *stockpile* dan mengetahui cara pencegahan dan penanggulangan swabakar batubara di area *stockpile* PT.MME. Metode yang di gunakan dalam penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan melakukan studi litelatur guna mencari referensi yang berkaitan dengan topik penelitian, dilanjutkan dengan pengamatan lapangan guna mengetahui kondisi lapangan, kemudian pengambilan data sekunder maupun data primer selanjutnya di lakukan pengolahan data dan analisis data serta kesimpulan dan saran. Penyebab swabakar di PT MME yaitu penerapan penimbunan dan pembongkaran belum sepenuhnya melaksanakan sistem *FIFO (First in first out)*, sehingga timbunan yang awal semakin lama ditimbun dan berpotensi menyebabkan swabakar. Oleh karena itu dilakukan penerapan sistem *FIFO (First in first out)* diharapkan penumpukan batubara yang terlalu lama dapat dihindari. Kemudian untuk pencegahan yang dilakukan yaitu menggunakan metode penimbunan dan pembongkaran *FIFO (Fist In–Fist Out)*, Pemantauan *temperature* timbunan, Pemadatan secara berkala dan mengurangi tinggi timbunan di *stockpile*. Dan untuk penanganan swabakar yang diterapkan di PT.MME ini dilakukan dengan menggali batubara yang memiliki titik asap menggunakan *Excavator PC200* kemudian batubara tersebut akan diambil di pindahkan ketempat lain di sekitar timbunan kemudian ditebar (*spreading*), atau batubara yang lama di timbun di *stockpile* sesegera mungkin di hauling agar penumpukan batubara tersebut tidak terlalu lama di tumpuk guna untuk menghindari swabakar.

**Kata Kunci :** *Stockpile*, Swabakar, *Temperature*

### ABSTRACT

*PT. Manambang Muara Enim is a company engaged in coal mining. The research was conducted at a stockpile location which has a storage capacity of 170,000 tons, and the main problem in stockpiling coal in the stockpile is self-combustion. Piles of coal in self-coa mbustion stockpile will cause losses for the company such as a decrease in coal quality which will affect market demand, wasted part of the coal volume and the company must incur additional costs for handling burning coal. The purpose of this research is to find out the causes of coal self-combustion in the stockpile area and find out how to prevent and control coal self-combustion in the PT.MME stockpile area. The method used in this study is a quantitative method by conducting literature studies to find references related to the research topic, followed by field observations to determine field conditions, then collecting secondary data and primary data, then data processing and data analysis as well as conclusions and suggestions. The cause of self-combustion at PT MME is that the implementation of stockpiling and unloading has not fully implemented the FIFO (First in first out) system so the initial stockpile takes longer to stockpile and has the potential to cause self-combustion. Therefore, the application of the FIFO (First in first out) system is expected to avoid coal accumulation that takes too long. Then for prevention that is carried out using the FIFO (Fist In-Fist Out) stockpiling and unloading method, monitoring stockpile temperature,*

*periodic compaction and reducing stockpile height. And for the handling of self-combustion which is implemented at PT.MME is done by digging coal that has a smoke point using a PC200 Excavator then the coal will be taken and moved to another place around the stockpile then spread, or the old coal is stockpiled in the stockpile as soon as possible in hauling so that the coal buildup is not piled up too long in order to avoid self-combustion.*

**Keywords :** *Stockpile, Self-combustion, Temperature*

## PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber daya alam yang sangat potensial, baik sebagai sumber energi maupun sebagai penghasil devisa negara jika di ekspor sebagai bahan mentah ataupun sebagai energi hasil pemanfaatan batubara sendiri. Potensi batubara di Indonesia yang begitu besar menjanjikan untuk terus dikembangkan. Tingginya cadangan batubara memungkinkan pemanfaatannya untuk dijadikan energi listrik menggantikan minyak bumi. Indonesia merupakan Negara keempat terbesar sebagai produsen dan pengeksport batubara terbesar di dunia. Salah satu daerah penghasil batubara di Indonesia terletak di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Batubara di daerah ini ditambang dan dikelola oleh PT. Manambang Muara Enim (MME) yang merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak pada bidang tambang batubara yang sudah mendapat izin produksi pada wilayah Desa Darmo Kecamatan Lawang Kidul. Tambang operasi MME saat ini memproduksi batubara dengan kalori medium pada basis *Adb* (*Adb* 5600 - 5800 Kcal / kg). Meningkatnya permintaan bahan bakar batubara untuk industri menyebabkan PT.MME terus menerus meningkatkan produksinya. Batubara yang dihasilkan dari front penambangan pada umumnya tidak langsung dikirim ke konsumen sehingga batubara tersebut harus ditumpuk ditempat penumpukan yang disebut dengan istilah *stockpile* (Area timbunan). Penimbunan batubara pada areal *stockpile* harus diperhatikan teknis penimbunannya agar kualitas batubara setelah ditambang dapat terjaga.

Permasalahan utama dalam penumpukan batubara pada *stockpile* adalah terjadinya swabakar. Tumpukan batubara di *stockpile* yang mengalami swabakar akan menyebabkan kerugian bagi perusahaan seperti penurunan kualitas batubara yang akan mempengaruhi permintaan pasar, terbuangnya sebagian volume batubara dan pihak perusahaan harus mengeluarkan biaya tambahan untuk penanganan batubara yang terbakar. Oleh sebab itu, perlu dilakukan analisis penyebab terjadinya swabakar pada area timbunan dan dampaknya terhadap kualitas batubara pada PT.MME agar dapat dilakukan pencegahan dan penanganan, sehingga dapat menghindari dan meminimalisir terjadinya swabakar.

*Spontaneous combustion* (swabakar) adalah proses terbakar dengan sendirinya batubara akibat reaksi oksidasi eksotermis yang terus menyebabkan kenaikan temperatur. Batubara akan teroksidasi pada saat tersingkap di permukaan sewaktu penambangan, maupun pada saat batubara di timbun dalam jumlah besar pada *stockpile*, proses oksidasi tersebut terus berlanjut. Akibat dari reaksi oksidasi antara oksigen. Bila oksidasi terus menerus, maka panas yang dihasilkan juga akan meningkat, sehingga suhu dalam timbunan batubara juga akan mengalami peningkatan. Sehingga suhu dalam timbunan akan terakumulasi dan naik sampai suhu titik pembakaran (*self-Combustion*), yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya proses *spontaneous combustion* pada timbunan batubara tersebut.

Beberapa langkah yang dapat ditempuh guna pencegahan terjadinya swabakar antara lain, pengecekan rutin *temperature temporary stockpile* dengan menggunakan alat *Termocouple*. Apabila temperature mencapai 50°C-60°C, maka akan dilakukan penanganan seperti *spreading*, kompaksi *stockpile* dan lain-lain. Sudut timbunan yang besar juga mengakibatkan perubahan peningkatan temperature timbunan lebih cepat karena batubara berinteraksi secara terus menerus maka akan dilakukan penanganan seperti kompaksi *stockpile*. Waktu penyimpanan batubara tidak terlalu lama di *stockpile* merupakan upaya pencegahan terjadinya swabakar, FIFO (*First in First Out*) dimana batubara yang terdahulu masuk harus di keluarkan atau dimuat terlebih dahulu.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan berupa metode kuantitatif dengan jenis penelitian evaluasi. Berlandaskan metode dan jenis penelitian tersebut, ada beberapa tahapan penelitian yang dilakukan :

### Studi Literatur

Dilakukan dengan mencari bahan pustaka yang menunjang penelitian, yang diperoleh dari :

- a. Perpustakaan
- b. Brosur-brosur
- c. Informasi
- d. Jurnal
- e. Internet



ISSN: 1907-5995

### Pengamatan dan Pengambilan Data di Lapangan

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa tahap yaitu :

- a. Penentuan lokasi pengamatan, melakukan pengamatan langsung dilokasi penelitian dengan mengambil data-data yang diperlukan.
- b. Pengamatan lapangan, dengan melakukan pengamatan langsung terhadap keadaan disekitar daerah penambangan.

### Pengolahan Data

Data-data yang sudah diperoleh akan diolah, dalam pengolahan data dilakukan dengan beberapa perhitungan maupun penggambaran yang selanjutnya akan direalisasikan dalam bentuk perhitungan, grafik-grafik, tabel yang menuju penyelesaian masalah. Data yang dimaksud tersebut terbagi menjadi dua bagian yaitu data primer dan data sekunder.

#### a. Data Primer

Data yang diambil langsung di lapangan melalui pengamatan atau pengukuran serta perhitungan, yaitu :

- Pengamatan area Penelitian di Lapangan
- Alat yang digunakan di *Stockpile*
- Pola Penimbunan Batubara
- Dimensi Timbunan Batubara
- Suhu Timbunan Batubara
- Foto dokumentasi pada area swabakar di *Stockpile*

#### b. Data Sekunder

Data yang tidak diambil langsung di lapangan atau data yang di ambil diperusahaan. Data-data tersebut antara yaitu :

- Profil Perusahaan
- Peta Lokasi Penelitian dan Kesampaian Daerah
- Peta Layout ROM
- Stratigrafi Regional
- Data Curah Hujan
- Tingkat Kalori Batubara

### Pembahasan dan Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data kemudian akan di bahas sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian hingga mendapatkan kesimpulan

## HASIL DAN ANALISIS

### Kondisi *Stockpile* Batubara pada PT MME

Area *Stockpile* PT. Manambang Muara Enim ini terdiri dari 2 bagian, dimana pada tempat tumpukan batubara yang dihasilkan dari front penambangan PT. MME sendiri, terletak di area depan, dan area belakang. Penelitian yang dilakukan adalah pada area depan *stockpile* PT.MME yang memiliki luas area 15.951,19 m<sup>2</sup> menggunakan *open stockpile* (*stock* terbuka) dan dipisahkan dalam proses penimbunan menurut kalornya. Berikut merupakan kondisi *rom stockpile* (Gambar 1)



**Gambar 1.** Kondisi *Rom stockpile*

Berdasarkan pengamatan dilapangan, pada area *stockpile* terdapat beberapa tumpukan yang terdiri dari dua kualitas yang berbeda, yaitu *seam*/tumpukan D1, D2 merupakan batubara yang bersih dari batu *pack* yang kapasitasnya 70.000 ton, sedangkan di *seam*/ tumpukan D4, D5 merupakan batubara yang terdapat banyak batu

*pack* yang kapasitasnya 55.000 ton, yang mana nantinya di *seam/* tumpukan D4, D5 akan di lakukan selektif ulang terhadap tumpukan batubara tersebut.

Kondisi timbunan batubara di area *stockpile* PT. MME yang berbentuk *windrow* yaitu merupakan pola penimbunan dengan baris sejajar sepanjang lebar *stockpile* dan diteruskan sampai ketinggian yang dikehendak, kemudian maju ke depan dengan mengubah sudut *stacker* dari dasar *stockpile*. Namun untuk di PT. MME setelah penimbunan membentuk kerucut di lakukanlah pemangkas dan pemadatan dengan *wheel loader* dan aktifitas hauling DT agar menimalisir juga swabakar di *stockpile*.



**Gambar 2.** *Seam/* tumpukan D1, D2



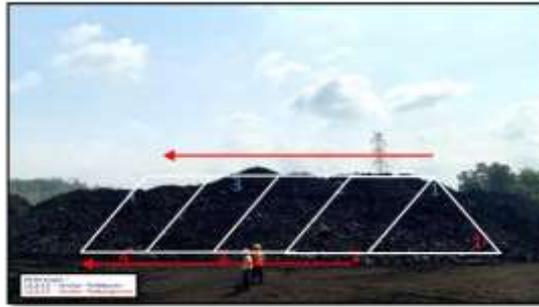
**Gambar 3.** *Seam/* tumpukan D4, D5

### **Lantai Dasar ROM Stockpile**

Pada desain lantai *ROM Stockpile* harus mengikuti kaidah-kaidah yang berlaku terhadap area kontur topografi terhadap sudut yang akan dibentuk pada timbunan. Kemudian kemiringan dasar *ROM Stockpile* dibuat dengan kemiringan 2 % kesatu arah panjang dalam satu baris timbunan kedalam saluran terbuka (paritan) sehingga memudahkan air dalam mengalir. Kondisi lantai dasar harus di desain sedikit miring, terbuat dari tanah dan lapisan atasnya dilapisi batubara kotor. desain tersebut dibuat agar air yang terdapat dari sekitar penimbunan dapat meresap masuk kedalam lapisan tersebut. Namun di PT MME sekarang resapan tidak berfungsi dengan baik akibat dari aktivitas alat berat yang beroperasi disekitar area *ROM Stockpile*. Sehingga menyebabkan genangan air yang bersifat asam. Air tersebut berasal dari air hujan maupun dari semprotan untuk penyiram debu yang tidak dapat mengalir ke paritan saluran terbuka (Gambar 1).

### **Sistem dan Pola Penimbunan**

Dari hasil penelitian dilapangan jumlah batubara yang masuk lebih banyak dari pada batubara yang keluar sehingga sistem *FIFO (First In First Out)* sulit untuk diterapkan karena beberapa faktor antara lain tidak sebandingnya target produksi dengan volume permintaan batubara dari *buyer*. Pola penimbunan yang diterapkan berupa pola *windrow* merupakan timbunan dalam baris sejajar sepanjang lebar *ROM Stockpile* dan diteruskan sampai ketinggian yang diinginkan, dengan metode *layering* yaitu ketika dilakukan penimbunan, pada setiap puncak-puncak timbunan di-*trimming* secara horizontal dengan menggunakan alat *wheel loader*, kemudian dipadatkan secara sistematis lapis demi lapis dari bawah keatas dengan tujuan mengatur pola timbunan dan juga mengurangi rongga-rongga pada permukaan batubara. Dapat dilihat pada (gambar 4).



**Gambar 4.** Pola Penimbunan di ROM Stockpile

### Dimensi Stockpile

Dimensi timbunan merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya swabakar dimana semakin tinggi timbunan maka akan semakin banyak panas yang ditimbulkan, berdasarkan pengukuran dilapangan didapatkan data sebagai berikut :

**Tabel 1.** Dimensi Timbunan-timbunan Batubara Seam D4, D5

No	Dimensi Timbunan Batubara Seam D4, D5	Nilai (m)
1	Panjang Lantai Atas	42,64 m
2	Lebar Lantai Atas	36,64 m
3	Panjang Lantai Bawah	118 m
4	Lebar Lantai bawah	60 m
6	Tinggi Timbunan	15 m
7	Sudut Kemiringan Timbunan	35 °

**Tabel 2.** Dimensi Timbunan-timbunan Batubara Seam D1, D2

No	Dimensi Timbunan Batubara Seam D1, D2	Nilai (m)
1	Panjang Lantai Atas	45 m
2	Lebar Lantai Atas	38 m
3	Panjang Lantai Bawah	88 m
4	Lebar Lantai bawah	80 m
6	Tinggi Timbunan	11 m
7	Sudut Kemiringan Timbunan	38°

### 1. Suhu/ Temperatur Tumpukan Batubara

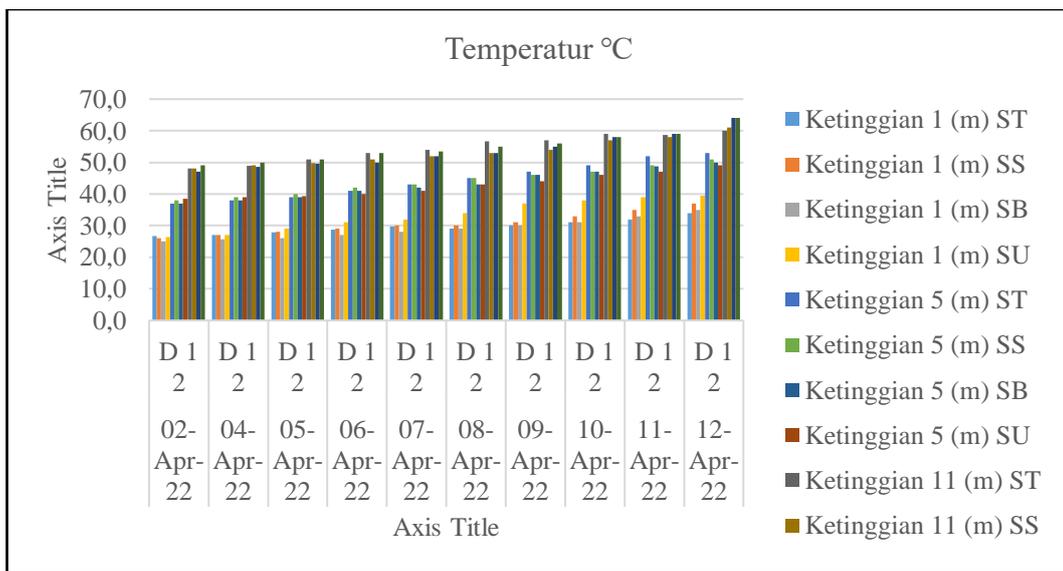
Pengukuran temperatur pada tumpukan batubara dilakukan pada semua tumpukan batubara dengan menggunakan alat *Thermometer* di setiap titik yang di tandai, yang mana pengukuran ini di lakukan selama sepuluh hari. Dan selama pengukuran tersebut terdapat beberapa puncak kritis terjadinya swabakar di beberapa titik. Bila ditemukan adanya titik pemanasan di area *stockpile*, pada saat pengecekan suhu/ temperatur batubara dengan menggunakan *termometer*, maka batubara tersebut akan bisa segera di tangani agar tidak menyebar ke yang lain. Berikut data pengukuran suhu pada area *stockpile* D1, D2 :

**Tabel 3.** Pengukuran Temperatur D1, D2

Hari/ Tanggal	Seam	Ketinggian 1 (m)				Ketinggian 5 (m)				Ketinggian 11 (m)			
		ST	SS	SB	SU	ST	SS	SB	SU	ST	SS	SB	SU
02-Apr-22	D 1 2	26,7	26,0	25,0	26,4	37,0	38,0	37,0	38,5	48,0	48,0	47,0	49,0
04-Apr-22	D 1 2	27,0	27,0	25,7	27,0	38,0	39,0	38,0	39,0	48,9	49,0	48,5	50,0
05-Apr-22	D 1 2	27,8	28,0	26,0	29,0	39,0	40,0	39,0	39,3	51,0	49,7	49,5	51,0
06-Apr-22	D 1 2	28,7	29,0	27,0	31,0	41,0	42,0	41,0	40,0	53,0	51,0	50,0	53,0

07-Apr-22	D 1 2	29,8	30,0	28,0	32,0	43,0	43,0	42,0	41,0	54,0	52,0	52,0	53,4
08-Apr-22	D 1 2	29,0	30,0	29,0	34,0	45,0	45,0	43,0	43,0	56,7	53,0	53,0	55,0
09-Apr-22	D 1 2	30,0	31,0	30,0	37,0	47,0	46,0	46,0	44,0	57,0	54,0	55,0	56,0
10-Apr-22	D 1 2	31,0	33,0	31,0	38,0	49,0	47,0	47,0	46,0	59,0	57,0	58,0	58,0
11-Apr-22	D 1 2	32,0	35,0	33,0	39,0	52,0	49,0	48,8	47,0	58,6	58,0	59,0	59,0
12-Apr-22	D 1 2	34,0	37,0	35,0	39,5	53,0	51,0	50,0	49,0	60,0	61,0	64,0	64,0

Pengukuran disetiap titik dilakukan tanggal 2 April 2022 hingga tanggal 12 april 2022. Pengukuran suhu ini dilakukan setiap hari satu kali di tiap titik pada pukul 08.30 WIB. Berdasarkan hasil penelitian, Suhu kritis pada titik pengukuran D1, D2 terjadi pada di beberapa ketinggian dapat di lihat pada kolom tabel 3 yang berwarna merah, yang mana suhu kritis tersebut akan menyebabkan swabakar. Dan untuk grafik kenaikan suhu di tiap titik dapat dilihat pada (Gambar 5).

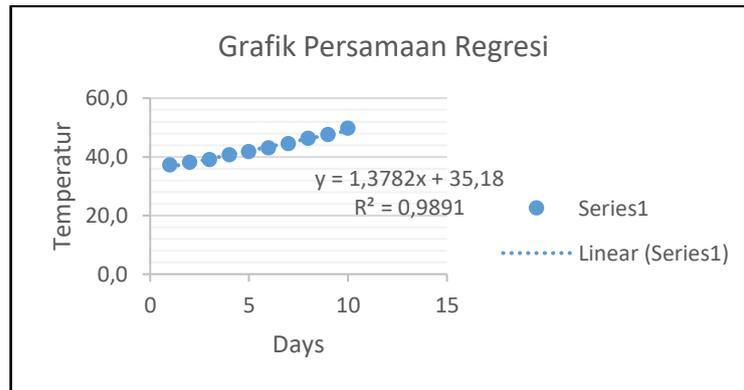


**Gambar 5.** grafik Kenaikan Suhu ditiap Titik D1,D2

Setelah dilakukan analisis secara statistik dengan menggunakan metode regresi sederhana, berdasarkan persebaran data yang ada didapatkan persamaan regresi untuk temperatur pada seam d1,d2 adalah  $y = 35.180 + 1.3782x$  dengan nilai  $R^2$  0.9891 (Gambar 6). Hal tersebut dilakukan berdasarkan perhitungan statistik dengan melakukan tabulasi data seperti tabel berikut ini :

**Tabel 4.** Tabulasi Perhitungan Statistik Data Temperatur

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	37,2	1	1383,84	37,20
2	38,10	4	1451,61	76,20
3	39,10	9	1528,81	117,30
4	40,60	16	1648,36	162,40
5	41,70	25	1738,89	208,50
6	43,00	36	1849,00	258,00
7	44,40	49	1971,36	310,80
8	46,20	64	2134,44	369,60
9	47,50	81	2256,25	427,50
10	49,80	100	2480,04	498,00
55	427,60	385	18442,60	2465,50



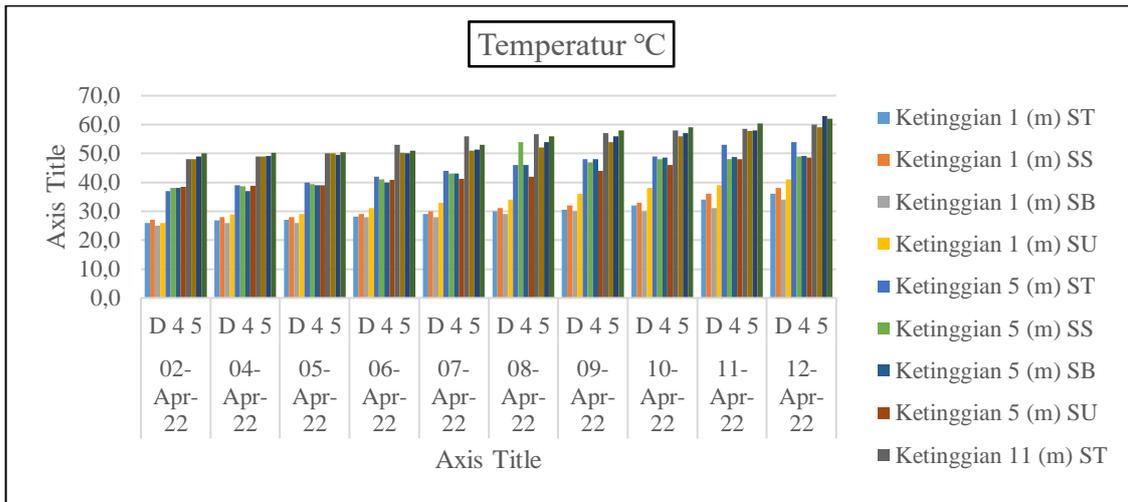
**Gambar 6.** Grafik Persamaan Regresi D1, D2

Berikut data pengukuran suhu pada area *stockpile* D4, D5 :

**Tabel 5.** Pengukuran *Temperatur* D4, D5

Hari/Tanggal	Seam	Ketinggian 1 (m)				Ketinggian 5 (m)				Ketinggian 11 (m)			
		ST	SS	SB	SU	ST	SS	SB	SU	ST	SS	SB	SU
02-Apr-22	D 4 5	26,0	27,0	25,0	26,0	37,0	38,0	38,0	38,5	48,0	48,0	49,0	50,0
04-Apr-22	D 4 5	26,8	28,0	26,0	28,9	39,0	38,7	37,0	38,9	48,9	49,0	49,2	50,2
05-Apr-22	D 4 5	27,0	28,0	26,0	29,0	40,0	39,4	39,0	39,0	50,0	50,0	49,5	50,5
06-Apr-22	D 4 5	28,1	29,0	28,0	31,0	42,0	41,0	40,0	40,8	53,0	50,3	50,0	51,0
07-Apr-22	D 4 5	29,0	30,0	28,0	33,0	44,0	43,0	43,0	41,2	56,0	51,0	51,4	53,0
08-Apr-22	D 4 5	30,0	31,0	29,0	34,0	46,0	54,0	46,0	42,0	56,7	52,0	54,0	56,0
09-Apr-22	D 4 5	30,6	32,0	30,0	36,0	48,0	47,0	48,0	44,0	57,0	54,0	56,0	58,0
10-Apr-22	D 4 5	32,0	33,0	30,0	38,0	49,0	48,0	48,5	46,0	58,0	56,0	57,0	59,0
11-Apr-22	D 4 5	34,0	36,0	31,0	39,0	53,0	48,0	48,8	48,0	58,6	57,7	58,0	60,4
12-Apr-22	D 4 5	36,0	38,0	34,0	41,0	54,0	49,0	49,2	48,6	60,0	59,0	63,0	62,0

Untuk titik pengukuran D4, D5, Suhu kritis batubara terjadi juga pada beberapa titik ketinggian yang dapat di lihat pada kolom tabel 5 berwarna merah. Dari hasil pengamatan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa intensitas sinar matahari yang mengenai timbunan batubara juga mempengaruhi peningkatan temperatur pada timbunan batubara. Apabila temperatur timbunan terus meningkat, maka gejala swabakar akan sering terjadi dan lama tumpukan batubara pada *stockpile* juga mempengaruhi kenaikan temperatur tumpukan batubara pada *stockpile*.

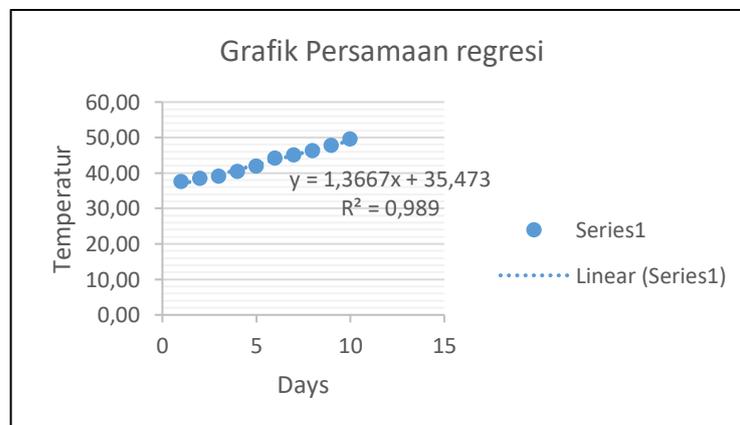


**Gambar 7.** Grafik Kenaikan Suhu di tiap Titik D4, D5

Setelah dilakukan analisis secara statistik dengan menggunakan metode regresi sederhana, berdasarkan persebaran data yang ada didapatkan persamaan regresi untuk temperatur pada *seam* D4, D5 adalah  $y = 35.473 + 1.3667x$  dengan nilai  $R^2 = 0.989$  (Gambar 8). Hal tersebut dilakukan berdasarkan perhitungan statistik dengan melakukan tabulasi data seperti tabel berikut ini :

**Tabel 6.** Tabulasi Perhitungan Statistik Data Temperatur

X	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	XY
1	37,50	1	1406,25	37,50
2	38,40	4	1474,56	76,80
3	39,00	9	1521,00	117,00
4	40,40	16	1632,16	161,60
5	41,90	25	1755,61	209,50
6	44,20	36	1953,64	265,20
7	45,10	49	2034,01	315,70
8	46,20	64	2134,44	369,60
9	47,70	81	2275,29	429,30



**Gambar 8.** Grafik Persamaan Regresi D4, D5

Dari analisis data di atas diketahui bahwa hasil pengolahan lama timbunan tumpukan/ *seam* D1, D2 dan tumpukan/ *seam* D4, D5 ini menunjukkan pengaruh kenaikan suhu yang signifikan. Hal ini juga dibuktikan pada grafik persamaan regresi linier sederhana di atas (Gambar 5 dan 7), yang artinya hubungan tumpukan/ *seam* tersebut sangat kuat. Kemudian salah satu upaya pencegahan swabakar yang perusahaan lakukan yaitu dengan melakukan pengecekan rutin temperatur *stockpile* (*daily basis*) suhu/ *temperature* batubara dengan menggunakan Termometer. Apabila suhu mencapai 50 – 60° C, maka akan dilakukan penanganan seperti. *Spreading*, kompaksi *stockpile*, dan lain-lain dan Waktu penyimpanan batubara tidak terlalu lama di *stockpile* merupakan upaya, mengapa tidak terjadi swabakar, FIFO (*first in first out*), dimana batubara yang terdahulu masuk harus dikeluarkan atau dimuat terlebih dahulu. Hal ini dengan maksud mengurangi resiko *degradation* dan pemanasan batubara. Semakin lama tumpukan batubara disimpan akan semakin banyak waktu proses pemanasan untuk bekerja.

Selain itu pada proses perbaikan tinggi timbunan, bersamaan proses pemadatan pada tumbukan sebelah barat timbunan jarang dipadatkan, sehingga di sisi barat timbunan terjadi swabakar. Upaya dalam proses memperbaiki yaitu dengan memadatkan sisi utara timbunan dengan *excavator* yang naik melalui sisi timbunan barat dan menuju disisi timbunan bagian timur, atau menggunakan *wheel loader* yang naik dari sisi timur area jalan manuver DT kemudian memadatkan bagian barat yang terjadi swabakar. Berdasarkan pengukuran suhu timbunan batubara, ketika penelitian dilapangan pada 2 April 2022 Sampai 12 April 2022 timbunan tumpukan didapat paling tinggi kisaran suhu 64 c yang ditimbun selama 10 hari yang mengakibatkan swabakar di area titik tersebut.

#### Penanganan Swabakar (*Spontaneous Combustion*)

Penanganan swabakar yang diterapkan di PT. MME ini dilakukan dengan menggali batubara yang memiliki titik asap menggunakan *Excavator PC200* kemudian batubara tersebut akan diambil di pindahkan ketempat lain di sekitar timbunan kemudian ditebar (*spreading*), setelah dingin batubara tersebut dikembalikan ke *stockpile* dan selanjutnya dipadatkan menggunakan *bucket excavator* dan bongkahan batubara yang besar di pecahkan menggunakan *bucket excavator* sehingga tidak menyisakan hawa panas dan dapat memicu kembali gejala swabakar tersebut. Dapat dilihat pada (Gambar 9).



**Gambar 9.** Penanganan Swabakar Menggunakan Excavator PC200

Penanganan terhadap gejala swabakar hanya mampu menghentikan proses tersebut dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama. Setelah penanganan dilakukan biasanya gejala swabakar akan kembali terjadi dalam jangka waktu beberapa hari. Sehingga dapat dikatakan bahwa penanganan terhadap gejala swabakar menggunakan metode kompaksi hanya akan mengatasi masalah sesaat saja.

Jika batubara sudah terbakar sangat besar dan sulit untuk dijangkau menggunakan *excavator PC200* sampai menimbulkan api dan terbakar, maka penanganannya tersebut bisa menggunakan bantuan dari petugas damkar, agar bisa segera di atasi dan dampak asap dari swabakar tersebut tidak menyebar.’

Kegiatan penanganan swabakar memiliki faktor-faktor penting yang harus diperhatikan, berikut diantaranya :

- a. Lakukan penggalian terhadap batubara apabila *stockpile* tersebut terbakar dan berhati-hati dalam melakukan penggalian batubara tersebut karena dapat menimbulkan percikan api yang menyebar.
- b. Relokasikan batubara yang terbakar ke lokasi *stockpile* berstatus aman dan dilanjutkan *spreading* dengan tujuan untuk menurunkan temperature batubara tersebut.
- c. Buang abu yang terdapat pada bekas terbakarnya batubara dengan tujuan untuk menghindari penurunan kualitas batubara dikarenakan terkontaminasi dengan material pengotor.

- d. Tumpuk kembali batubara tersebut setelah temperaturnya turun dan lakukan pemadatan kembali apabila batubara tersebut tidak akan segera dimuat.

#### **Analisa Penyebab Terjadinya Swabakar Pada Area *Stockpile***

Potensi swabakar yang terjadi pada tumpukan batubara *stockpile* PT. MME disebabkan oleh beberapa hal diantaranya lama timbunan yang melebihi jangka waktu rekomendasi yang di sebabkan oleh pengeluaran batubara di *stockpile* tidak sesuai dengan penerimaan di *stockpile* di karenakan PT. MME menggunakan jalan umum adanya aturan dari pemerintahan setempat yang mana *hauling* batubara keluar itu di mulai dari jam 18.00 wib untuk menimalisirkan juga hal-hal yang tidak di inginkan seperti debu, kemacetan, dan insiden atau lain-lainnya. Dan penerapan sistem *FIFO* (*first in first out*) yang belum berjalan dengan baik.

Berdasarkan pengolahan dimensi timbunan *seam* D 1 2 dan *seam* D 4 5, masing-masing data dan grafik suhu menunjukkan besarnya pengaruh dimensi timbunan terhadap kenaikan suhu. Semakin tinggi timbunan maka kenaikan suhu akan semakin meningkat, semakin luasnya bidang timbunan yang terkontaminasi langsung dengan udara dan panas maka semakin cepat proses oksidasi di dalamnya. Dari beberapa data suhu yang telah diukur, puncak kritis sampel pada *seam* D 1 2 dengan ketinggian kira-kira 1 sampai 11 meter berada di bidang yang diukur pada sisi timur dan puncak kritis pada *seam* D 4 5 berada di bidang ukur pada sisi barat. Hal ini disebabkan karena timbunan sisi timur dan barat ini memiliki bidang yang luas dan selalu terkontaminasi langsung panas matahari dan angin.

Oksigen di udara juga salah satu faktor yang mempercepat terjadinya oksidasi atau pembakaran batubara dalam penyimpanan area *stockpile*. Makin banyak udara atau angin yang mengalami kontak langsung dengan permukaan batubara, makin cepat juga proses pemanasan atau pembakaran batubara tersebut. Sebelum mengalami *spontaneous combustion* batubara akan mengalami proses oksidasi yang merupakan proses *inisiasi*/permulaan dari *spontaneous combustion*. Apabila proses oksidasi ini diikuti dengan meningkatnya temperature terus menerus pada akhirnya akan mengakibatkan pembakaran spontan.

#### **Analisa Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar**

Masalah pembakaran spontan adalah masalah yang harus di tangani dengan serius karena masalah ini selain mengakibatkan kerugian yang tidak kecil, juga akan mengakibatkan kerusakan lingkungan termasuk membahayakan kesehatan apabila asap yang keluar dari pembakaran batubara terhisap. Untuk mencegah atau memperkecil kerugian yang akan di dapat akibat pembakaran spontan pada area *stockpile* yaitu terdapat beberapa cara:

- a. *Segregasi*  
*Segregasi*/pemisahan dari batubara berukuran besar di sekeliling dasar tumpukan batubara harus dihindari atau batubara yang berukuran besar di pecahkan menggunakan *bucket excavator* karena akan membantu pergerakan bebas dari udara. Sehingga udara dapat melakukan penetrasi ke dalam timbunan batubara yang akan memicu terjadinya oksidasi. Apabila penetrasi udara terjadi secara terus menerus temperatur timbunan akan meningkat dan akhirnya akan memicu terjadinya swabakar. Oleh karena itu, cara efektif selain dilakukan pemecahan batubara berukuran butiran besar maka dilakukan penggunaan batubara halus yang berukuran 1-3 milimeter untuk melapisi permukaan suatu *stockpile* batubara berukuran besar agar dapat mengurangi penetrasi udara.
- b. Memadatkan Permukaan yang Menghadap ke Arah Angin  
Untuk menyimpan batubara yang relatif lama, baik batubara golongan rendah maupun batubara golongan tinggi, sebaiknya setiap *slope* tumpukan dipadatkan, khususnya yang menghadap ke arah angin. Bahwa pemadatan permukaan berarti mengurangi penetrasi oksigen kedalam tumpukan batubara dalam tumpukan tersebut, pemadatan harus dilakukan secara berkala pada lapisan timbunan batubara dengan ketebalan antara 0,5 sampai 1 meter. Pemadatan juga diperlukan untuk menjaga kualitas dan memperkecil risiko swabakar (*spontaneous combustion*) pada *stockpile* dalam waktu yang lama. Untuk pemadatan permukaan menghadap ke arah angin yang dilakukan di PT MME yaitu dipadatkan dengan menggunakan *excavator* dan *wheel loader*.
- c. Mengurangi Ketinggian *Stockpile*  
Tujuan mengurangi ketinggian *stockpile* adalah untuk mengurangi impact dari angin yang menerpa *stockpile*. Semakin besar luas permukaan yang diterpa angin semakin besar tingkat oksidasi yang terjadi, yang berarti pula semakin besar kemungkinannya untuk terjadinya swabakar atau pembakaran spontan, mengurangi ketinggian *stockpile* dapat dengan luasan penumpukan diperbesar. Apabila luasan area *stockpile* tidak mencukupi, maka pemadatan harus dilakukan. Pemadatan *stockpile* dapat dilakukan *layer by layer* atau *single compaction*. Untuk ketinggian tumpukan yang di sarankan yaitu 10-12 meter agar angin tidak menerpa langsung di *stockpile* dikarenakan adanya wind shield yang ada di PT.MME yaitu pohon yang tingginya mencapai 14 meter. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi impact angin



yang menerpa tumpukan batubara. Dengan melandaikan bagian permukaan yang menghadap ke arah angin, berarti juga mengurangi penetrasi angin atau oksigen masuk ke dalam tumpukan.

### Analisa Upaya Pencegahan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di *stockpile*, maka untuk mencegah terjadinya proses swabakar pada timbunan batubara harus dilakukan beberapa penanganan yang baik, seperti :

- a. Metode Penimbunan dan Pembongkaran *FIFO (Fist In–Fist Out)*  
 Dalam kegiatan penimbunan dan pembongkaran yang dilakukan, dengan pola *windrow* metode ini tidak memungkinkan dilakukannya pembongkaran dengan metode *FIFO*, karena dari hasil penelitian di lapangan batubara yang masuk lebih banyak dari pada batubara yang sering keluar sehingga sistem *FIFO* sulit untuk di terapkan karena ada beberapa factor antara lain kurang efesiennya hauling batubara di karenakan penggunaan jalan umum dan peraturan pemerintah daerah serta tidak sebandingnya target produksi dengan volume permintaan batubara dari buyer.
- b. Pemantauan *Temperature* Timbunan  
 Pemantauan *Temperature* timbunan dilakukan secara berkala yaitu 2 kali dalam 1 hari, terutama pada batubara yang telah tertimbun lama, suhu dan titik pengamatan dicatat dan data yang diperoleh dianalisis untuk mengetahui ada tidaknya gejala akan terjadinya swabakar. Memperhatikan tanda-tanda awal terjadinya swabakar adalah hal yang sangat penting dalam upaya pencegahan swabakar. Namun pada saat melakukan penelitian, pemantauan suhu timbunan tidak dilakukan secara berkala karena alat yang akan digunakan tidak efektif.
- c. Pemadatan secara Berkala  
 Pada saat penelitian pemadatan secara berkala tidak dilakukan karena akan menambah biaya yang cukup besar. Pemadatan hanya dilakukan 1 hari satu kali dengan menggunakan *wheel loader* pada setiap *stockpile* serta terbantu dengan adanya aktifitas manuver *dump truk* saat akan melakukan *dumping* batubara ke *stockpile* dengan tujuan pengontrolan dan pencegahan terjadinya swabakar, sehingga pada *stockpile* tersebut tidak kembali terjadi swabakar.
- d. Mengurangi Tinggi Timbunan  
 Tujuan untuk mengurangi ketinggian timbunan adalah untuk mengurangi angin yang menerpa *stockpile*, semakin luas permukaan yang diterpa angin semakin besar tingkat oksidasi yang terjadi yang berarti semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya swabakar.

### Analisa Upaya Penanggulangan

Berikut ini adalah prosedur yang di lakukan dalam rangka penanggulangan pada tumpukan batubara yang terbakar:

- a. Kompaksi atau Pemadatan Tumpukan Batubara  
 Dengan melakukan pemadatan diharapkan celah-celah antar batuan pada batubara akan semakin kecil atau sedikit. Dengan mempersempit celah oksigen mengisi ruang-ruang pada tumpukan diharapkan akan memperkecil kemungkinan terjadinya kebakaran. Gejala swabakar juga terjadi di celah-celah penumpukan batubara akibat penanganan yang kurang sempurna pada saat melakukan penimbunan batubara di PT. MME. Maka metode kompaksi yang di lakukan menggunakan *excavator PC200*.
- b. Pembuatan Parit di Sekitar Tumpukan Batubara  
 Parit ini bertujuan agar air pada tumpukan dapat mengalir melalui parit-parit yang telah dibuat sehingga tidak terjadinya penumpukan kadar air pada batubara yang dapat menyebabkan peningkatan suhu di dalam tumpukan batubara area *stockpile*.
- c. Membuang atau Memisahkan Batubara pada Tumpukan yang Mengeluarkan Asap  
 Jika batubara dalam tumpukan *stockpile* mengeluarkan asap putih tebal dan berbau belerang itu menandakan sudah terjadi titik api di dalam tumpukan biasanya di PT. MME dilakukan penanganan menggunakan *excavator PC200* untuk memisahkan titik api tersebut
- d. *Re-Stockpiling* (pembongkaran tumpukan batubara)  
 Apabila temperature tetap naik setelah upaya pencegahan dilakukan, maka penanggulangannya adalah dengan *re-stockpiling*, tumpukan dibongkar untuk menguapkan uap air dan sekaligus *cooling* atau pendinginan *temperature* batubara. Dengan cara demikian panas yang dihasilkan dari *self heating* akan segera turun karena terjadi konveksi panas ke udara dan juga penguapan air yang juga menyerap panas. Akan tetapi perlu sekali lagi ditegaskan bahwa pencegahan yang paling efektif adalah tidak menyimpan batubara di *stockpile* terlalu lama.

### Metode yang Dilakukan untuk Menghindari Swabakar

Penimbunan batubara pada *stockpile* ini menggunakan pola pemadatan yaitu penimbunan dengan menumpuk batubara secara berurutan menjadi tumpukan- tumpukan kecil batubara, kemudian tumpukan batubara tersebut diratakan dan dilakukan pemadatan dengan menggunakan *wheel loader* pada setiap lapisan (*layer*) dan selanjutnya batubara yang datang dari front ditumpuk kembali diatas lapisan yang sudah dipadatkan sebelumnya dengan cara berurutan untuk dilakukan pemadatan lagi dan begitu seterusnya. Berdasarkan pola maka urutan pekerjaan yang dilakukan sebagai berikut :

- a. Batubara yang berasal dari front penambangan di *dumping* pada areal *stockpile* membentuk tumpukan tumpukan kecil batubara.
- b. Setelah penumpukan untuk seluruh lantai dasar penuh kemudian dilakukan pemerataan dan pemadatan layer pertama. Pada saat pemerataan telah terjadi proses pemadatan pada saat *wheel loader* bermanufer untuk mendorong batubara yang akan diratakan. Setelah lapisan atas batubara menjadi relatif rata dan datar. Maka dilakukan kembali manufer maju mundur sebanyak dua kali diatas layer batubara yang sudah rata dengan tujuan agar layer tersebut lebih padat sehingga pemadatan menjadi lebih efektif.
- c. Kegiatan pada saat *dump truck* melakukan *dumping* juga secara tidak langsung membantu proses pemadatan dimana saat *dump truck* bermanufer untuk melakukan *dumping* juga terjadi pembebanan pada lapisan batubara yang dilewatinya sehingga berakibat terjadinya pemadatan pada lapisan yang dilewatinya tersebut.
- d. Kegiatan ini dilakukan berulang sampai dengan ketinggian *stockpile* mencapai batasan yang di tentukan, atau batasan kapasitas yang mencapai 170 ribu ton sesuai dengan data yang didapat dari elevasi awal dan akhir *stockpile*.

### Analisa Dampak Pencemaran *Stockpile* terhadap Lingkungan

#### a. Dampak Penumpukan dan Penggerusan Batubara

Kegiatan penumpukan, dan penggerusan batubara merupakan sumber utama terjadinya penurunan kualitas udara akibat emisi debu (partikel batubara). Disamping itu, penimbunan batubara juga dapat mengakibatkan pencemaran terhadap air tanah dan pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) seperti :

##### ➤ Debu Batubara

Debu batubara adalah partikel halus berukuran mikron yang dapat terbang terbawa angin. Pada kegiatan penanganan dan penggerusan, emisi debu batubara dapat terjadi tetapi pada radius terbatas disekitar plant sehingga pengaruhnya bersifat lokal. Pada musim kemarau, emisi debu batubara akan semakin meningkat. Dampak utama dari debu adalah terhadap para pekerja akibat menghirup udara yang mengandung partikel debu batubara dan mengendap dalam saluran pernafasan sehingga dapat mengganggu system pernafasan. Untuk menghindari dampak tersebut para operator harus menggunakan masker debu.

##### ➤ Aliran Air Tumpukan Batubara

Aliran cairan dari tumpukan batubara yang terkena hujan dapat beresiko mencemari lingkungan. Namun kualitas air lindihan tersebut tergantung karakteristik batubara, curah hujan, topografi dan *drainase* tumpukan. Unsur logam besi biasanya terdapat paling banyak dalam air lindihan. Unsur logam berat seperti krom, air raksa, magnesium terkadang terdapat dalam kadar yang kecil.

Air asam dapat ditimbulkan oleh tumpukan *stockpile* batubara, terutama apabila kandungan belerangnya tinggi. Oksidasi udara terhadap belerang menghasilkan oksida belerang yang kemudian terlarut oleh air hujan membentuk asam sulfat. Apabila larutan asam sulfat tersebut masuk kedalam air tanah, maka keasaman air akan meningkat dan mengganggu kesehatan apabila digunakan sehari-hari. Untuk mengatasi hal tersebut, air lindihan air hujan disalurkan ke penampungan dan di control keasamannya kemudian di netralkan sebelum salurkan ke sungai atau di buang.

#### b. Dampak Pencemaran dari Terbakarnya Tumpukan Batubara

Dari permasalahan terbakarnya batubara pada area *stockpile* berdampak pada kondisi udara di daerah pertambangan tersebut seperti :

- Terbakarnya batubara pada *stockpile* menghasilkan gas nitrogen dan juga sebagai polusi yang membentuk hujan asam (*acid rain*) dan *ground level ozone*, yaitu tipe lain dari polusi yang dapat membuat kotor udara. Selain itu asap dan debu-debu hasil pengangkatan batubara juga sangat berbahaya bagi kesehatan. Penanaman pohon untuk mencegah asap dari hasil swabakar tidak meluas ke pemukiman warga. Pembuatan penangkal asap swabakar di *stockpile* sangat di butuhkan karena bisa mencegah asap agar tidak meluas ke masyarakat di sekitar area. Nah di PT. MME terdapat letak pohon yang dibuat sebelah timur, dan selatan *stockpile*, maka sangat dibutuhkan pohon sebagai penghalang dikarenakan pohon mempunyai sifat kekuatan yang lebih tinggi.
- Polusi udara akibat *flying ash* dalam jangka waktu yang lama akan berbaya bagi kesehatan penduduk sekitar area penambangan dan akan menyebabkan infeksi saluran pernapasan.



ISSN: 1907-5995

Gas-gas yang terbentuk dari kegiatan batubara menghasilkan metan, karbon dioksida serta karbon monoksida, dan gas-gas lain yang akan terperangkap di celah-celah batuan yang ada di sekitar lapisan batubara yang nantinya dapat mencemari udara

### KESIMPULAN (10 PT)

Berdasarkan hasil pengamatan, perhitungan, dan pembahasan bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan penimbunan dan pembongkaran pada PT.MME belum sepenuhnya melaksanakan sistem *FIFO* (*First in first out*), kemudian kurangnya monitoring suhu timbunan di *ROM Stockpile*, sehingga tidak diketahui suhu timbunan setiap harinya, dan potensi swabakar pada tumpukan batubara yang cukup besar disebabkan oleh dimensi timbunan yang memiliki rata-rata ketinggian melebihi rekomendasi, arah dan kecepatan angin, serta kurangnya pemadatan area secara rutin di *ROM Stockpile*.
2. Pencegahan yang dilakukan yaitu menggunakan metode penimbunan dan pembongkaran *FIFO* (*Fist In–Fist Out*), Pemantauan *temperature* timbunan, pemadatan secara berkala, pembuatan parit di sekitar tumpukan batubara, kompaksi tumpukan batubara dan mengurangi tinggi timbunan di *stockpile*. Kemudian untuk penanggulangan swabakar yang diterapkan di PT.MME ini dilakukan dengan menggali batubara yang memiliki titik asap menggunakan *Excavator PC200* kemudian batubara tersebut akan diambil di pindahkan ketempat lain di sekitar timbunan kemudian ditebar (*spreading*), setelah batubara tidak mengeluarkan asap, batubara yang ditebar tadi dikembalikan di tempat tumpukan semula, serta kompaksi atau pemadatan batubara secara rutin.

Pencemaran terhadap lingkungan dapat diketahui dampak utama yaitu dari debu terhadap para pekerja akibat menghirup udara yang mengandung partikel debu batubara dan mengendap dalam saluran pernafasan sehingga dapat mengganggu system pernafasan. Terbakarnya batubara pada *stockpile* menghasilkan gas nitrogen, juga sebagai polusi yang membentuk hujan asam (*acid rain*) serta *ground level ozone*, yaitu tipe lain dari polusi yang dapat membuat kotor udara dikarenakan gas-gas yang terbentuk dari kegiatan batubara menghasilkan metan. Aliran cairan dari tumpukan batubara yang terkena hujan dapat beresiko mencemari lingkungan, namun kualitas air lindihan tersebut tergantung karakteristik batubara, curah hujan, topografi dan *drainase* tumpukan. Air asam dapat ditimbulkan oleh tumpukan *stockpile* batubara, terutama apabila kandungan belerangnya tinggi yang kemudian terlarut oleh air hujan membentuk asam sulfat. Apabila larutan asam sulfat tersebut masuk kedalam air tanah, maka keasaman air akan meningkat dan mengganggu kesehatan serta menyebabkan gatal pada kulit apabila digunakan sehari-hari (10 pt).

### UCAPAN TERIMAKASIH (10 PT)

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PT. Manambang Muara Enim yang telah memberikan kesempatan, memfasilitasi, dan membimbing peneliti sehingga penelitian dapat dilaksanakan dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA (10 PT)

- [1] Alfarisi, A., Ibrahim, E., & Asyik, M., “Analisis Potensi *Self Heating* Batubara pada *Live Stock* dan *Temporary Stockpile* Banko Barat PT. Bukit Asam,” *Jurnal Pertambangan*, 2017; 1(3).
- [2] Analiser, H. & Musprianto, R., “Teknologi Pencegahan Terjadinya Swabakar pada *Stockpile* Batubara,” *Jurnal Sains dan Teknologi ISTP*, 2020, Volume 13, No. 01, pp. 20-30.
- [3] ANSI, *Classification of coals by ra, ASTM D388-84-1998, Annual Books of ASTM Standars*. s.l.:American Society for Testing and Materials,1998.
- [4] Arta, M. & Ansosry, “Rancangan Teknis *Stockpile* 2 di PT Bukit Asam Tbk, Unit Pelabuhan Tarahan-Lampung.” *Bina Tambang*, 2017; 4(1), pp. 266-275.
- [5] Bemmelen, V. R., “*The Geology of Indonesia*,” 1949, Vol. 1A. Martinus Nyhoff, Netherland The Haque.
- [6] Filah, M. N., Ibrahim, E. & Ningsih, Y. B., “Analisis Terjadinya Swabakar dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Batubara pada Area Timbunan 100/200 pada *Stockpile* Kelok S di PT.Kuansing Inti Makmur,” *Jurnal Pertambangan*, 2016, Vol. 1, No. 1, pp. 1-10.
- [7] Gafoer, S., Cobrie, T. & Purnomo, J., “*Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatera Selatan*,” Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1986.
- [8] Hardianti, S. & Billi, “Pengaruh Temperatur, Lama Timbunan dan Dimensi Timbunan terhadap Terjadinya Swabakar,” *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 2018, Volume 09, No. 02, pp. 4-13.
- [9] Sukardarrumidi, “*Batubara dan Gambut*,” Yogyakarta, Gadjah Mada University press, 1995.

- [10] Widodo, D. H., "*Evaluasi Manajemen Stockpile Batubara untuk Mencegah Terjadinya Swabakar,*" Padang, Sekolah Tinggi Teknologi Industri, 2018.
- [11] Widodo, G., "*Upaya Menghindari Kebakaran Tumpukan Batubara,*" s.l.Berita PPTM, 2009, (11).