

**ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN *SWABAKAR* PADA
AREA *STOCKPILE* DI PT LEMATANG *COAL* LESTARI
MUARA ENIM SUMATERA SELATAN**



**ALDI GUSTIYANUGRAH
2023310078**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PRABUMULIH
2026**

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN *SWABAKAR* PADA AREA *STOCKPILE* DI PT LEMATANG *COAL* LESTARI MUARA ENIM SUMATERA SELATAN

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih



ALDI GUSTIYANUGRAH
2023310078

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PRABUMULIH
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN SWABAKAR PADA AREA STOCKPILE DI PT LEMATANG COAL LESTARI MUARA ENIM SUMATERA SELATAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

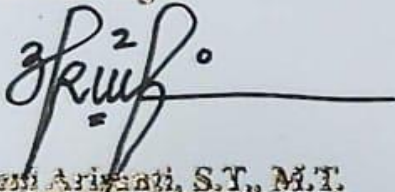
Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih

Oleh:

ALDI GUSTIYANUGRAH
2023310075

Prabumulih, 13 juli 2026

Pembimbing I



Reni Ariyanti, S.T., M.T.
NUPTK 1439735655300002

Pembimbing II



Ahmad Husni, S.T., M.T.
NUPTK 6338747650200003



Ketua Program Studi
Teknik Pertambangan

Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK 250771672130283

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Laporan Tugas Akhir dengan judul "Analisis Upaya Penanggulangan Swabakar Pada Area Stockpile Di Pt Lematang Coal Lestari Muara Enim Sumatera Selatan". telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik, Universitas Prabumulih pada tanggal, 15 juli 2026, dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai dengan masukan Tim Penguji Sidang Laporan Tugas Akhir. Prabumulih, 15 juli 2026

Tim Penguji Laporan Tugas Akhir

Ketua:

1. Rini Arisanti, S.T., M.T.

NUPTK 1439755655300002

Anggota:

2. Ahmad Husni, S.T., M.T.

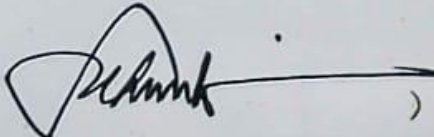
NUPTK 6338747650200003

3. Suhardiman Gumanti, S.T., M.T.

NUPTK 7353748650200002

()

()

()

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
Teknik Pertambangan



Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM.
NUPTK 9944735656130172

Ketua Program Studi



Ridho Yovanda, S.T., M.T.
NUPTK 250771672130283

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ALDI GUSTIYANUGRAH

NIM : 2023310078

Prodi : Teknik Pertambangan

Judul : Analisis Upaya Penanggulangan *Swabakar* Pada Area *Stockpile* Di Pt Lematang *Coal* Lestari Muara Enim Sumatera Selatan

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi oleh tim pembimbing serta bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam tugas akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik Universitas Prabumulih sesuai dengan peraturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari siapapun.



Prabumulih, 15 juli 2026

Yang bersangkutan,



ALDI GUSTIYANUGRAH
2023310078

ABSTRAK

ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN *SWABAKAR* PADA AREA *STOCKPILE* DI PT LEMATANG *COAL* LESTARI MUARA ENIM SUMATERA SELATAN

ALDI GUSTIYANUGRAH, 2023310078, 2026

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama pemicu pembakaran spontan (*Swabakar*) dan menganalisis efektivitas upaya penanggulangan yang diterapkan pada area *Stockpile* di PT Lematang *Coal* Lestari, Muara Enim, Sumatera Selatan. Kegiatan penimbunan batu bara pada lokasi penelitian dilakukan di *temporary Stockpile* menggunakan metode *cone ply* dengan dimensi timbunan yang fluktuatif memiliki tinggi 5–12 meter, lebar 17–50 meter, panjang 80–140 meter, serta sudut lereng antara 26°–35°. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa faktor utama pemicu *Swabakar* meliputi akumulasi panas akibat proses oksidasi batu bara jenis lignit, paparan sinar matahari secara langsung, sirkulasi udara yang kurang baik di dalam tumpukan, serta kondisi permukaan timbunan yang kering. Berdasarkan pemantauan temperatur transisi, peningkatan suhu tertinggi mencapai kondisi kritis (*hotspot*) pada tanggal 23 April 2026 dengan temperatur sebesar 168,5°C, yang memicu munculnya asap putih dan penurunan kualitas material. Upaya penanggulangan yang dilakukan oleh perusahaan meliputi penerapan sistem *First In First Out* (FIFO) untuk membatasi lama waktu penyimpanan serta kegiatan pemadatan (*compacting*) menggunakan *excavator* SANY SY500H. Kegiatan pemadatan ini terbukti cukup efektif dalam mengurangi rongga udara dan membatasi suplai oksigen ke dalam timbunan, sehingga temperatur batu bara berhasil diturunkan kembali mendekati fase normal (28–35°C). Kendati demikian, perusahaan direkomendasikan untuk menerapkan sistem manajemen *Stockpile* yang lebih terencana guna mengendalikan dimensi timbunan agar tidak melampaui batas aman operasional.

Kata Kunci: Batu Bara, *Stockpile*, *Swabakar*, *Compacting*, FIFO.

ABSTRACT

ANALISIS UPAYA PENANGGULANGAN *SWABAKAR* PADA AREA *STOCKPILE* DI PT LEMATANG COAL LESTARI MUARA ENIM SUMATERA SELATAN

ALDI GUSTIYANUGRAH, 2023310078, 2026

This study aims to identify the main factors triggering spontaneous combustion (*Swabakar*) and analyze the effectiveness of mitigation efforts applied to the Stockpile area at PT Lematang Coal Lestari, Muara Enim, South Sumatra. Coal stockpiling at the research site is carried out in a temporary Stockpile using the cone ply method, with fluctuating Stockpile dimensions ranging from heights of 5–12 meters, widths of 17–50 meters, lengths of 80–140 meters, and slope angles between 26°–35°. Field observations indicate that the primary factors triggering spontaneous combustion include heat accumulation due to the oxidation process of lignite Coal, direct exposure to sunlight, poor air circulation within the pile, and dry Stockpile surfaces. Based on transition temperature monitoring, the highest temperature increase reached a critical condition (hotspot) on April 23, 2026, with a temperature of 168.5°C, which triggered the appearance of white smoke and led to material quality degradation. The mitigation efforts implemented by the company include the application of the First In First Out (FIFO) system to manage storage duration, and compaction activities (compacting) utilizing a SANY SY500H excavator. The compaction activity proved effective in reducing air voids and limiting oxygen supply into the pile, allowing the Coal temperature to decrease back to the normal phase (28–35°C) after operational handling. Nevertheless, it is recommended that the company implement a better-planned Stockpile management system to strictly control pile dimensions so they do not exceed safe operational limits.

Keywords: Coal, Stockpile, Spontaneous Combustion, Compacting, FIFO.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Upaya Penanggulangan *Swabakar* pada area *Stockpile* di PT Lematang *Coal Lestari*”.

Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Ahli Madya di Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih. Penulis banyak menerima bantuan, arahan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yuniar Pratiwi, S.Si., M.Si. selaku Rektor Universitas Prabumulih.
2. Bapak Dr. Ir. Aris Susilo, S.T., M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih
3. Bapak Ridho Yovanda, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pertambangan.
4. Ibu Reni Arisanti, S.T., M.T. sebagai Pembimbing I.
5. Bapak Bapak Ahmad Husni, S.T., M.T. sebagai Pembimbing II.
6. Bapak/Ibu sebagai Tim Penguji.
7. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
8. Bapak/Ibu staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Prabumulih.
9. Kedua orang tua serta keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa.
10. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Prabumulih khususnya angkatan 2023 serta semua pihak yang telah membantu Penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan yang belum Penulis sadari. Kritik dan saran yang bersifat membangun Penulis harapkan dari semua pihak untuk kesempurnaan Laporan tugas akhir ini. Akhir kata Penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi Penulis dan Pembaca. Aamiin.

Prabumulih, 15 juli 2026

Aldi Gustiyanugrah
2023310078



DAFTAR ISI

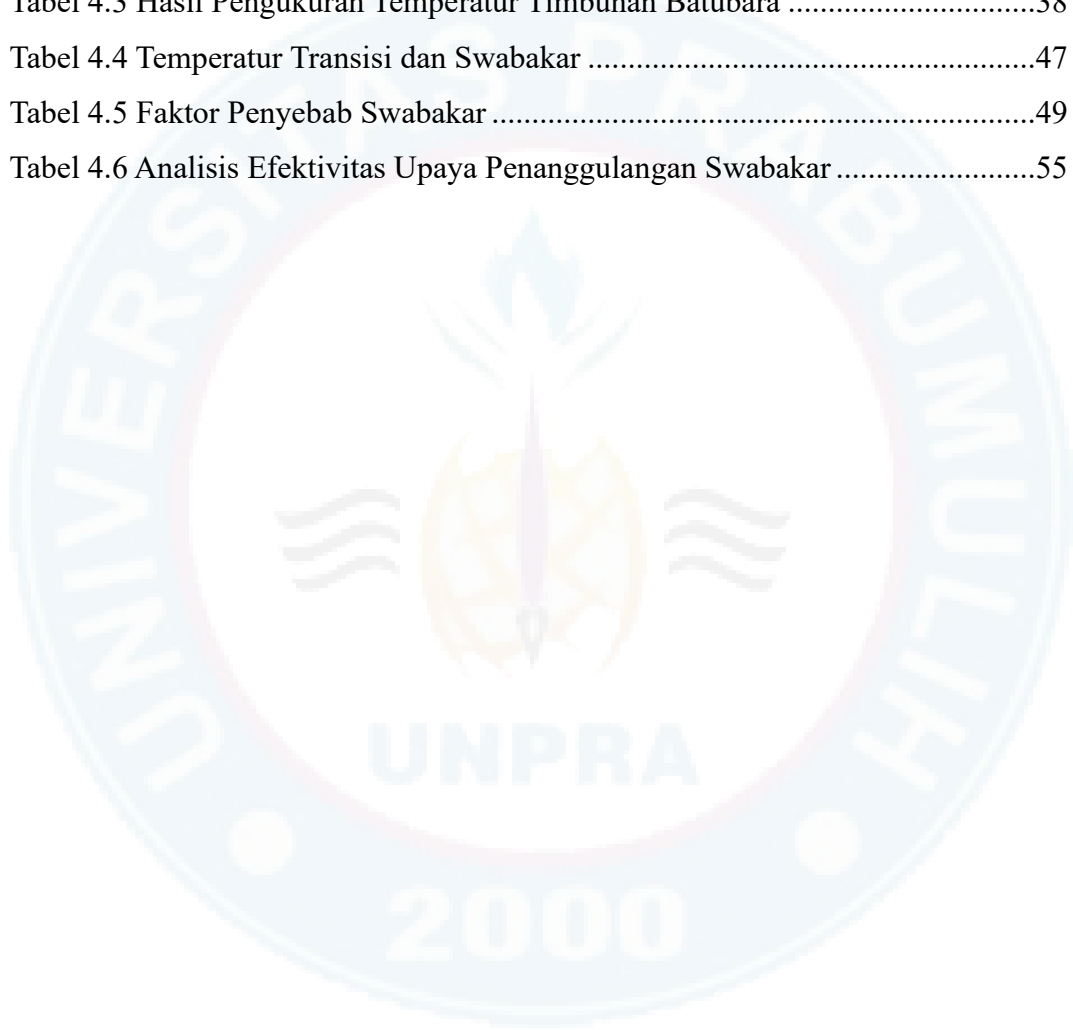
	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Deskripsi Lokasi Penelitian	4
2.1.1 Sejarah Perusahaan	4
2.1.2 Izin Usaha Penambangan (IUP)	5
2.1.3 Struktur Organisasi	6
2.1.4 Gambaran Umum Lokasi <i>Stockpile</i>	8
2.1.5 Lokasi Dan Kesampaian Daerah	9
2.1.6 Iklim dan Curah Hujan	10
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Terjadinya api pada kondisi <i>Swabakar</i>	14
2.2.2 pencegahan serta penanggulangan <i>Swabakar</i> pada <i>Stockpile</i>	16
2.2.3 Pengujian dan Data Temperatur.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Alokasi Waktu Kegiatan Penelitian	28
3.2 Tahapan Penelitian.....	28
3.3 Teknik Pengolahan Data.....	30
3.4 Teknik Analisis Data.....	31
3.5 Bagan Alir Penelitian.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Identifikasi Faktor-Faktor Utama Penyebab Terjadinya <i>Swabakar</i> pada Area <i>Stockpile</i> PT Lematang Coal Lestari	33
4.1.1 Dimensi Timbunan Batubara	33

4.1.2 Jenis dan Kualitas Batubara.....	35
4.1.3 Sistem Penumpukan Batubara Menggunakan Pola <i>Cone ply</i>	36
4.1.4 Hasil Pengukuran Temperatur Timbunan Batubara.....	37
4.1.5 Analisis Faktor Utama Penyebab <i>Swabakar</i>	48
4.2 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan <i>Swabakar</i>	50
4.2.1 Pemantauan Temperatur sebagai Dasar Penentuan Penanganan <i>Swabakar</i>	51
4.2.2 Kegiatan Pembongkaran (<i>Dozing/Turn Over</i>).....	52
4.2.3 Kegiatan <i>Compacting</i>	53
4.2.4 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan <i>Swabakar</i>	54
BAB V PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN A DOKUMENTASI PENELITIAN	60
LAMPIRAN B SOP PENANGANAN <i>SWABAKAR</i>	61



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	28
Tabel 4.1 Dimensi Timbunan Stockpile	34
Tabel 4.2 Data Jenis dan Kualitas Batubara PT Lematang Coal Lestari.....	36
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Temperatur Timbunan Batubara	38
Tabel 4.4 Temperatur Transisi dan Swabakar	47
Tabel 4.5 Faktor Penyebab Swabakar	49
Tabel 4.6 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan Swabakar	55



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Wilayah Izin Usaha Penambangan	5
Gambar 2.2 Struktur Organisasi.....	7
Gambar 2.3 Peta Lokasi <i>Stockpile</i>	8
Gambar 2.4 Peta Kesampaian Daerah.....	10
Gambar 2.5 Grafik Curah Hujan Dan Jam Hujan Bulan April 2026	13
Gambar 2.6 Segitiga Api	16
Gambar 2.7 Metode Timbunan <i>Cone ply</i>	18
Gambar 2.8 Timbunan Metode Chevron.....	19
Gambar 2.9 Timbunan Metode <i>Chevron-Cone</i>	20
Gambar 2.10 Timbunan Metode Windrow.....	21
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	32
Gambar 4.1 Kondisi Umum Area Stockpile PT Lematang Coal Lestari	35
Gambar 4.2 Sistem Penumpukan Batubara Menggunakan Pola Cone ply	37
Gambar 4.3 Grafik Temperatur Tanggal 08 April 2026	41
Gambar 4.4 Grafik Temperatur Tanggal 10 April 2026	42
Gambar 4.5 Grafik Temperatur Tanggal 17 April 2026	43
Gambar 4.6 Grafik Temperatur Tanggal 23 April 2026	44
Gambar 4.7 Grafik Temperatur Tanggal 24 April 2026	46
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Transisi dan Swabakar	48
Gambar 4.9 Kegiatan Monitoring Temperatur	51
Gambar 4.10 Kegiatan Pembongkaran (Dozing/Turn Over)	52
Gambar 4.10 Kegiatan Pembongkaran (Dozing/Turn Over)	53
Gambar A.1 Kegiatan Observasi Lapangan	60
Gambar A.2 Pengukuran Temperatur pada Bagian Dasar Timbunan Batubara.....	60
Gambar A.3 kondisi stockpile setelah hujan	60
Gambar A.5 Titik Hotspot pada Area stockpile	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Dokumentasi Penelitian	60
Lampiran B Sop Penanganan <i>Swabakar</i>	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri Pertambangan masih memiliki kontribusi signifikan dalam mendukung sistem energi dan pertumbuhan ekonomi, baik pada skala global maupun nasional. Pemanfaatan batubara cenderung tinggi karena ketersediaan cadangannya yang besar, harga yang relatif stabil, serta kemampuannya dalam memenuhi kebutuhan energi listrik dan aktivitas industri yang terus meningkat. Peningkatan konsumsi energi yang dipicu oleh pertumbuhan sektor industri serta keterbatasan sumber energi minyak dan gas menjadikan batubara sebagai salah satu penopang utama ketahanan energi. Kondisi tersebut tercermin dari tingginya produksi batubara nasional yang kemudian dimanfaatkan secara luas pada sektor pembangkit listrik dan industri. Pengelolaan batubara menjadi aspek yang tidak dapat diabaikan dalam mendukung keberlanjutan pembangunan nasional (Setiawan *et al.*, 2020).

Seiring dengan peran tersebut, aktivitas pengelolaan batubara di lapangan khususnya pada area *stockpile* menghadapi sejumlah permasalahan teknis. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah *swabakar*, yaitu proses pembakaran spontan yang muncul akibat reaksi oksidasi batubara yang menghasilkan panas di dalam timbunan. Potensi terjadinya *swabakar* meningkat pada kondisi penimbunan dalam volume besar, ketinggian timbunan yang tidak terkendali, serta sirkulasi udara yang kurang optimal. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa pola penumpukan yang tidak seragam, durasi penyimpanan yang terlalu lama, serta minimnya pengawasan suhu dapat menyebabkan peningkatan temperatur internal *stockpile* yang berujung pada terjadinya *swabakar* (Sarmidi *et al.*, 2025).

Swabakar tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas batubara, tetapi juga memberikan pengaruh langsung terhadap kelancaran operasional. Kejadian pembakaran spontan dapat menghambat proses pemuatan dan distribusi, meningkatkan biaya penanganan, serta menimbulkan risiko keselamatan kerja karena titik panas sering tidak terdeteksi pada tahap awal. Beberapa kajian menyatakan bahwa sistem pemantauan suhu yang terintegrasi dengan karakteristik

batubara dan kondisi lingkungan mampu membantu dalam mengidentifikasi area yang memiliki potensi risiko tinggi. Upaya pengendalian seperti pengaturan kadar kelembapan, pengelompokan ukuran batubara, dan inspeksi suhu secara berkala menjadi langkah yang diperlukan dalam menekan potensi *swabakar* (Nursanto *et al.*, 2024).

Risiko *swabakar* juga berkaitan dengan lama penyimpanan batubara yang dapat mencapai sekitar lima bulan, penerapan sistem *first in first out* (FIFO) yang belum berjalan secara konsisten, serta ketinggian timbunan yang melampaui batas aman operasional sebesar 11 meter. Hasil pengamatan suhu yang menunjukkan fluktuasi serta adanya beberapa titik dengan temperatur tinggi mengindikasikan perlunya sistem monitoring yang lebih terstruktur. Kesenjangan antara standar teknis dan praktik operasional di lapangan menunjukkan perlunya kajian lebih mendalam pada lokasi spesifik untuk memahami karakteristik peningkatan suhu serta merumuskan strategi pengendalian yang lebih sesuai dengan kondisi *stockpile* (Putri *et al.*, 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berjudul “Analisis Upaya Penanggulangan *swabakar* pada Area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari.” Penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi potensi risiko *swabakar* pada kondisi penimbunan saat ini, menganalisis kendala dalam pelaksanaan pengendalian, serta merumuskan langkah perbaikan yang dapat diterapkan guna meningkatkan keamanan, kestabilan, dan efektivitas pengelolaan *stockpile* di lingkungan perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian, sebagai berikut :

1. Apa saja faktor yang memicu terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari berdasarkan kondisi operasional penimbunan batubara?
2. Bagaimana efektivitas penanggulangan *swabakar* yang saat ini diterapkan di PT Lematang Coal Lestari dan sejauh mana upaya tersebut mampu mengatasi terjadinya *swabakar*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini, sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memicu terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari.
2. Menganalisis efektivitas upaya penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian dilakukan untuk meningkatkan pemahaman, penelitian memberikan informasi dan pengetahuan yang dibutuhkan untuk memecahkan masalah dan membuat keputusan. Secara spesifik manfaat penelitian ini mencakup dua aspek yaitu sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Dasar pengembangan metode pencegahan. Secara teoritis, temuan mengenai korelasi antara pola penimbunan yang tidak tepat (misalnya, tumpukan yang terlalu tinggi atau terlalu padat) dengan peningkatan suhu dapat menjadi dasar empiris untuk pengembangan metode dan desain *stockpile* yang lebih aman dan efisien di masa depan.

2. Manfaat Praktis

Secara praktis, penelitian ini memberikan manfaat langsung :

- a. Berupa pengurangan kerugian material dengan mencegah penurunan kualitas batubara (nilai kalori dan kelembapan) serta hilangnya volume akibat terbakar. Hal ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan *revenue* dan pengurangan biaya operasional penanganan batubara yang terbakar.
- b. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi bekal pengetahuan yang berguna dalam mengatasi masalah serupa di dunia kerja dan berfungsi sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya yang relevan.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini hanya memfokuskan pada analisis upaya penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

2.1.1 Sejarah Perusahaan

PT Lematang Coal Lestari (PT LCL) merupakan perusahaan yang bergerak pada sektor pertambangan batubara dengan penerapan sistem penambangan terbuka (*open pit mining*). Perusahaan ini mulai dibentuk dan beroperasi pada rentang tahun 2007 hingga 2009, kemudian berkembang menjadi salah satu kontraktor pertambangan yang beroperasi di wilayah Sumatera Selatan, khususnya Kabupaten Muara Enim.

Pada fase awal pendiriannya, PT LCL difokuskan untuk mendukung kegiatan eksplorasi serta pengembangan potensi sumber daya batubara pada wilayah konsesi yang berada di Kecamatan Empat Petulai Dangku. Seiring berjalannya waktu, kegiatan perusahaan tidak lagi terbatas pada eksplorasi, melainkan juga memasuki tahap produksi atau eksploitasi guna mendukung kebutuhan energi nasional, terutama sebagai pemasok batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap (pltu).

Dalam proses pengembangan operasional, PT LCL memperluas ruang lingkup kegiatan sebagai kontraktor pertambangan yang menangani berbagai pekerjaan teknis, mulai dari pembukaan lahan, pengupasan tanah pucuk (*top soil*), hingga pengelolaan lapisan tanah penutup (*overburden*). Aktivitas tersebut dilaksanakan pada beberapa lokasi kerja yang tersebar di wilayah Kabupaten Muara Enim.

Perkembangan perusahaan juga ditandai dengan perubahan struktur organisasi serta ekspansi area operasional. PT LCL turut menjalin kerja sama operasional dengan sejumlah pemegang izin usaha pertambangan di Sumatera Selatan, yang kemudian memperkuat peran perusahaan dalam rantai pasok industri batubara nasional.

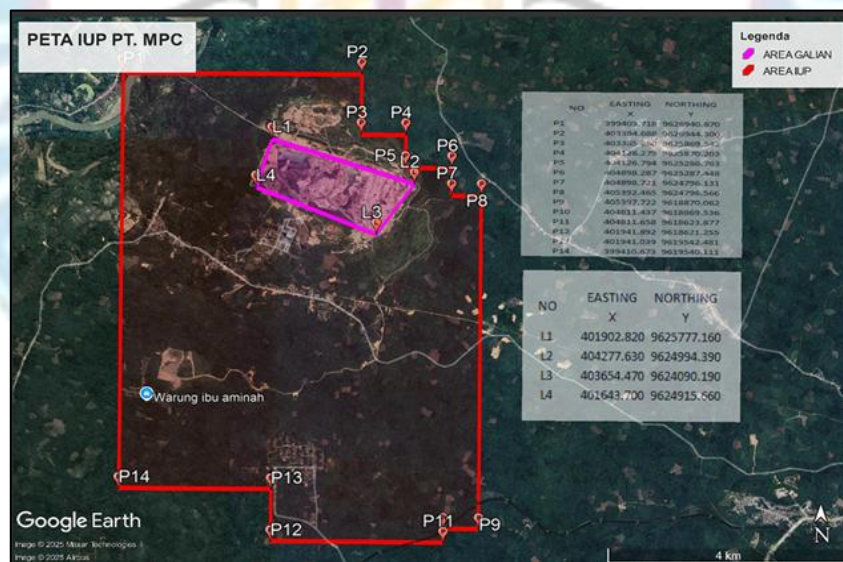
Dalam pelaksanaan kegiatan operasional, perusahaan menghadapi berbagai kondisi lapangan yang dinamis, baik yang berkaitan dengan aspek teknis penambangan maupun aspek lingkungan dan sosial. Kondisi tersebut

menjadi bagian dari proses penyesuaian perusahaan dalam menjalankan aktivitas pertambangan yang sesuai dengan ketentuan dan regulasi yang berlaku.

Hingga saat ini, PT Lematang Coal Lestari masih beroperasi sebagai perusahaan jasa kontraktor pertambangan batubara yang mendukung kegiatan produksi di beberapa lokasi kerja utama di wilayah Sumatera Selatan.

2.1.2 Izin Usaha Penambangan (IUP)

Peta Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT MPC menunjukkan batas wilayah izin pertambangan serta sebaran area kegiatan penambangan yang berada di dalam konsesi perusahaan. Peta tersebut disusun berdasarkan data citra satelit sehingga mampu memberikan gambaran kondisi aktual wilayah tambang di lapangan. Selain itu, peta IUP juga berfungsi sebagai acuan dalam pelaksanaan kegiatan eksplorasi, kegiatan penambangan, serta pengendalian batas wilayah agar seluruh aktivitas operasional tetap berada sesuai dengan ketentuan izin yang telah ditetapkan.



Sumber: PT Lematang Coal lestari, (2026)

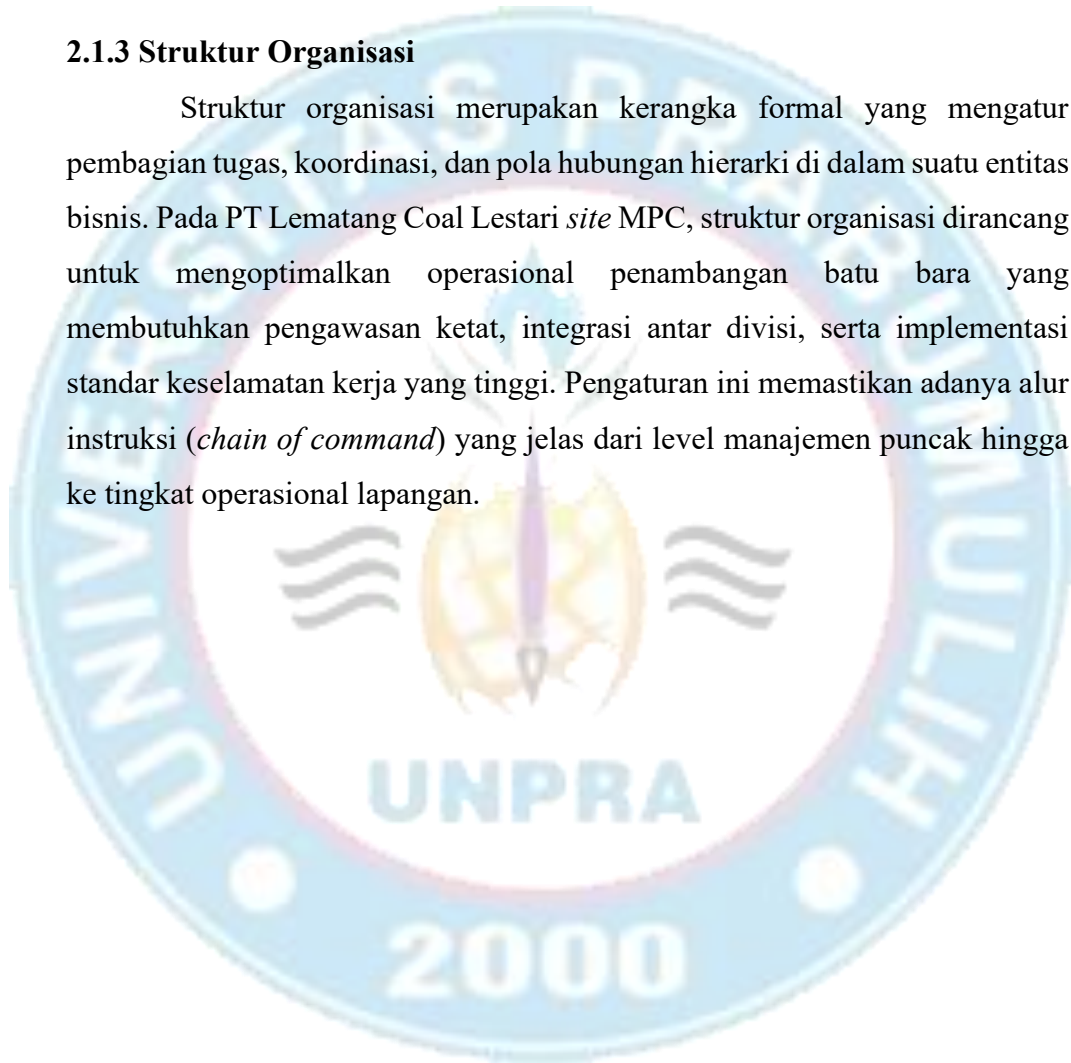
Gambar 2.1 Wilayah Izin Usaha Penambangan

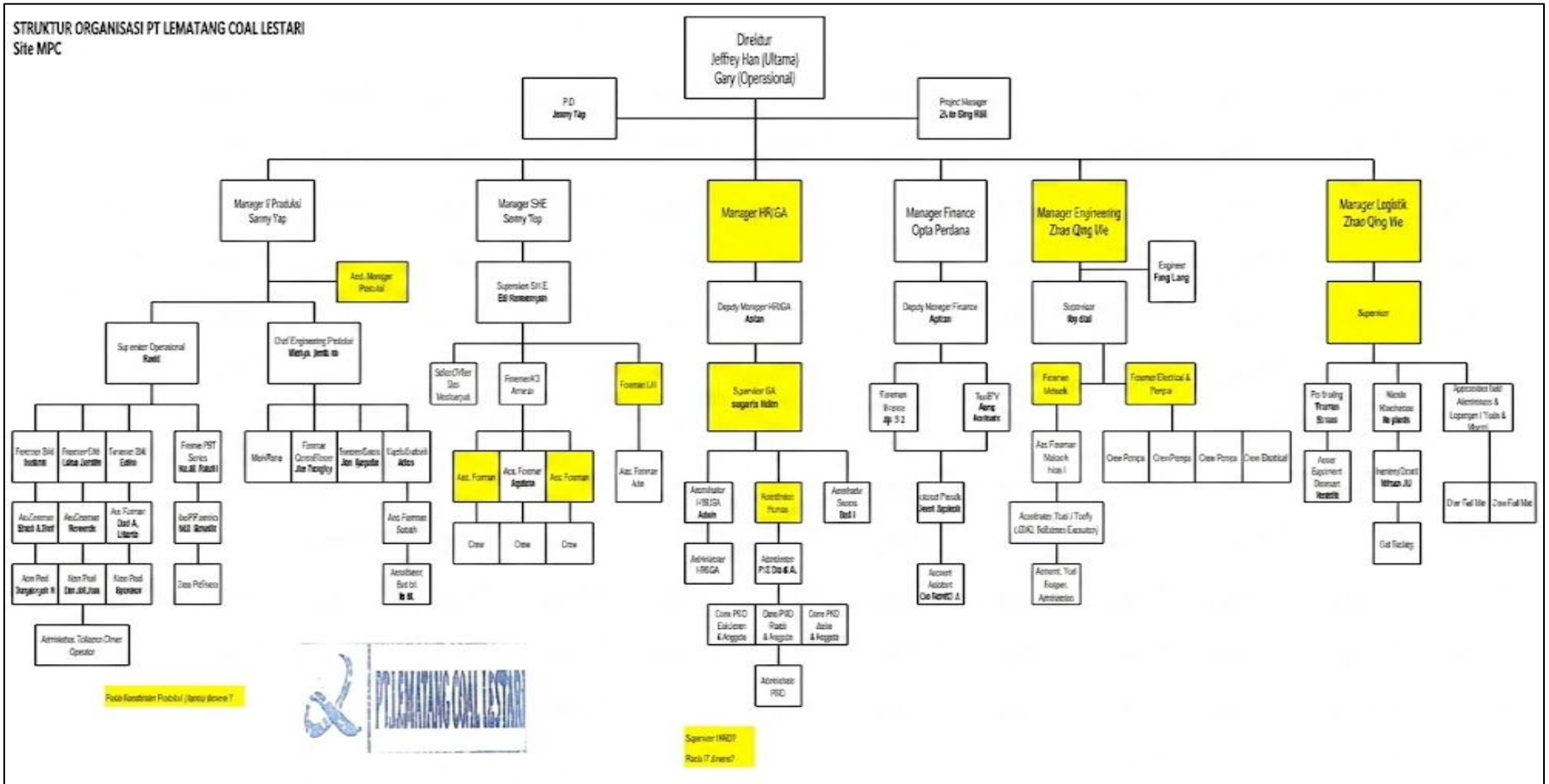
Wilayah IUP PT MPC dibatasi oleh titik-titik koordinat yang membentuk batas konsesi perusahaan. Di dalam area tersebut terdapat

beberapa lokasi penambangan aktif yang menjadi pusat kegiatan operasional tambang. Peta ini juga memperlihatkan jaringan jalan tambang serta kondisi lingkungan di sekitar area penambangan. Dengan adanya peta IUP, perusahaan dapat melakukan pengelolaan wilayah secara lebih terarah, meningkatkan pengawasan kegiatan operasional, serta menyusun perencanaan penambangan yang lebih efektif dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku (Gambar 2.1).

2.1.3 Struktur Organisasi

Struktur organisasi merupakan kerangka formal yang mengatur pembagian tugas, koordinasi, dan pola hubungan hierarki di dalam suatu entitas bisnis. Pada PT Lematang Coal Lestari *site* MPC, struktur organisasi dirancang untuk mengoptimalkan operasional penambangan batu bara yang membutuhkan pengawasan ketat, integrasi antar divisi, serta implementasi standar keselamatan kerja yang tinggi. Pengaturan ini memastikan adanya alur instruksi (*chain of command*) yang jelas dari level manajemen puncak hingga ke tingkat operasional lapangan.





Sumber: PT Lematang *Coal* lestari, (2026)

Gambar 2.2 Struktur Organisasi

Dapat dilihat bahwa PT Lematang Coal Lestari *site* MPC menerapkan struktur organisasi fungsional dengan garis komando yang tersentralisasi pada pucuk pimpinan tertinggi *site*, yaitu Direktur dan *Project Manager*. Pimpinan tertinggi membawahi langsung posisi strategis seperti P.D dan jajaran *Manager* yang memegang kendali penuh atas departemen-departemen spesifik di bawahnya. Struktur ini mencerminkan adanya pembagian wewenang tegas guna menghindari tumpang tindih fungsi kerja di area operasional pertambangan (Gambar 2.2).

2.1.4 Gambaran Umum Lokasi *Stockpile*

Peta lokasi *stockpile* menggambarkan kondisi spasial area penelitian yang menjadi fokus utama kegiatan operasional, yaitu area penimbunan material (*stockpile*). Peta ini menunjukkan hubungan antara lokasi *stockpile* dengan fasilitas pendukung, jalur angkut (*hauling road*), serta area penambangan sebagai sumber pasokan material, sehingga memberikan gambaran mengenai alur distribusi material dalam sistem operasional tambang.



Sumber: PT Lematang Coal lestari, (2026)

Gambar 2.3 Peta Lokasi *Stockpile*

Peta lokasi *stockpile* menunjukkan keterkaitan spasial antara area penimbunan material dengan fasilitas pendukung dan area penambangan. Area

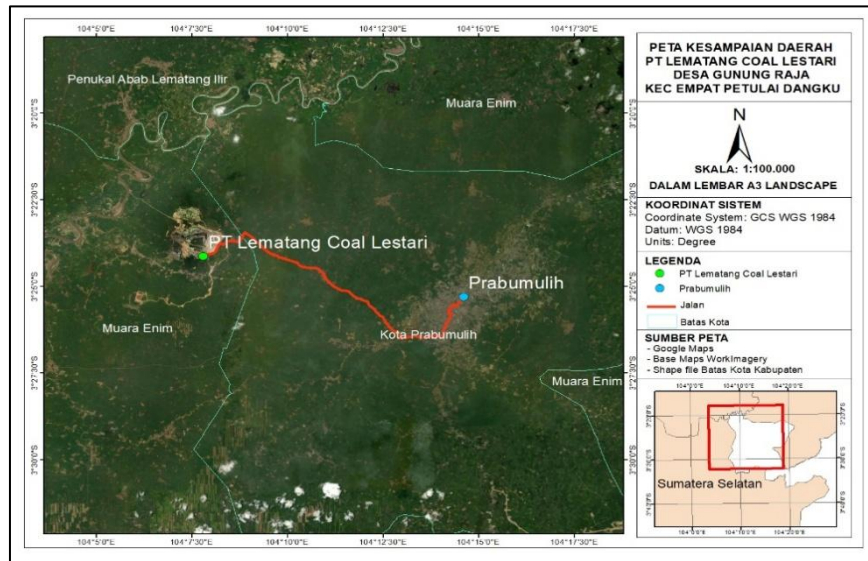
stockpile berfungsi sebagai tempat penumpukan sementara material hasil penambangan sebelum dilakukan proses pengangkutan atau pengolahan lebih lanjut. Hubungan langsung dengan jalur angkut (*hauling road*) menunjukkan bahwa lokasi tersebut dirancang untuk mendukung efisiensi alur material dari area penambangan menuju fasilitas berikutnya. Dengan demikian, penempatan *stockpile* pada lokasi tersebut memiliki peran penting dalam menjaga kelancaran operasional dan efisiensi kegiatan penanganan material di area tambang (Gambar 2.3).

2.1.5 Lokasi Dan Kesampaian Daerah

Aktivitas penelitian dilakukan di wilayah operasional PT Lematang Coal Lestari yang secara administratif terletak di Desa Gunung Raja, Kecamatan Empat Petulai Dangku, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Berdasarkan peta kesampaian daerah, lokasi penelitian berada pada Sistem koordinat geografis (GCS WGS 1984) dengan datum WGS 1984 serta satuan derajat. Secara astronomis, area konsesi berada pada posisi 3°22'30" LS hingga 3°25'00" LS serta 104°05'00" BT hingga 104°07'30" BT.

Secara administratif, lokasi tersebut berbatasan dengan Kabupaten Penukal Abab Lematang Ilir di bagian utara serta Kabupaten Muara Enim di bagian timur dan selatan, sehingga menunjukkan posisi wilayah yang strategis dalam kegiatan operasional tambang.

Akses menuju lokasi penelitian dapat ditempuh dari Kota Prabumulih melalui jalur darat utama ke arah barat daya dengan rute Jalan Lintas Gunung Kemala–Payuputat, dengan jarak tempuh sekitar 25–30 kilometer.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 2.4 Peta Kesampaian Daerah

Lokasi penelitian berada pada wilayah operasional PT Lematang Coal Lestari yang secara administratif terletak di Desa Gunung Raja, Kecamatan Empat Petulai Dangku, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Peta tersebut menunjukkan posisi geografis area konsesi pada rentang koordinat lintang selatan dan bujur timur serta keterkaitannya dengan wilayah administratif di sekitarnya. Selain itu, peta juga memperlihatkan aksesibilitas menuju lokasi penelitian dari Kota Prabumulih sebagai titik referensi utama yang terhubung melalui jaringan jalan darat menuju area operasional tambang (Gambar 2.4).

2.1.6 Iklim dan Curah Hujan

Iklim merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kondisi penyimpanan batubara di area stockpile. Salah satu unsur iklim yang memiliki pengaruh terhadap peningkatan temperatur timbunan batubara adalah curah hujan. Curah hujan dapat meningkatkan kelembapan permukaan timbunan sehingga membantu proses pendinginan alami. Sebaliknya, kondisi curah hujan yang rendah atau tidak terjadi hujan dalam waktu tertentu dapat menyebabkan permukaan timbunan menjadi lebih kering

sehingga proses oksidasi batubara berlangsung lebih intensif dan berpotensi meningkatkan temperatur timbunan.

Data curah hujan pada penelitian ini diperoleh dari hasil pencatatan PT Lematang Coal Lestari selama bulan April 2026. Data tersebut meliputi curah hujan harian, lama hujan, dan intensitas curah hujan yang digunakan sebagai data pendukung dalam menganalisis kondisi temperatur timbunan batubara pada area stockpile. Rekapitulasi data curah hujan harian disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Data Curah Hujan Harian Bulan April 2026

No	Tanggal	Curah Hujan (mm)	Jam Hujan (jam)	Intensitas CH (mm/jam)	Keterangan
1	1 April 2026	2,50	2,75	0,91	Hujan ringan
2	2 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
3	3 April 2026	2,45	0,30	8,17	Hujan singkat
4	4 April 2026	53,80	5,83	9,23	Hujan lebat
5	5 April 2026	23,60	1,66	14,22	Hujan sedang–lebat
6	6 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
7	7 April 2026	11,30	8,25	1,37	Hujan ringan berkepanjangan
8	8 April 2026	1,00	2,91	0,34	Curah hujan rendah
9	9 April 2026	9,50	8,50	1,12	Hujan ringan
10	10 April 2026	19,00	9,25	2,05	Hujan sedang
11	11 April 2026	15,50	8,83	1,76	Hujan sedang
12	12 April 2026	1,00	1,50	0,67	Curah hujan rendah
13	13 April 2026	5,50	8,83	0,62	Hujan ringan
14	14 April 2026	13,50	7,00	1,93	Hujan sedang

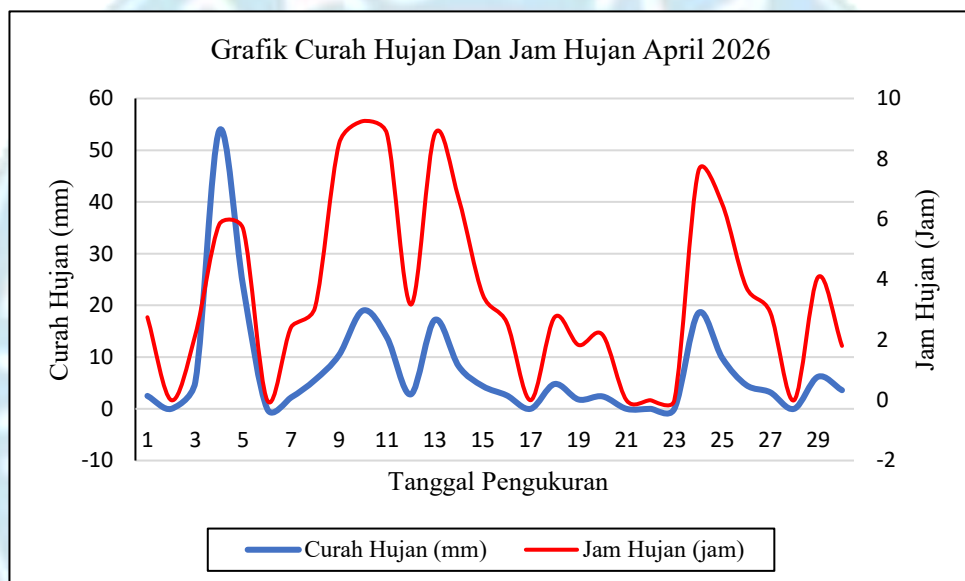
No	Tanggal	Curah Hujan (mm)	Jam Hujan (jam)	Intensitas CH (mm/jam)	Keterangan
15	15 April 2026	0,40	0,66	0,61	Gerimis
16	16 April 2026	0,10	0,41	0,24	Gerimis sangat ringan
17	17 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
18	18 April 2026	0,10	0,16	0,63	Gerimis sangat ringan
19	19 April 2026	0,10	0,16	0,63	Gerimis sangat ringan
20	20 April 2026	2,50	0,75	3,33	Hujan ringan
21	21 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
22	22 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
23	23 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
24	24 April 2026	18,50	6,50	2,85	Hujan sedang
25	25 April 2026	4,20	2,10	2,00	Hujan ringan
26	26 April 2026	6,80	3,20	2,13	Hujan ringan
27	27 April 2026	8,50	4,00	2,13	Hujan ringan
28	28 April 2026	0,00	0,00	0,00	Tidak terjadi hujan
29	29 April 2026	12,40	5,20	2,38	Hujan sedang
30	30 April 2026	3,60	1,80	2,00	Hujan ringan

Sumber: Penulis, (2026)

Berdasarkan Tabel 2.1, curah hujan selama bulan April 2026 menunjukkan pola yang berfluktuasi. Curah hujan tertinggi terjadi pada 4 April 2026 sebesar 53,80 mm dengan lama hujan 5,83 jam, sedangkan curah hujan tinggi lainnya terjadi pada 5 April 2026 sebesar 23,60 mm, 10 April 2026 sebesar 19,00 mm, dan 24 April 2026 sebesar 18,50 mm. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa selama periode tersebut area stockpile menerima suplai

air hujan yang cukup sehingga dapat meningkatkan kelembapan permukaan timbunan batubara.

Sebaliknya, curah hujan sangat rendah hingga tidak terjadi hujan tercatat pada beberapa hari pengamatan, terutama pada 8 April 2026 dengan curah hujan 1,00 mm, 16 April 2026 sebesar 0,10 mm, serta 17 April 2026, 21 April 2026, 22 April 2026, dan 23 April 2026 yang tidak mengalami hujan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa area stockpile berada pada kondisi relatif kering sehingga efek pendinginan alami terhadap timbunan batubara menjadi sangat terbatas.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 2.5 Grafik Curah Hujan Dan Jam Hujan Bulan April 2026

Berdasarkan Gambar 2.1, data curah hujan dan jam hujan selama bulan April 2026 menunjukkan pola yang berfluktuasi. Curah hujan tertinggi terjadi pada tanggal 4 April 2026 sebesar 53,80 mm, dengan lama hujan 5,83 jam. Curah hujan yang relatif tinggi juga terjadi pada tanggal 5 April 2026 sebesar 23,60 mm, 10 April 2026 sebesar 19,00 mm, dan 24 April 2026 sebesar 18,50 mm. Sementara itu, durasi hujan terpanjang tercatat pada tanggal 10 April 2026, yaitu 9,25 jam, diikuti oleh tanggal 11 April 2026 dan 13 April 2026 yang masing-masing berlangsung selama 8,83 jam, serta tanggal 9 April 2026 selama 8,50 jam. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya curah hujan tidak selalu

diikuti oleh durasi hujan yang paling lama, karena setiap kejadian hujan memiliki intensitas yang berbeda.

Grafik juga menunjukkan beberapa hari tanpa hujan, yaitu pada tanggal 2, 6, 17, 21, 22, 23, dan 28 April 2026, sehingga nilai curah hujan dan jam hujan sama dengan 0,00. Kondisi tersebut menyebabkan kelembapan permukaan timbunan batubara menurun sehingga proses oksidasi lebih mudah terjadi dan berpotensi meningkatkan temperatur timbunan. Sebaliknya, pada hari-hari dengan curah hujan dan durasi hujan yang relatif tinggi, kelembapan permukaan timbunan meningkat sehingga membantu proses pendinginan alami pada timbunan batubara.

Berdasarkan hasil pengamatan temperatur *stockpile*, setelah terjadi hujan pada 24 April 2026, temperatur timbunan mengalami penurunan. Sebaliknya, pada periode tanpa hujan, seperti 17 April 2026 dan 23 April 2026, temperatur timbunan meningkat hingga mencapai fase swabakar. Oleh karena itu, curah hujan dan jam hujan merupakan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap perubahan temperatur pada area *stockpile*. Namun demikian, peningkatan temperatur timbunan batubara juga dipengaruhi oleh faktor lain, seperti lama penyimpanan, ukuran butir batubara, kandungan air, dan sirkulasi udara di dalam timbunan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Terjadinya api pada kondisi *Swabakar*

2.2.1.1 Konsep Dasar Batubara dan *Swabakar*

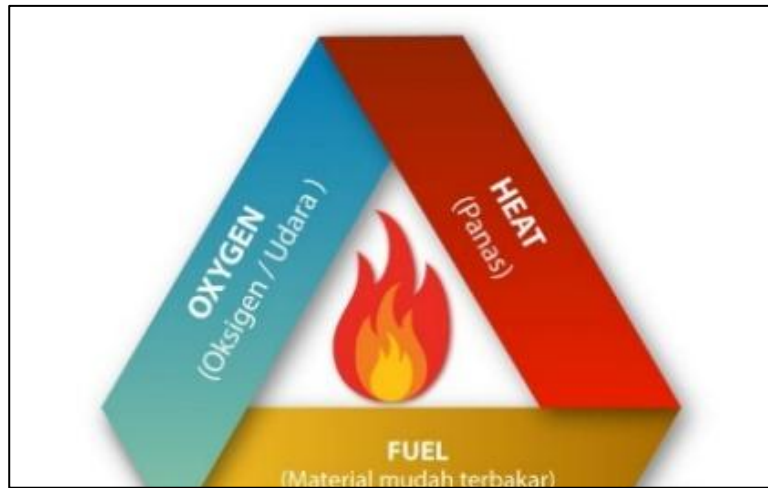
Batubara merupakan sumber energi fosil yang hingga saat ini masih memegang peranan penting dalam menunjang kebutuhan energi nasional, khususnya pada sektor industri dan ketenagalistrikan. Dalam kegiatan pertambangan, batubara yang telah ditambang tidak langsung didistribusikan kepada konsumen, melainkan terlebih dahulu ditimbun pada area *stockpile*. Keberadaan *stockpile* berfungsi sebagai fasilitas penyangga yang menjamin kontinuitas pasokan antara kegiatan produksi di lapangan dengan proses pengangkutan dan distribusi. Namun demikian, aktivitas penimbunan batubara pada *stockpile* tidak terlepas

dari berbagai risiko teknis yang berpotensi menimbulkan kerugian operasional, salah satunya adalah terjadinya *swabakar* atau pembakaran spontan batubara Nursanto *et al.*, (2024).

Menurut Yusuf, (2024) *swabakar* merupakan fenomena terbakarnya batubara secara alami tanpa adanya pemicu dari sumber api eksternal. menjelaskan bahwa *swabakar* terjadi akibat reaksi oksidasi eksotermik antara batubara dan oksigen di udara yang berlangsung secara perlahan pada suhu rendah. Reaksi oksidasi tersebut menghasilkan panas dalam jumlah kecil namun berlangsung terus-menerus. Apabila panas yang dihasilkan tidak dapat dilepaskan ke lingkungan sekitar secara seimbang, maka panas akan terakumulasi di dalam tumpukan batubara. Akumulasi panas inilah yang menyebabkan kenaikan suhu internal secara bertahap hingga memicu proses *self-heating* dan berpotensi berkembang menjadi kebakaran. *Swabakar* umumnya terjadi di bagian dalam tumpukan batubara yang sulit dijangkau dan diamati secara langsung. Hal ini menyebabkan *swabakar* sering kali tidak terdeteksi pada tahap awal dan baru diketahui ketika telah muncul gejala lanjutan seperti peningkatan suhu permukaan, asap, atau bau terbakar. Kondisi tersebut menjadikan *swabakar* sebagai risiko laten yang memerlukan pengelolaan dan pengendalian yang sistematis, mengingat dampaknya tidak hanya menurunkan kualitas batubara tetapi juga dapat mengganggu keselamatan kerja serta kelangsungan operasional perusahaan.

2.2.1.2 Konsep Segitiga Api pada *Swabakar*

Fenomena *swabakar* pada batubara dapat dijelaskan menggunakan konsep segitiga api (*fire triangle*), yang menyatakan bahwa suatu proses pembakaran hanya dapat terjadi apabila terdapat tiga unsur utama, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas (Nursanto *et al.*, 2024).



Sumber: Aito General Fire Hazard, 2025

Gambar 2.6 Segitiga Api

Menurut Yusuf (2023). dalam konteks *swabakar*, batubara berperan sebagai bahan bakar, oksigen berasal dari udara yang masuk melalui pori-pori dan rongga timbunan, sedangkan panas dihasilkan dari reaksi oksidasi suhu rendah yang berlangsung secara bertahap. Apabila ketiga unsur ini terpenuhi secara bersamaan dan tidak dikendalikan, maka *swabakar* berpotensi terjadi di dalam tumpukan batubara. Meskipun *swabakar* berbeda dengan kebakaran konvensional yang dipicu oleh sumber api eksternal, ketiga unsur segitiga api tetap terpenuhi secara alami pada area *stockpile*. Oleh karena itu, konsep segitiga api relevan digunakan sebagai dasar teoritis untuk memahami mekanisme terjadinya *swabakar* serta sebagai acuan dalam merancang strategi pencegahan dan pengendalian (Gambar 2.5).

2.2.2 pencegahan serta penanggulangan *Swabakar* pada *Stockpile*

2.2.2.1 Faktor-faktor Pemicu *Swabakar* di *Stockpile*

Terjadinya *swabakar* pada *stockpile* batubara tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi berbagai faktor internal dan eksternal yang saling berkaitan. Faktor internal berkaitan dengan sifat fisik dan kimia batubara itu sendiri, sedangkan faktor eksternal berkaitan dengan desain, metode, dan manajemen penimbunan pada area *stockpile* Thabari *et al.*, (2022).

Menurut Yusuf (2024) dari sisi faktor internal, ukuran butir batubara merupakan salah satu parameter yang berpengaruh signifikan

terhadap laju oksidasi. Batubara dengan ukuran butir yang lebih kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar, sehingga memungkinkan kontak yang lebih intensif antara batubara dan oksigen di udara. Kondisi ini mempercepat terjadinya reaksi oksidasi dan meningkatkan laju pembentukan panas.

Selain itu, lama waktu penyimpanan batubara di *stockpile* juga berperan penting, karena semakin lama batubara tertimbun, semakin besar peluang terjadinya akumulasi panas akibat proses oksidasi yang berlangsung secara terus-menerus.

Dari sisi faktor eksternal, desain dan geometri timbunan sangat memengaruhi kemampuan pelepasan panas dari dalam tumpukan batubara. menjelaskan bahwa timbunan dengan tinggi berlebih dan sudut yang tidak terkontrol dapat menghambat aliran panas ke permukaan, sehingga menciptakan zona panas di bagian tengah tumpukan. Selain itu, pemadatan timbunan yang kurang optimal akan membentuk rongga udara yang memungkinkan oksigen masuk ke dalam tumpukan dalam jumlah besar. Rongga udara ini berperan sebagai jalur sirkulasi oksigen yang mempercepat reaksi oksidasi dan meningkatkan risiko terjadinya *swabakar*, Thabari *et al.* (2022).

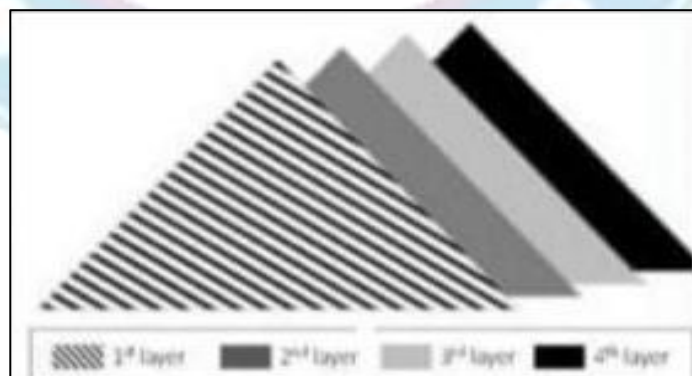
2.2.2.2 Strategi Pencegahan dan Penanggulangan *Swabakar*

Menurut Nursanto *et al.*, (2024), strategi pencegahan dan penanggulangan *swabakar* pada *stockpile* batubara pada dasarnya diarahkan untuk mengendalikan unsur-unsur utama dalam segitiga api, khususnya oksigen dan panas. Upaya pencegahan dilakukan sejak tahap perencanaan dan pengelolaan *stockpile* dengan tujuan meminimalkan kemungkinan terjadinya akumulasi panas dan membatasi suplai oksigen ke dalam tumpukan batubara. Salah satu aspek penting dalam pencegahan *swabakar* adalah pemilihan metode penimbunan batubara yang tepat. Metode penimbunan seperti *Cone ply*, *chevron*, *chevcon*, dan *windrow* memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal distribusi material dan sirkulasi udara. Berdasarkan pembahasan dalam prosiding

7517-28463-1-PB, metode *windrow* dinilai lebih efektif dalam menekan risiko *swabakar* karena memungkinkan penimbunan dilakukan secara berlapis dan mempermudah proses pemadatan. Pemadatan yang baik akan mengurangi terbentuknya rongga udara, sehingga suplai oksigen ke bagian dalam tumpukan dapat ditekan dan laju oksidasi dapat dikendalikan.

1. Metode *Cone ply*

Metode *Cone ply* merupakan metode penimbunan batubara yang dilakukan dengan menumpahkan material dari satu titik tetap sehingga membentuk tumpukan menyerupai kerucut. Metode ini relatif mudah diterapkan dan umum digunakan pada area *stockpile* dengan fasilitas terbatas. Namun, metode *Cone ply* memiliki kelemahan utama berupa terjadinya segregasi ukuran butir, di mana partikel berukuran besar cenderung berada di bagian luar tumpukan, sedangkan partikel halus terkonsentrasi di bagian tengah. Kondisi tersebut dapat membentuk rongga udara di dalam tumpukan yang memudahkan masuknya oksigen dan meningkatkan laju oksidasi batubara, sehingga berpotensi memicu terjadinya *swabakar*. Dari sisi keefektifan, metode *Cone ply* dinilai kurang efektif dalam pencegahan *swabakar*, terutama untuk penimbunan jangka panjang, karena tingginya porositas dan suplai oksigen ke dalam timbunan yang sulit dikendalikan.

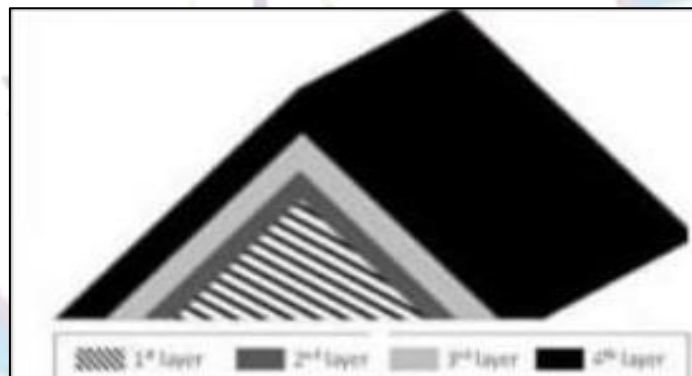


Sumber: Aito General Fire Hazard, 2025

Gambar 2.7 Metode Timbunan *Cone ply*

2. Metode *Chevron*

Metode *chevron* dilakukan dengan menumpahkan batubara secara memanjang sepanjang area *stockpile* sehingga membentuk pola huruf "V" berlapis. Metode ini dikembangkan untuk meningkatkan pemerataan distribusi material dan mengurangi segregasi ukuran butir dibandingkan metode *Cone ply*. Dengan distribusi yang lebih merata, aliran udara ke dalam tumpukan dapat ditekan. Meskipun demikian, metode *chevron* tetap memerlukan pengendalian pemadatan yang baik, karena pemadatan yang kurang optimal dapat menyebabkan terbentuknya rongga udara yang berpotensi meningkatkan risiko *swabakar*. Secara keefektifan, metode *chevron* tergolong cukup efektif dibandingkan *Cone ply*, namun keberhasilannya sangat bergantung pada konsistensi pemadatan dan pengelolaan tinggi timbunan (Gambar 2.6).



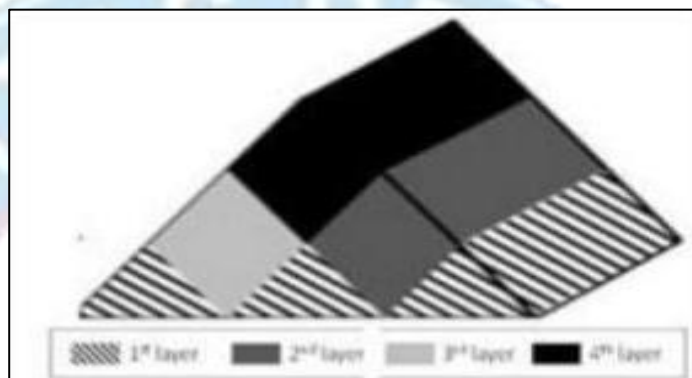
Sumber: Aito General Fire Hazard, 2025

Gambar 2.8 Timbunan Metode *Chevron*

3. Metode *Chevron–Cone*

Metode *chevron–cone* merupakan kombinasi dari metode *Cone ply* dan *chevron* yang digunakan dalam praktik penimbunan batubara untuk menyeimbangkan kemudahan operasional dan pemerataan material. Pada metode ini, batubara ditumpuk dengan pola menyebar seperti *chevron*, namun tetap membentuk elevasi menyerupai kerucut. Kombinasi ini bertujuan mengurangi segregasi yang berlebihan, namun apabila tidak disertai dengan pengendalian tinggi timbunan

dan pemadatan yang optimal, metode ini masih berpotensi membentuk rongga udara di dalam tumpukan. Oleh karena itu, metode *chevron-cone* memerlukan manajemen *stockpile* yang lebih ketat untuk mencegah terjadinya *swabakar*. Dari segi keefektifan, metode *chevron-cone* berada pada tingkat menengah hingga rendah, karena masih menyimpan potensi akumulasi panas apabila pengendalian operasional tidak dilakukan secara optimal (Gambar 2.7).



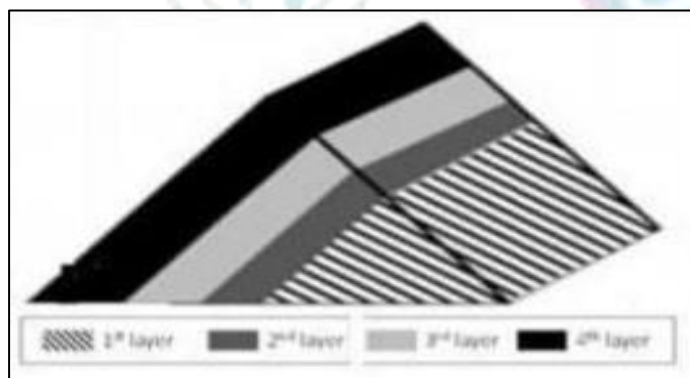
Sumber: Ndiba *et al.*, 2021

Gambar 2.9 Timbunan Metode *Chevron-Cone*

4. Metode *Windrow*

Metode *windrow* atau penimbunan berlapis dilakukan dengan menyusun batubara dalam lapisan-lapisan memanjang, di mana setiap lapisan dipadatkan sebelum lapisan berikutnya ditambahkan. Metode ini dinilai paling efektif dalam pencegahan *swabakar* karena mampu mengurangi porositas tumpukan, menekan suplai oksigen, serta membatasi akumulasi panas di dalam *stockpile*. Selain itu, metode *windrow* memudahkan pengendalian tinggi timbunan dan penerapan sistem rotasi batubara, sehingga waktu penyimpanan dapat dikontrol dengan lebih baik. Oleh karena itu, metode ini sering direkomendasikan sebagai metode penimbunan yang paling aman terhadap risiko *swabakar*. Berdasarkan tingkat keefektifannya, metode *windrow* merupakan metode paling efektif dalam mencegah *swabakar* karena memungkinkan pengendalian oksidasi batubara secara bertahap dan terkontrol.

Secara keseluruhan, pemilihan metode penimbunan batubara pada area *stockpile* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat risiko terjadinya *swabakar*. Setiap metode penimbunan memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal distribusi material, tingkat segregasi, porositas tumpukan, serta suplai oksigen ke dalam timbunan. Metode *Cone ply* dan *chevron cone* relatif lebih mudah diterapkan, namun memiliki potensi pembentukan rongga udara yang lebih besar apabila tidak disertai dengan pengendalian tinggi timbunan dan pemadatan yang optimal. Metode *chevron* menawarkan distribusi material yang lebih merata dibandingkan *Cone ply*, tetapi tetap memerlukan manajemen *stockpile* yang baik untuk menekan risiko oksidasi berlebih (Gambar 2.8).



Sumber: Ndiba *et al.*, 2021

Gambar 2.10 Timbunan Metode *Windrow*

Di antara berbagai metode tersebut, metode *windrow* dinilai paling efektif dalam upaya pencegahan *swabakar* karena memungkinkan pemadatan dilakukan secara bertahap pada setiap lapisan timbunan. Pemadatan berlapis ini mampu mengurangi porositas, membatasi masuknya oksigen, serta mencegah akumulasi panas di dalam tumpukan batubara. Selain itu, metode *windrow* mempermudah penerapan sistem rotasi batubara dan pengendalian waktu penyimpanan, sehingga potensi terjadinya reaksi oksidasi berkelanjutan dapat diminimalkan. Dengan demikian, metode

penimbunan batubara tidak dapat dipilih hanya berdasarkan kemudahan operasional, tetapi harus mempertimbangkan aspek keselamatan dan risiko *swabakar* (Gambar 2.9).

Pemahaman terhadap karakteristik masing-masing metode penimbunan menjadi landasan penting dalam merancang strategi pencegahan dan penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile*. Oleh karena itu, kajian terhadap penerapan metode penimbunan di lapangan perlu dilakukan untuk menilai kesesuaiannya dengan prinsip pengendalian *swabakar* yang efektif Yusuf (2024).

2.2.2.3 Metode Penanganan *Swabakar* Selain Pengelolaan *Stockpile*

Selain strategi pencegahan melalui pengaturan metode penimbunan, penanganan *swabakar* yang telah terjadi dapat dilakukan dengan beberapa metode tambahan. Salah satu metode yang dinilai efektif adalah metode injeksi kimia, yaitu penyuntikan larutan kimia tertentu ke dalam titik panas batubara untuk menurunkan suhu dan menghambat reaksi oksidasi. Metode ini memungkinkan bahan kimia menjangkau bagian dalam tumpukan yang sulit diakses oleh metode konvensional.

Metode injeksi kimia lebih efektif dibandingkan metode konvensional seperti pembongkaran dan pemadatan ulang, karena mampu menurunkan suhu secara lebih cepat dan mencegah terjadinya *swabakar* ulang. Metode konvensional umumnya hanya bersifat sementara dan kurang efektif apabila tidak disertai dengan perbaikan manajemen *stockpile* secara menyeluruh. Oleh karena itu, kombinasi antara pengelolaan *stockpile* yang baik, *monitoring* suhu yang berkelanjutan, serta penerapan metode penanganan yang tepat menjadi kunci utama dalam pengendalian risiko *swabakar* batubara Andrawina (2025).

2.2.3 Pengujian dan Data Temperatur

2.2.3.1 Mekanisme *Self-Heating* dan Tahapan *Swabakar* Batubara

Proses *swabakar* pada batubara diawali oleh fenomena *self-heating*, yaitu kenaikan suhu internal batubara akibat reaksi oksidasi eksotermik yang berlangsung secara perlahan pada suhu rendah. Reaksi ini terjadi ketika batubara bersentuhan dengan oksigen di udara, terutama pada kondisi porositas tinggi dan pelepasan panas yang tidak seimbang. Panas hasil reaksi oksidasi tersebut pada awalnya relatif kecil, namun apabila tidak terdisipasi ke lingkungan sekitar, maka panas akan terakumulasi di dalam timbunan dan menyebabkan kenaikan suhu secara bertahap.

Mekanisme *swabakar* terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari tahap pemanasan awal (*initial oxidation*), dilanjutkan dengan tahap *self-heating*, pembentukan titik panas (*hot spot*), hingga akhirnya mencapai tahap penyalan (*ignition*). Pada tahap awal, suhu batubara meningkat dari suhu lingkungan hingga kisaran 40–70°C akibat oksidasi ringan. Pada rentang suhu ini, laju reaksi masih relatif lambat namun bersifat kontinu. Apabila suplai oksigen tetap tersedia dan panas tidak dapat dilepaskan, suhu akan terus meningkat hingga mencapai lebih dari 100°C, di mana gas-gas hasil oksidasi mulai terbentuk dan proses menjadi semakin tidak terkendali.

Tahap kritis terjadi ketika suhu internal batubara melampaui titik nyala (*glow point*), yang berbeda-beda tergantung pada peringkat batubara. Batubara berperingkat rendah seperti lignit dan sub-bituminus cenderung memiliki titik nyala lebih rendah dan waktu pemanasan lebih singkat dibandingkan batubara berperingkat tinggi. Pada kondisi ini, reaksi oksidasi berkembang menjadi pembakaran terbuka dan menimbulkan *swabakar* yang sulit dikendalikan Widodo *et al.*, (2020).

2.2.3.2 Indikator Awal dan Parameter *Monitoring Swabakar*

Menurut Yolanda *et al.*, (2024) Deteksi dini *swabakar* merupakan langkah penting dalam pengelolaan *stockpile* batubara, mengingat fenomena ini umumnya terjadi di bagian dalam tumpukan dan sulit diamati secara visual pada tahap awal. Salah satu indikator utama terjadinya *swabakar* adalah kenaikan temperatur batubara secara bertahap dan konsisten. Peningkatan suhu yang melebihi suhu lingkungan dan menunjukkan tren naik dalam periode tertentu dapat menjadi indikasi awal terjadinya *self-heating*. Menunjukkan bahwa kenaikan temperatur batubara yang signifikan pada titik tertentu dalam timbunan, khususnya pada ketinggian menengah dan area yang terpapar arah angin dominan, berpotensi menjadi lokasi awal *swabakar*. Selain temperatur, parameter lain yang dapat digunakan sebagai indikator awal antara lain lama penimbunan, ukuran butir batubara, kadar kelembapan (*total moisture*), serta kondisi ventilasi dan kecepatan angin di area *stockpile*.

Monitoring suhu secara berkala menggunakan alat ukur temperatur manual maupun sensor termokopel menjadi metode yang efektif untuk mendeteksi anomali suhu sejak dini. Dengan pemantauan yang terencana, potensi *swabakar* dapat diidentifikasi sebelum berkembang menjadi kebakaran terbuka yang menimbulkan kerugian lebih besar.

2.2.3.3 Metode Pengujian Potensi *Swabakar* Batubara

Selain pengamatan lapangan, potensi *swabakar* batubara juga dapat dianalisis melalui metode pengujian laboratorium. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Metode Oksidasi Adiabatik, yang bertujuan untuk mensimulasikan kondisi oksidasi batubara pada lingkungan mendekati adiabatik, seperti yang terjadi pada bagian dalam timbunan *stockpile*. Metode ini mengukur laju kenaikan suhu batubara pada rentang suhu tertentu, umumnya antara 40–70°C, yang kemudian dinyatakan dalam indeks kecenderungan *swabakar* atau *R70 index*.

Menurut Widodo *et al.* (2020) menjelaskan bahwa nilai *R70* yang tinggi menunjukkan kecenderungan batubara yang semakin besar untuk mengalami pembakaran spontan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *R70* antara lain ukuran butir, tingkat pemadatan, dan suplai oksigen. Batubara dengan ukuran butir lebih halus dan tanpa pemadatan menunjukkan nilai *R70* yang lebih tinggi, sehingga lebih rentan terhadap *swabakar*. Metode ini banyak digunakan sebagai acuan dalam evaluasi risiko *swabakar* pada kegiatan penyimpanan dan penanganan batubara.

2.2.3.4 Temperatur Batubara sebagai Parameter *Swabakar*

Temperatur batubara merupakan parameter utama dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi terjadinya *swabakar* pada area *stockpile*. Kenaikan temperatur batubara terjadi sebagai akibat langsung dari reaksi oksidasi eksotermik antara batubara dan oksigen di udara. Pada tahap awal, peningkatan suhu berlangsung lambat dan sering kali tidak terdeteksi secara visual, sehingga pengukuran temperatur menjadi indikator paling efektif dalam mendeteksi *self-heating* sejak dini.

Menurut Yolanda *et al.*, (2024), batubara yang disimpan dalam jangka waktu tertentu cenderung mengalami kenaikan temperatur internal, terutama pada bagian tengah timbunan yang memiliki pelepasan panas terbatas. Temperatur awal batubara umumnya berada pada kisaran suhu lingkungan, yaitu sekitar 30–40°C. Namun, apabila terjadi proses oksidasi berkelanjutan, suhu dapat meningkat hingga melebihi 50°C dan menandakan dimulainya proses *self-heating*.

Monitoring temperatur batubara secara rutin pada beberapa titik dan kedalaman timbunan sangat penting untuk mengetahui pola distribusi panas di dalam *stockpile*. Peningkatan suhu yang bersifat progresif dan konsisten, khususnya di atas 50°C, menunjukkan adanya akumulasi panas yang berpotensi berkembang menjadi *swabakar* apabila tidak segera dilakukan tindakan pengendalian.

2.2.3.5 Data Temperatur Transisi *Swabakar* Batubara

Menurut Yolanda *et al.* (2024), Proses *swabakar* batubara berlangsung melalui beberapa tahapan temperatur yang dikenal sebagai temperatur transisi. Setiap tahapan menunjukkan tingkat keparahan reaksi oksidasi yang berbeda dan memiliki karakteristik fisik tertentu. Tahapan temperatur *swabakar* batubara dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Tahap Pemanasan Awal ($\leq 40^{\circ}\text{C}$)

Pada tahap ini, batubara masih berada pada kondisi stabil dan temperatur relatif sama dengan suhu lingkungan. Reaksi oksidasi masih sangat lambat dan belum menimbulkan risiko *swabakar*.

2. Tahap Self-Heating Awal ($40\text{--}70^{\circ}\text{C}$)

Pada rentang temperatur ini, laju oksidasi mulai meningkat dan menghasilkan panas secara perlahan. Meskipun belum terlihat gejala fisik, tahap ini merupakan fase kritis karena menjadi awal akumulasi panas di dalam timbunan. Nilai laju kenaikan suhu pada tahap ini sering digunakan sebagai dasar penentuan indeks kecenderungan *swabakar* ($R70$).

3. Tahap Pemanasan Lanjut ($70\text{--}100^{\circ}\text{C}$)

Pada tahap ini, reaksi oksidasi semakin intensif dan suhu meningkat lebih cepat. Batubara mulai mengeluarkan uap air dan gas hasil reaksi oksidasi seperti CO_2 . Apabila tidak dilakukan pendinginan atau pengendalian oksigen, suhu akan terus meningkat menuju kondisi tidak stabil.

4. Tahap Kritis ($100\text{--}200^{\circ}\text{C}$)

Tahap ini ditandai dengan munculnya asap putih dan perubahan warna batubara menjadi keabu-abuan. Menurut Yolanda *et al.* (2024), pada temperatur di atas 100°C , proses oksidasi telah mencapai tingkat lanjut dan potensi *swabakar* meningkat secara signifikan.

5. Tahap *Swabakar* ($\geq 200^{\circ}\text{C}$)

Pada tahap ini, batubara telah mencapai kondisi pembakaran spontan. Terbentuk bara api berwarna merah dan suhu dapat meningkat hingga

melebihi 400°C, tergantung pada peringkat batubara. Penelitian lapangan menunjukkan bahwa pada kasus tertentu, suhu *swabakar* dapat mencapai lebih dari 500°C, yang menandakan terjadinya pembakaran terbuka dan kerusakan kualitas batubara secara permanen. Perbedaan temperatur transisi ini menunjukkan bahwa *swabakar* bukanlah peristiwa yang terjadi secara tiba-tiba, melainkan merupakan hasil akumulasi panas yang berlangsung secara bertahap. Oleh karena itu, pemahaman terhadap batas-batas temperatur transisi *swabakar* sangat penting sebagai dasar dalam perancangan sistem *monitoring*, pencegahan, dan penanganan *swabakar* pada area *stockpile* batubara.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alokasi Waktu Kegiatan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan selama 1 bulan, dimulai pada bulan April sampai dengan Mei 2026. Kegiatan penelitian meliputi studi literatur, observasi lapangan, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, konsultasi dan bimbingan, hingga penyusunan laporan tugas akhir. Jadwal rencana kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan ke-, ,minggu ke-,							
		April, 2026				Mei, 2026			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Observasi awal								
2.	Pengambilan data								
3.	Pengolahan data								
4.	Analisis data								
5.	Penyusunan laporan tugas akhir								
6.	Penyusunan laporan tugas akhir								

Sumber: Penulis (2026)

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan urutan kegiatan yang dilakukan selama proses penelitian berlangsung mulai dari tahap persiapan hingga penyusunan laporan tugas akhir. Tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut.

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan berbagai referensi yang berkaitan dengan penelitian, baik berupa jurnal ilmiah, buku, laporan perusahaan, standar operasional prosedur (*Standard Operating Procedure/SOP*), maupun penelitian terdahulu yang berhubungan dengan

swabakar batubara dan penanggulangannya pada area *stockpile*.

Studi literatur bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan konsep yang digunakan sebagai acuan dalam pengolahan dan analisis data penelitian.

2. Observasi lapangan

Observasi lapangan dilakukan dengan cara melakukan kunjungan dan pengamatan langsung pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi aktual di lapangan terkait potensi terjadinya *swabakar* serta upaya penanggulangan yang diterapkan oleh perusahaan.

Melalui observasi lapangan, peneliti memperoleh gambaran mengenai kondisi timbunan batubara, pola penimbunan, sistem pembongkaran, kondisi temperatur batubara, serta metode pengendalian *swabakar* yang diterapkan pada area *stockpile*. Selain itu, observasi lapangan juga dilakukan untuk memperoleh data primer dan data sekunder yang mendukung penelitian.

3. Pengambilan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

a. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari lokasi penelitian melalui kegiatan observasi, pengukuran lapangan, dan wawancara dengan pihak perusahaan. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Temperatur transisi *swabakar* pada timbunan batubara.
2. Data temperatur *swabakar* pada area *stockpile*.
3. Pola penimbunan dan pembongkaran batubara pada *stockpile*.
4. Dimensi timbunan batubara meliputi panjang, lebar, dan tinggi timbunan.
5. Kondisi aktual penanggulangan *swabakar* di lapangan.
6. Sistem pemantauan temperatur pada area *stockpile*.

b. Data sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh dari dokumen perusahaan dan sumber literatur lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

Data sekunder yang digunakan meliputi:

1. Data lokasi *stockpile*.
2. Data karakteristik batubara.
3. Data dimensi *stockpile*.
4. Data curah hujan.
5. *SOP* penanggulangan *swabakar* yang digunakan perusahaan.
6. Data historis kejadian *swabakar* apabila tersedia.
7. Peta lokasi penelitian dan *layout* area *stockpile*.

3.3 Teknik Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh dari hasil pengamatan lapangan kemudian dilakukan pengolahan data untuk memperoleh informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pengolahan data dilakukan secara bertahap dengan mengelompokkan data berdasarkan jenis dan kebutuhan analisis.

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini meliputi:

1. Mengelompokkan data temperatur batubara berdasarkan titik pengamatan pada area *stockpile*.
2. Mengolah data hasil pengukuran temperatur untuk mengetahui kondisi temperatur yang berpotensi menyebabkan terjadinya *swabakar*.
3. Mengidentifikasi pola penimbunan dan pembongkaran batubara yang diterapkan pada area *stockpile*.
4. Mengolah data dimensi timbunan batubara yang meliputi panjang, lebar, dan tinggi timbunan untuk mengetahui kondisi geometri timbunan pada area penelitian.
5. Membandingkan data temperatur aktual di lapangan dengan standar temperatur aman penyimpanan batubara berdasarkan *SOP* perusahaan dan referensi literatur.

6. Mengelompokkan bentuk upaya penanggulangan *swabakar* yang diterapkan perusahaan, seperti:
 - a) pemadatan timbunan,
 - b) pengaturan pola penimbunan,
 - c) pembatasan tinggi timbunan,
 - d) pemantauan temperatur,
 - e) penyiraman,
 - f) pembongkaran area yang mengalami peningkatan temperatur.
7. Menyajikan hasil pengolahan data dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian pembahasan sehingga mempermudah proses analisis data penelitian.

3.4 Teknik Analisis Data

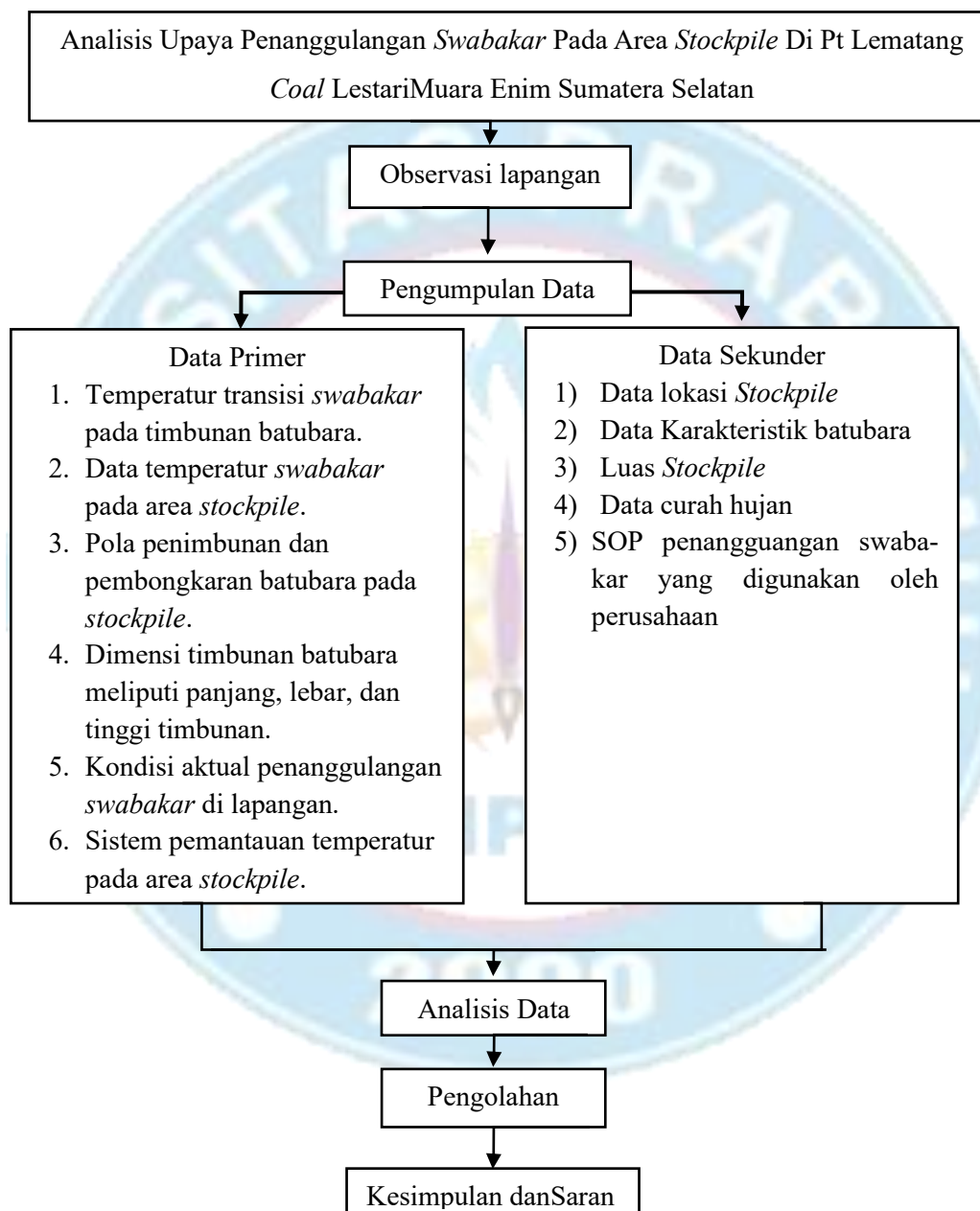
Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengamatan dan pengolahan data di lapangan terhadap SOP penanggulangan *swabakar* yang diterapkan oleh PT Lematang Coal Lestari serta teori dan referensi yang berkaitan dengan pengendalian *swabakar* batubara.

Analisis data pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menganalisis kondisi temperatur batubara pada area *stockpile* untuk mengetahui potensi terjadinya *swabakar*.
2. Menganalisis pengaruh pola penimbunan dan dimensi timbunan terhadap peningkatan temperatur batubara pada area *stockpile*.
3. Menganalisis kesesuaian upaya penanggulangan *swabakar* yang diterapkan perusahaan dengan SOP perusahaan.
4. Membandingkan kondisi aktual di lapangan dengan teori penanggulangan *swabakar* berdasarkan referensi dan penelitian terdahulu.
5. Mengevaluasi efektivitas upaya penanggulangan *swabakar* yang diterapkan perusahaan berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan data temperatur batubara.
6. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan sehingga dapat menjawab tujuan penelitian.

3.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian dibuat untuk menggambarkan tahapan penelitian secara sistematis mulai dari tahap persiapan hingga penarikan kesimpulan. Bagan alir penelitian disusun berdasarkan urutan kegiatan penelitian yang dilakukan selama pelaksanaan tugas akhir.



sumber: Penulis, 2026

Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Faktor-Faktor Utama Penyebab Terjadinya *Swabakar* pada Area *Stockpile* PT Lematang Coal Lestari

4.1.1 Dimensi Timbunan Batubara

Dimensi timbunan batubara menjadi salah satu aspek yang diidentifikasi dalam penelitian ini karena berkaitan dengan kondisi fisik timbunan pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Pengukuran dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengetahui ukuran timbunan yang digunakan sebagai lokasi penyimpanan batubara selama penelitian. Parameter yang diukur meliputi panjang, lebar, tinggi timbunan, sudut *slope*, luas area, dan kapasitas *stockpile*. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.1.

Lebar timbunan diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan luas dan panjang timbunan yang diukur di lapangan, sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Lebar Timbunan Bawah} &= \frac{\text{Luas Timbunan bawah (m}^2\text{)}}{\text{Panjang Timbunan Bawah (m)}} \\ &= \frac{6164\text{m}^2}{134\text{ m}} \\ &= 46\text{m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar Timbunan Atas} &= \frac{\text{Luas Timbunan Atas (m}^2\text{)}}{\text{Panjang Timbunan Atas (m)}} \\ &= \frac{6164\text{m}^2}{134\text{ m}} \\ &= 32\text{m}\end{aligned}$$

Tabel 4.1 Dimensi Timbunan *Stockpile*

Parameter	Nilai
a. Panjang Timbunan Bawah	134 m
b. Lebar Timbunan Bawah	46 m
Luas Timbunan Bawah (a x b)	6164 m ²
c. Panjang Timbunan Atas	121 m
d. Lebar Timbunan atas	32 m
Luas Timbunan Atas (c x d)	3872 m ²
Y Tinggi	4,55 m
X Panjang Horizontal	6,5 m
Sudut Slope	35 °
Luas <i>Stockpile</i>	±1 hektar
Kapasitas <i>Stockpile</i>	±50.000 ton

Sumber: PT Lematang Coal Lestari (2026)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa timbunan batubara memiliki panjang dasar 134 m dengan lebar 46 m, sedangkan bagian atas memiliki panjang 121 m dengan lebar 32 m. Tinggi timbunan mencapai 4,55 m dengan sudut *slope* sekitar 35°. Dimensi tersebut menunjukkan bahwa timbunan memiliki ukuran yang cukup besar untuk menampung batubara dengan kapasitas sekitar ±50.000 ton.

Perbedaan ukuran antara bagian bawah dan bagian atas membentuk lereng timbunan yang menyebabkan bagian tengah memiliki ketebalan lebih besar dibandingkan bagian tepi. Kondisi tersebut menyebabkan pelepasan panas dari bagian dalam timbunan berlangsung lebih lambat dibandingkan permukaan. Akibatnya, panas yang dihasilkan selama proses oksidasi lebih mudah terakumulasi pada bagian inti timbunan.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.1 Kondisi Umum Area *Stockpile* PT Lematang Coal Lestari

Kondisi area *stockpile* memperlihatkan timbunan batubara yang digunakan sebagai lokasi penyimpanan sementara sebelum pengiriman. Selama penelitian, area ini juga menjadi lokasi pemantauan temperatur dan pelaksanaan penanganan apabila terjadi peningkatan temperatur. Ukuran timbunan yang relatif besar menyebabkan bagian dalam timbunan berpotensi mengalami akumulasi panas apabila pelepasan panas tidak berlangsung secara optimal.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa dimensi timbunan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap potensi terjadinya *swabakar* karena memengaruhi proses akumulasi panas di dalam timbunan batubara. Meskipun demikian, peningkatan temperatur tidak hanya dipengaruhi oleh dimensi timbunan, tetapi juga oleh karakteristik batubara yang disimpan.

4.1.2 Jenis dan Kualitas Batubara

Jenis dan kualitas batubara merupakan salah satu faktor yang diidentifikasi dalam penelitian ini karena memengaruhi proses oksidasi selama penyimpanan di area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Identifikasi dilakukan terhadap jenis batubara dan nilai kalori yang digunakan selama penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap potensi terjadinya *swabakar*. Data jenis dan kualitas batubara disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Jenis dan Kualitas Batubara PT Lematang *Coal* Lestari

Parameter	Nilai
Jenis Batubara	Lignit
Nilai Kalori	3.000 kcal/kg

Sumber: PT Lematang *Coal* Lestari (2026)

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa batubara yang disimpan merupakan batubara jenis lignit dengan nilai kalori 3.000 kcal/kg. Karakteristik tersebut menjadi kondisi aktual batubara yang diamati selama penelitian sehingga seluruh hasil pengukuran temperatur mengacu pada jenis batubara yang sama. Batubara lignit memiliki kecenderungan lebih mudah mengalami proses oksidasi selama penyimpanan. Proses tersebut menghasilkan panas secara bertahap di dalam timbunan. Akumulasi panas akan terus meningkat apabila pelepasan panas berlangsung lebih lambat dibandingkan pembentukan panas di dalam timbunan.

Peningkatan temperatur terjadi secara bertahap hingga memasuki kondisi *self-heating* dan berkembang menjadi *swabakar* pada waktu tertentu. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik batubara menjadi salah satu faktor yang memengaruhi peningkatan temperatur pada area *stockpile*.

4.1.3 Sistem Penumpukan Batubara Menggunakan Pola *Cone ply*

Sistem penumpukan batubara menjadi salah satu faktor yang diidentifikasi dalam penelitian ini karena memengaruhi kondisi timbunan selama proses penyimpanan di area *stockpile* PT Lematang *Coal* Lestari. Batubara ditumpuk menggunakan pola *Cone ply* melalui proses *dumping* pada satu titik hingga membentuk timbunan secara alami. Penerapan sistem penumpukan tersebut disesuaikan dengan kapasitas area *stockpile* dan kebutuhan operasional perusahaan.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.2 Sistem Penumpukan Batubara Menggunakan Pola *Cone ply*

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa batubara ditumpuk pada satu titik sehingga membentuk timbunan dengan bagian tengah lebih tinggi dibandingkan bagian tepi. Kondisi tersebut menyebabkan ketebalan timbunan tidak merata, di mana bagian tengah memiliki volume material yang lebih besar. Bentuk timbunan ini mengakibatkan pelepasan panas dari bagian dalam berlangsung lebih lambat dibandingkan bagian permukaan sehingga panas lebih mudah terakumulasi di dalam timbunan.

Rongga-rongga yang terbentuk di antara butiran batubara menjadi jalur masuknya oksigen ke dalam timbunan. Oksigen yang masuk akan bereaksi dengan batubara sehingga proses oksidasi berlangsung secara terus-menerus dan menghasilkan panas. Akumulasi panas pada bagian dalam timbunan menyebabkan temperatur meningkat secara bertahap dan menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari.

4.1.4 Hasil Pengukuran Temperatur Timbunan Batubara

Temperatur timbunan batubara menjadi salah satu faktor yang diidentifikasi dalam penelitian ini karena menunjukkan perkembangan kondisi batubara selama proses penyimpanan di area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Pengukuran dilakukan secara langsung pada titik yang sama untuk mengetahui perubahan temperatur dari kondisi normal, *self-heating*, hingga

swabakar. Pengamatan dilaksanakan pada tanggal 8 April 2026, 10 April 2026, 17 April 2026, 23 April 2026, dan 24 April 2026 dengan empat kali pengukuran setiap hari. Hasil pengukuran temperatur disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Temperatur Timbunan Batubara

Tanggal	Waktu	Kondisi	Temperatur (°C)	Keterangan
08-04-2026	08.07	Stabil	32,8	Temperatur awal pengamatan setelah hujan sehingga masih mendekati suhu lingkungan.
08-04-2026	11.12	Meningkat	36,5	Temperatur mulai meningkat akibat pemanasan permukaan timbunan.
08-04-2026	13.18	Transisi	56,8	Temperatur memasuki fase <i>self-heating</i> yang ditandai dengan peningkatan panas di dalam timbunan.
08-04-2026	14.26	Transisi	68,3	Temperatur sudah di fase <i>self-heating</i> tapi belum mencapai kondisi <i>Swabakar</i> .
10-04-2026	08.11	Stabil	28,9	Temperatur relatif rendah akibat pengaruh curah hujan sebelum pengukuran.
10-04-2026	11.19	Stabil	30,1	Perubahan temperatur relatif kecil sehingga kondisi timbunan masih stabil.
10-04-2026	13.24	Meningkat	33,7	Temperatur mengalami peningkatan ringan akibat pemanasan selama siang hari.
10-04-2026	14.33	Stabil	31,5	Temperatur kembali menurun dan mendekati kondisi awal pengamatan.
17-04-2026	08.05	Stabil	30,0	Temperatur awal pengamatan masih berada pada kondisi normal.
17-04-2026	11.15	Meningkat	38,6	Temperatur mulai meningkat sebagai indikasi awal proses oksidasi.
17-04-2026	13.21	Transisi	61,4	Temperatur memasuki fase <i>self-heating</i> sehingga diperlukan pemantauan lebih lanjut.
17-04-2026	14.30	<i>Swabakar</i>	154,8	Temperatur meningkat tajam dan menunjukkan terjadinya

				<i>Swabakar</i> pada timbunan batubara.
23-04-2026	08.09	Stabil	33,5	Temperatur awal pengamatan masih berada pada kondisi normal.
23-04-2026	11.17	Meningkat	45,2	Temperatur meningkat secara signifikan akibat akumulasi panas di dalam timbunan.
23-04-2026	13.25	Transisi	72,8	Temperatur memasuki fase transisi dengan proses <i>self-heating</i> yang semakin intensif.
23-04-2026	14.38	<i>Swabakar</i>	168,5	Temperatur menunjukkan kondisi <i>Swabakar</i> sehingga diperlukan tindakan penanggulangan segera.
24-04-2026	08.13	Menurun	40,2	Temperatur menurun setelah dilakukan pembongkaran (<i>Dozing/Turn Over</i>) dan <i>compacting</i> .
24-04-2026	11.20	Stabil	36,4	Temperatur terus menurun dan mendekati kondisi aman.
24-04-2026	13.28	Stabil	34,8	Temperatur menunjukkan kondisi yang semakin stabil setelah penanganan.
24-04-2026	14.36	Stabil	33,6	Temperatur kembali stabil dan mendekati suhu normal timbunan batubara.

Sumber: Penulis, (2026)

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur timbunan mengalami perubahan pada setiap hari pengamatan. Temperatur tertinggi tercatat sebesar 154,8°C pada tanggal 17 April 2026 dan meningkat menjadi 168,5°C pada tanggal 23 April 2026, yang menunjukkan telah terjadinya *swabakar* pada timbunan batubara. Pengukuran tanggal 8 April 2026 menunjukkan temperatur telah memasuki fase *self-heating*, sedangkan pengukuran tanggal 10 April 2026 masih berada pada kondisi relatif stabil. Penurunan temperatur terjadi pada tanggal 24 April 2026 setelah dilakukan pembongkaran (*dozing/turn over*) dan *compacting*.

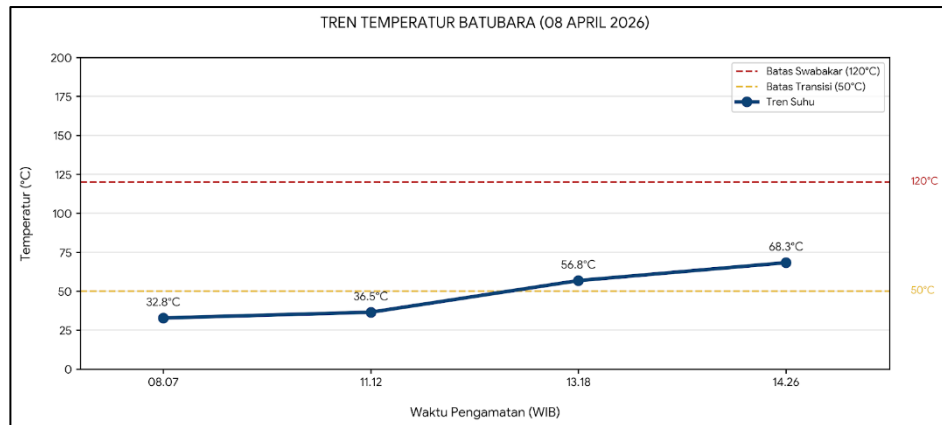
Perubahan temperatur selama penelitian menunjukkan bahwa panas di dalam timbunan berkembang secara bertahap hingga mencapai kondisi

swabakar. Peningkatan temperatur terjadi akibat akumulasi panas yang berlangsung di dalam timbunan dan menjadi indikator berkembangnya proses oksidasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa temperatur merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya *swabakar* karena peningkatan temperatur yang terus berlangsung akan mempercepat reaksi oksidasi dan menyebabkan panas semakin terakumulasi di dalam timbunan batubara.

Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa temperatur tidak meningkat secara tiba-tiba, tetapi berkembang dari kondisi normal, memasuki fase *self-heating*, hingga mencapai *swabakar*. Pola perubahan temperatur tersebut memperkuat hasil identifikasi bahwa dimensi timbunan, karakteristik batubara, sistem penumpukan, dan perkembangan temperatur saling berkaitan dalam proses terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari.

4.1.4.1 Analisis Temperatur Tanggal 8 April 2026

Pengukuran temperatur pada tanggal 08 April 2026 dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui perkembangan temperatur timbunan batubara selama satu hari. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perubahan temperatur dapat diamati dengan lebih jelas. Temperatur rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut sebesar 48,6°C, sehingga dapat menggambarkan kondisi temperatur timbunan selama periode pengamatan.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.3 Grafik Temperatur Tanggal 08 April 2026

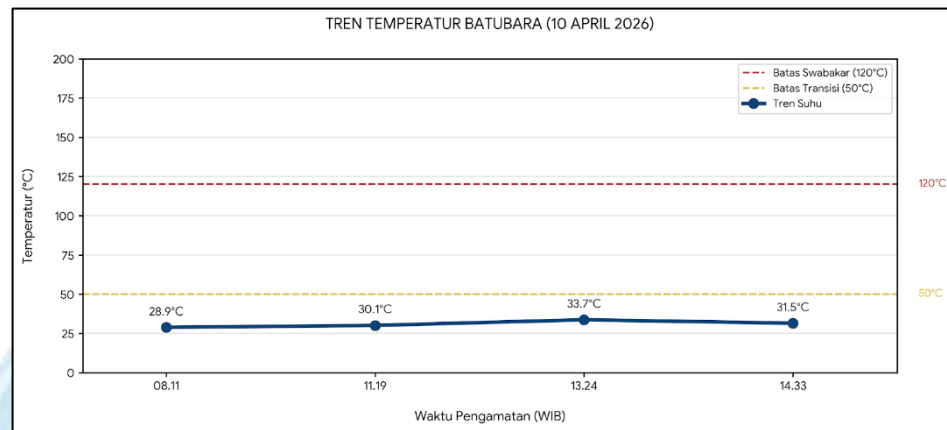
Temperatur timbunan mengalami peningkatan secara bertahap dari 32,8°C pada pukul 08.07, menjadi 36,5°C pada pukul 11.12, kemudian meningkat menjadi 56,8°C pada pukul 13.18, dan mencapai 68,3°C pada pukul 14.26. Temperatur rata-rata harian sebesar 48,6°C menunjukkan bahwa kondisi timbunan mengalami peningkatan temperatur meskipun belum mencapai kondisi *swabakar* (Gambar 4.3).

Pengukuran pada pukul 13.18 dan 14.26 menunjukkan temperatur telah memasuki fase temperatur transisi, yaitu kondisi ketika proses *self-heating* mulai berlangsung di dalam timbunan batubara. Fase ini ditandai dengan meningkatnya temperatur akibat akumulasi panas hasil proses oksidasi, namun belum berkembang menjadi *swabakar*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa temperatur maksimum masih berada pada 68,3°C, sehingga timbunan belum mengalami pembakaran spontan, tetapi telah menunjukkan indikasi awal terjadinya *swabakar* apabila tidak dilakukan pemantauan dan pengendalian secara berkala.

4.1.4.2 Analisis Temperatur Tanggal 10 April 2026

Pengukuran temperatur pada tanggal 10 April 2026 dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui perkembangan temperatur timbunan batubara selama satu hari. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perubahan

temperatur dapat diamati dengan lebih jelas. Temperatur rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut sebesar $31,1^{\circ}\text{C}$, sehingga menunjukkan kondisi temperatur timbunan relatif stabil selama periode pengamatan.



Sumber: Penulis, (2026)

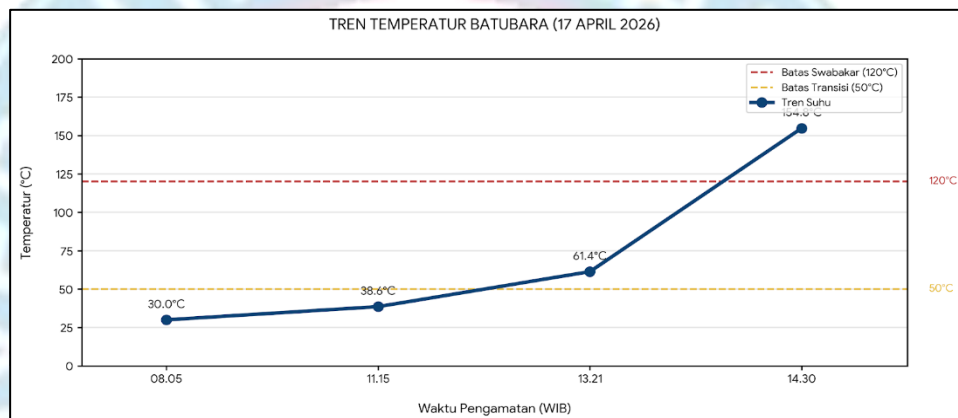
Gambar 4.4 Grafik Temperatur Tanggal 10 April 2026

Temperatur timbunan sebesar $28,9^{\circ}\text{C}$ pada pukul 08.11, kemudian meningkat menjadi $30,1^{\circ}\text{C}$ pada pukul 11.19 dan $33,7^{\circ}\text{C}$ pada pukul 13.24. Pengukuran terakhir pada pukul 14.33 menunjukkan temperatur kembali menurun menjadi $31,5^{\circ}\text{C}$. Temperatur rata-rata harian sebesar $31,1^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih berada pada kisaran temperatur normal (Gambar 4.4).

Seluruh hasil pengukuran masih berada di bawah temperatur transisi, sehingga timbunan belum memasuki fase *self-heating*. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh curah hujan yang terjadi sebelum pengukuran sehingga temperatur timbunan relatif rendah dan pelepasan panas berlangsung lebih efektif. Akumulasi panas di dalam timbunan belum berkembang secara signifikan meskipun dimensi timbunan, karakteristik batubara lignit, dan sistem penumpukan *Cone ply* tetap berpotensi memengaruhi peningkatan temperatur apabila kondisi penyimpanan berubah.

4.1.4.3 Analisis Temperatur Tanggal 17 April 2026

Pengukuran temperatur pada tanggal 17 April 2026 dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui perkembangan temperatur timbunan batubara selama satu hari. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perubahan temperatur dapat diamati dengan lebih jelas. Temperatur rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut sebesar $71,2^{\circ}\text{C}$, yang menunjukkan terjadinya peningkatan temperatur secara signifikan dibandingkan pengamatan sebelumnya.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.5 Grafik Temperatur Tanggal 17 April 2026

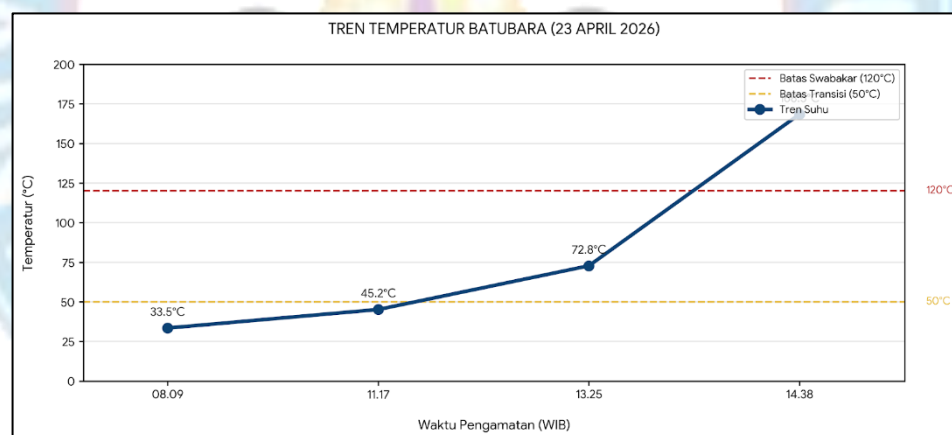
Temperatur timbunan sebesar $30,0^{\circ}\text{C}$ pada pukul 08.05, kemudian meningkat menjadi $38,6^{\circ}\text{C}$ pada pukul 11.15. Pengukuran pada pukul 13.21 menunjukkan temperatur mencapai $61,4^{\circ}\text{C}$, yang menandakan timbunan telah memasuki fase temperatur transisi (*self-heating*). Temperatur terus meningkat hingga mencapai $154,8^{\circ}\text{C}$ pada pukul 14.30, sehingga telah melewati batas temperatur *swabakar*. Temperatur rata-rata harian sebesar $71,2^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa kondisi timbunan mengalami peningkatan temperatur yang sangat tinggi selama periode pengamatan (Gambar 4.5).

Peningkatan temperatur dari fase *self-heating* hingga mencapai *swabakar* menunjukkan bahwa akumulasi panas di dalam timbunan berkembang lebih cepat dibandingkan pelepasan panas ke lingkungan.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses oksidasi berlangsung secara intensif dan menyebabkan temperatur meningkat secara tajam. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dimensi timbunan, karakteristik batubara lignit, serta sistem penumpukan *Cone ply* saling berkontribusi terhadap peningkatan temperatur hingga memicu terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari.

4.1.4.4 Analisis Temperatur Tanggal 23 April 2026

Pengukuran temperatur pada tanggal 23 April 2026 dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui perkembangan temperatur timbunan batubara selama satu hari. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perubahan temperatur dapat diamati dengan lebih jelas. Temperatur rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut sebesar $80,0^{\circ}\text{C}$, yang menunjukkan peningkatan temperatur lebih tinggi dibandingkan hasil pengamatan sebelumnya.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.6 Grafik Temperatur Tanggal 23 April 2026

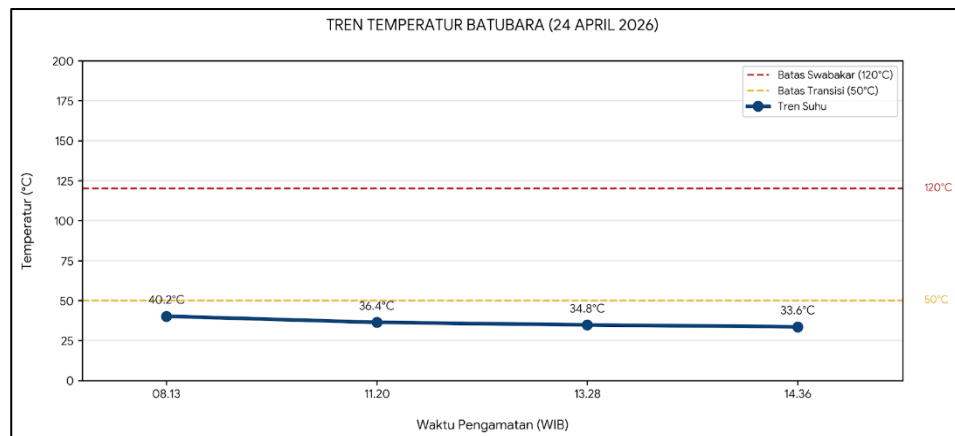
Temperatur timbunan sebesar $33,5^{\circ}\text{C}$ pada pukul 08.09, kemudian meningkat menjadi $45,2^{\circ}\text{C}$ pada pukul 11.17. Pengukuran pada pukul 13.25 menunjukkan temperatur mencapai $72,8^{\circ}\text{C}$, yang menandakan timbunan telah memasuki fase temperatur transisi (*self-heating*). Temperatur terus meningkat hingga mencapai $168,5^{\circ}\text{C}$ pada pukul 14.38,

sehingga telah melewati batas temperatur *swabakar*. Temperatur rata-rata harian sebesar 80,0°C menunjukkan bahwa kondisi timbunan mengalami peningkatan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan pengamatan tanggal 17 April 2026 (Gambar 4.6).

Peningkatan temperatur hingga mencapai 168,5°C menunjukkan bahwa proses oksidasi di dalam timbunan berlangsung semakin intensif sehingga menghasilkan akumulasi panas yang lebih besar. Panas yang terbentuk tidak dapat dilepaskan secara efektif sehingga temperatur terus meningkat dan menyebabkan *swabakar* pada timbunan batubara. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa dimensi timbunan, karakteristik batubara lignit, sistem penumpukan *Cone ply*, dan peningkatan temperatur saling berkontribusi terhadap terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari.

4.1.4.5 Analisis Temperatur Tanggal 24 April 2026

Pengukuran temperatur pada tanggal 24 April 2026 dilakukan sebanyak empat kali pada titik pengamatan yang sama untuk mengetahui perubahan temperatur timbunan batubara setelah dilakukan tindakan penanggulangan. Data hasil pengukuran kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar perkembangan temperatur setelah penanganan dapat diamati dengan lebih jelas. Temperatur rata-rata yang diperoleh pada hari tersebut sebesar 36,3°C, yang menunjukkan bahwa temperatur timbunan telah kembali mendekati kondisi normal.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.7 Grafik Temperatur Tanggal 24 April 2026

Temperatur timbunan sebesar 40,2°C pada pukul 08.13, kemudian menurun menjadi 36,4°C pada pukul 11.20, 34,8°C pada pukul 13.28, dan 33,6°C pada pukul 14.36. Temperatur rata-rata harian sebesar 36,3°C menunjukkan bahwa kondisi timbunan mengalami penurunan temperatur secara bertahap setelah dilakukan tindakan pembongkaran (*dozing/turn over*) dan *compacting*. Seluruh hasil pengukuran berada di bawah temperatur transisi, sehingga timbunan tidak lagi berada pada fase *self-heating* maupun *swabakar* (Gambar 4.7).

Penurunan temperatur menunjukkan bahwa tindakan pembongkaran (*dozing/turn over*) berhasil melepaskan akumulasi panas yang berada di dalam timbunan, sedangkan *compacting* mengurangi rongga udara yang menjadi jalur masuk oksigen ke dalam timbunan. Kondisi tersebut menghambat proses oksidasi sehingga pembentukan panas berkurang dan temperatur timbunan kembali stabil. Hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa penanganan yang diterapkan di area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari efektif dalam mengendalikan *swabakar* dan mengembalikan temperatur timbunan ke kondisi yang lebih aman.

4.1.4.6 Analisis Hasil Pengukuran Temperatur Timbunan Batubara

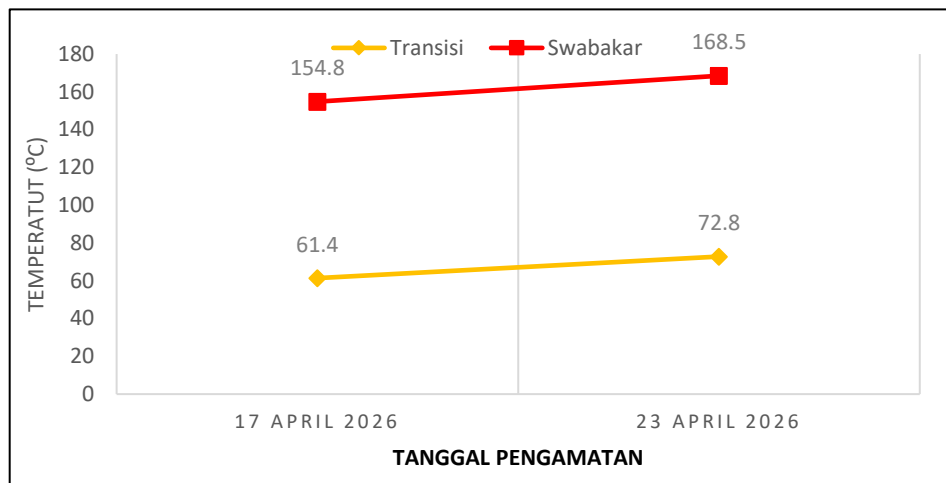
Berdasarkan hasil pengamatan temperatur selama lima hari, perkembangan temperatur timbunan batubara menunjukkan kondisi yang berbeda pada setiap hari pengamatan. Pada tanggal 08 April 2026, temperatur telah memasuki fase transisi (*self-heating*), namun belum mencapai kondisi *swabakar*. Pengamatan tanggal 10 April 2026 menunjukkan temperatur relatif stabil karena curah hujan yang terjadi sebelum pengukuran menyebabkan temperatur timbunan tetap rendah sehingga proses oksidasi belum berkembang. Peningkatan temperatur yang mencapai fase transisi dan *swabakar* baru terjadi pada tanggal 17 April 2026 dan 23 April 2026. Setelah dilakukan tindakan penanggulangan berupa pembongkaran (*dozing/turn over*) dan *compacting*, temperatur kembali menurun pada tanggal 24 April 2026. Rekapitulasi temperatur transisi dan temperatur *swabakar* selama penelitian disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.4 Temperatur Transisi dan *Swabakar*

No	Tanggal Pengamatan	Temperatur Transisi (°C)	Temperatur <i>Swabakar</i> (°C)	Keterangan
1	17 April 2026	61,4	154,8	Terjadi fase transisi dan awal <i>swabakar</i> .
2	23 April 2026	72,8	168,5	Temperatur meningkat, <i>swabakar</i> berkembang lebih tinggi.

Sumber: Penulis, (2026)

Berdasarkan Tabel 4.7, fase transisi dan *swabakar* hanya terjadi pada tanggal 17 April 2026 dan 23 April 2026. Temperatur transisi meningkat dari 61,4°C menjadi 72,8°C, sedangkan temperatur *swabakar* meningkat dari 154,8°C menjadi 168,5°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa akumulasi panas di dalam timbunan semakin meningkat akibat proses oksidasi yang berlangsung secara terus-menerus hingga memicu terjadinya *swabakar*.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.8 Grafik Temperatur Transisi dan *Swabakar*

Berdasarkan Gambar 4.9, temperatur transisi dan temperatur *swabakar* mengalami peningkatan dari tanggal 17 April 2026 ke 23 April 2026. Peningkatan temperatur transisi sebesar $11,4^{\circ}\text{C}$ dan temperatur *swabakar* sebesar $13,7^{\circ}\text{C}$ menunjukkan bahwa proses oksidasi berkembang lebih intensif sehingga akumulasi panas di dalam timbunan semakin besar. Kondisi ini memperkuat hasil penelitian bahwa temperatur merupakan salah satu faktor utama penyebab terjadinya *swabakar* pada area *stockpile*. Sebaliknya, pada hari pengamatan yang dipengaruhi curah hujan maupun setelah dilakukan tindakan penanggulangan, temperatur berada di bawah fase transisi sehingga kondisi timbunan kembali lebih stabil.

4.1.5 Analisis Faktor Utama Penyebab *Swabakar*

Hasil identifikasi terhadap dimensi timbunan, jenis dan kualitas batubara, sistem penumpukan, serta temperatur menunjukkan bahwa terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan. Keempat faktor tersebut berperan dalam meningkatkan proses oksidasi dan akumulasi panas di dalam timbunan batubara hingga memicu terjadinya *swabakar*. Hasil analisis menunjukkan

bahwa setiap faktor memiliki tingkat pengaruh yang berbeda terhadap perkembangan *swabakar*.

Temperatur menjadi faktor yang paling berpengaruh karena secara langsung menunjukkan perkembangan kondisi timbunan dari fase temperatur transisi (*self-heating*) hingga mencapai *swabakar*. Hasil pengukuran menunjukkan temperatur maksimum sebesar 154,8°C pada tanggal 17 April 2026 dan meningkat menjadi 168,5°C pada tanggal 23 April 2026. Peningkatan temperatur tersebut dipengaruhi oleh karakteristik batubara lignit yang mudah mengalami oksidasi, sistem penumpukan *Cone ply* yang menyebabkan akumulasi panas di dalam timbunan, serta dimensi timbunan yang menghambat pelepasan panas. Tingkat pengaruh masing-masing faktor terhadap terjadinya *swabakar* disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Faktor Penyebab *Swabakar*

o.	Faktor	Hasil Analisis	Tingkat Pengaruh
1	Dimensi timbunan	Dimensi timbunan yang besar menyebabkan pelepasan panas dari bagian dalam berlangsung lebih lambat sehingga panas lebih mudah terakumulasi.	Berpengaruh
2	Jenis dan kualitas batubara	Batubara lignit memiliki reaktivitas tinggi sehingga proses oksidasi berlangsung lebih cepat dan menghasilkan panas selama penyimpanan.	Sangat Berpengaruh
3	Sistem penumpukan <i>Cone ply</i>	Pola <i>Cone ply</i> menyebabkan ketebalan timbunan tidak merata sehingga memengaruhi distribusi udara dan pelepasan panas di dalam timbunan.	Sangat Berpengaruh
4	Temperatur	Perkembangan temperatur dari fase temperatur transisi (<i>self-heating</i>) hingga mencapai 168,5°C menunjukkan bahwa temperatur menjadi faktor yang paling menentukan terjadinya <i>Swabakar</i> .	Paling Berpengaruh

Sumber: Penulis, (2026)

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa keempat faktor tersebut saling berhubungan dalam proses terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Dimensi timbunan, jenis dan kualitas batubara, serta sistem penumpukan membentuk kondisi yang mendukung berlangsungnya proses oksidasi dan akumulasi panas di dalam timbunan. Akumulasi panas tersebut ditunjukkan oleh peningkatan temperatur yang berkembang dari fase temperatur transisi (*self-heating*) hingga mencapai *swabakar*. Berdasarkan hasil identifikasi lapangan, temperatur merupakan faktor utama yang paling berpengaruh, sedangkan dimensi timbunan, jenis dan kualitas batubara, serta sistem penumpukan merupakan faktor yang mendukung peningkatan temperatur hingga terjadinya *swabakar*.

4.2 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan *Swabakar*

Upaya penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari dilaksanakan untuk mengendalikan peningkatan temperatur timbunan batubara agar tidak berkembang menjadi pembakaran spontan. Pelaksanaan penanganan mengacu pada *Standard Operating Procedure* (SOP) perusahaan yang mengatur tahapan pemantauan temperatur, identifikasi tingkat potensi *swabakar*, serta tindakan penanganan sesuai kondisi timbunan batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tahapan penanggulangan yang diterapkan selama periode penelitian meliputi pemantauan temperatur sebagai dasar penentuan penanganan, kegiatan pembongkaran (*dozing/turn over*), dan *compacting*. Ketiga tahapan tersebut saling berkaitan dalam mengendalikan peningkatan temperatur pada area *stockpile*.

Efektivitas upaya penanggulangan dianalisis berdasarkan perubahan temperatur sebelum dan sesudah dilakukan tindakan penanganan. Analisis dilakukan untuk mengetahui kemampuan setiap tahapan dalam mengendalikan perkembangan *self-heating* hingga menurunkan temperatur timbunan kembali pada kondisi yang stabil.

4.2.1 Pemantauan Temperatur sebagai Dasar Penentuan Penanganan

Swabakar

Pemantauan temperatur merupakan tahapan awal dalam pengendalian *swabakar* pada area *stockpile*. Kegiatan ini dilakukan secara berkala menggunakan alat ukur temperatur untuk mengetahui perkembangan suhu pada timbunan batubara sehingga peningkatan temperatur dapat dideteksi sejak dini. Hasil pemantauan dibandingkan dengan batas temperatur yang ditetapkan dalam SOP perusahaan untuk menentukan tingkat potensi *swabakar* serta tindakan penanganan yang harus dilakukan.

Selama penelitian, pengukuran temperatur dilakukan pada tanggal 8 April, 10 April, 17 April, 23 April, dan 24 April 2026. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur tanggal 8 April 2026 meningkat hingga mencapai 68,3°C yang menunjukkan timbunan telah memasuki fase *self-heating*. Pengukuran tanggal 10 April 2026 menunjukkan temperatur relatif stabil dengan nilai tertinggi 33,7°C. Kondisi berbeda terjadi pada tanggal 17 April 2026 dan 23 April 2026 ketika temperatur meningkat hingga mencapai 154,8°C dan 168,5°C, yang menunjukkan telah terjadinya *swabakar* pada timbunan batubara.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.9 Kegiatan Monitoring Temperatur

Hasil pemantauan temperatur menjadi dasar bagi perusahaan dalam menentukan waktu pelaksanaan penanganan. Ketika temperatur menunjukkan

peningkatan hingga memasuki kondisi yang memerlukan tindakan sesuai SOP, perusahaan segera melakukan pembongkaran (*dozing/turn over*) dan dilanjutkan dengan *compacting*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan temperatur berfungsi sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) yang membantu perusahaan mengendalikan risiko *swabakar* secara lebih cepat dan tepat. (Gambar 4.9)

4.2.2 Kegiatan Pembongkaran (*Dozing/Turn Over*)

Kegiatan pembongkaran (*dozing/turn over*) dilakukan setelah hasil pemantauan temperatur menunjukkan bahwa timbunan batubara telah memasuki kondisi yang memerlukan penanganan. Pembongkaran dilakukan menggunakan alat berat dengan cara membongkar, membalik, dan menyebarkan material yang mengalami peningkatan temperatur sehingga panas yang terakumulasi di dalam timbunan dapat dilepaskan ke udara. Tahapan tersebut dilaksanakan sesuai prosedur perusahaan untuk mempercepat proses pendinginan pada material yang mengalami *self-heating*.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.10 Kegiatan Pembongkaran (*Dozing/Turn Over*)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pembongkaran mampu mengurangi akumulasi panas yang terjadi di dalam timbunan batubara. Pelepasan panas yang berlangsung selama proses pembongkaran menyebabkan temperatur mulai mengalami penurunan sehingga perkembangan *self-heating*

dapat dihentikan. Tindakan ini menjadi tahapan utama sebelum dilakukan pemadatan kembali pada timbunan batubara. (Gambar 4.10)

Efektivitas pembongkaran terlihat dari perubahan kondisi temperatur setelah penanganan dilakukan. Material yang sebelumnya mengalami peningkatan temperatur tinggi tidak lagi menunjukkan kenaikan temperatur secara terus-menerus sehingga proses pembakaran spontan dapat dikendalikan sebelum menyebar ke bagian timbunan lainnya.

4.2.3 Kegiatan *Compacting*

Kegiatan *compacting* dilakukan setelah proses pembongkaran selesai dilaksanakan. Pemadatan bertujuan mengurangi rongga udara di dalam timbunan sehingga suplai oksigen yang mendukung proses oksidasi dapat diminimalkan. SOP perusahaan menetapkan bahwa pemadatan dilakukan setelah material mengalami penurunan temperatur untuk menjaga kestabilan timbunan dan mencegah terjadinya peningkatan temperatur kembali.



Sumber: Penulis, (2026)

Gambar 4.11 Kegiatan Pembongkaran (*Dozing/Turn Over*)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa *compacting* menghasilkan timbunan yang lebih padat dan stabil sehingga ruang udara di dalam timbunan menjadi lebih sedikit. Kondisi tersebut membantu menghambat proses oksidasi yang dapat menyebabkan peningkatan temperatur.

Efektivitas *compacting* terlihat pada hasil pengukuran temperatur tanggal 24 April 2026. Temperatur yang sebelumnya mencapai kondisi *swabakar* mengalami penurunan menjadi 40,2°C, kemudian terus menurun menjadi 36,4°C, 34,8°C, hingga mencapai 33,6°C pada pengukuran terakhir. Penurunan temperatur tersebut menunjukkan bahwa *compacting* berperan dalam mempertahankan kondisi timbunan setelah proses pembongkaran dilakukan.

4.2.4 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan *Swabakar*

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penerapan tahapan penanggulangan sesuai SOP perusahaan memberikan pengaruh terhadap penurunan temperatur timbunan batubara yang mengalami *swabakar*. Pemantauan temperatur memungkinkan peningkatan suhu teridentifikasi sejak fase *self-heating*, sehingga tindakan penanganan dapat segera dilaksanakan sebelum kondisi berkembang menjadi lebih parah. Pembongkaran (*dozing/turn over*) berfungsi mengurangi akumulasi panas yang terperangkap di dalam timbunan, sedangkan *compacting* mempertahankan kestabilan timbunan dengan mengurangi rongga udara yang menjadi jalur masuk oksigen ke dalam batubara.

Temperatur maksimum yang mencapai 154,8°C pada tanggal 17 April 2026 dan 168,5°C pada tanggal 23 April 2026 berhasil diturunkan setelah dilakukan rangkaian penanganan. Hasil pengukuran tanggal 24 April 2026 menunjukkan temperatur menurun menjadi 40,2°C, kemudian terus menurun hingga mencapai 33,6°C pada pengukuran terakhir. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa tindakan penanggulangan mampu mengendalikan perkembangan *swabakar* pada area *stockpile*.

Tabel 4.6 Analisis Efektivitas Upaya Penanggulangan *Swabakar*

Tahapan Penanganan	Kondisi Sebelum	Kondisi Sesudah	Hasil Analisis
Pemantauan temperatur	Peningkatan temperatur belum teridentifikasi	Titik panas diketahui melalui hasil pengukuran	Efektif sebagai dasar penentuan penanganan
Pembongkaran (<i>Dozing/Turn Over</i>)	Panas terakumulasi di dalam timbunan	Panas dilepaskan sehingga temperatur mulai menurun	Efektif mengurangi akumulasi panas
<i>Compacting</i>	Rongga udara masih terbuka	Timbunan lebih padat dan stabil sehingga suplai oksigen berkurang	Efektif mempertahankan kestabilan timbunan

Sumber: Penulis, (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan pemantauan temperatur, pembongkaran (*dozing/turn over*), dan *compacting* sesuai SOP perusahaan efektif mengendalikan *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari. Penurunan temperatur dari kondisi *swabakar* hingga kembali mencapai 33,6°C menunjukkan bahwa rangkaian penanganan yang diterapkan mampu mengurangi akumulasi panas, membatasi suplai oksigen, serta mengembalikan kondisi timbunan menjadi stabil. Temuan tersebut menjawab tujuan penelitian kedua, yaitu menganalisis efektivitas upaya penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian mengenai analisis upaya penanggulangan *swabakar* pada area *stockpile* di PT Lematang Coal Lestari menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Terjadinya *swabakar* pada area *stockpile* PT Lematang Coal Lestari dipengaruhi oleh dimensi timbunan, jenis dan kualitas batubara, sistem penumpukan *Cone ply*, serta temperatur timbunan batubara. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa temperatur merupakan faktor yang paling berpengaruh karena secara langsung menunjukkan perkembangan kondisi timbunan dari fase temperatur transisi (*self-heating*) hingga mencapai *swabakar*. Temperatur maksimum yang terukur mencapai 154,8°C pada tanggal 17 April 2026 dan meningkat menjadi 168,5°C pada tanggal 23 April 2026.
2. Upaya penanggulangan *swabakar* yang diterapkan di PT Lematang Coal Lestari melalui pemantauan temperatur, pembongkaran (*dozing/turn over*), dan *compacting* terbukti efektif dalam menurunkan temperatur timbunan batubara. Hasil pengukuran menunjukkan temperatur menurun dari 168,5°C menjadi 40,2°C, kemudian terus menurun hingga mencapai 33,6°C, sehingga kondisi timbunan kembali stabil dan risiko berkembangnya *swabakar* dapat dikendalikan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. PT Lematang Coal Lestari disarankan untuk mempertahankan kegiatan pemantauan temperatur secara berkala pada seluruh area *stockpile*, terutama pada timbunan dengan ukuran besar dan masa penyimpanan yang lebih lama, sehingga peningkatan temperatur dapat dideteksi sejak fase *self-heating* sebelum berkembang menjadi *swabakar*.

2. Kegiatan pembongkaran (*dozing/turn over*) dan *compacting* perlu segera dilaksanakan ketika hasil pemantauan menunjukkan temperatur telah memasuki fase *self-heating*, sehingga akumulasi panas dan suplai oksigen dapat dikendalikan sebelum terjadi pembakaran spontan.
3. Pengelolaan timbunan batubara perlu dilakukan secara konsisten dengan memperhatikan dimensi timbunan, pola penumpukan *Cone ply*, serta lama penyimpanan batubara agar akumulasi panas di dalam timbunan dapat diminimalkan dan risiko terjadinya *swabakar* dapat dikurangi.
4. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter lain, seperti kadar air batubara, ukuran butir, kelembapan udara, kecepatan angin, dan analisis gas hasil oksidasi, sehingga faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya *swabakar* dapat dianalisis secara lebih komprehensif.



DAFTAR PUSTAKA

- Andrawina, A. (2025). Penanganan *Swabakar* Batubara dengan Menggunakan Metode Injeksi Kimia dan Metode Konvensional di PT. X. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 3(2), 219-224.
- Nursanto, E., & Fadhilah, R. 2024. Tinjauan Manajemen Timbunan Batubara untuk Mengurangi Risiko Pemanasan Sendiri Batubara, yang Dapat Menyebabkan Pembakaran Spontan. *Jurnal Geosains, Teknik, Lingkungan, dan Teknologi*, 9 (04), 470-476.
- Putri, E. S. L., Gumanti, S., & Yansen, D. 2025. Analisis Upaya Pencegahan *Swabakar* Pada *Stockpile* RL 56 Tambang Air Laya PT Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim. *Jurnal Humaniora dan Sosial Sains*, 2(3), 323-328.
- Sarmidi, S., Zulatama, A., & Widodo, R. (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 (JITS)*, 1(3), 118–125.
- Setiawan, A., Wibowo, A. P., & Rosyid, F. A. 2020. Analisis pengaruh ekspor dan konsumsi batubara terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 16(2), 109-124.
- Thabari, JA, Auzani, AS, Nirbito, W., Muharam, Y., & Nugroho, YS 2023. Pemodelan kebakaran spontan batubara di tumpukan batubara skala besar. *Jurnal Internasional Teknologi*, 14 (2), 257-266.
- Widodo, N. P., Syawaludin, E., & Arifin, Z. (2020). Studi pembakaran spontan batubara menggunakan metode pemanasan adiabatik pada skala laboratorium. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16(2), 81-91.
- Yolanda, A., Nugroho, W., Pontus, A. J., Winarno, A., & Trides, T. (2024). Analisis Pengaruh Kenaikan Temperatur Batubara Sebagai Indikator Awal Terjadinya *Swabakar* (*spontaneous combustion*) Di Product Coal *Stockpile* Pada Pt. Mahakam Sumber Jaya Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral Ft Unmul*, 12(2), 11-23.
- Yusuf, M. 2023. Pola Hubungan Temperatur Terhadap Pembentukan Emisi Gas Metana Pada *Swabakar* Batubara Di Temporary *Stockpile* Banko Barat. *Jurnal Pertambangan*, 7(4), 182-190.

Zulatama, A., & Valencia, D. P. Z. 2025. Penerapan Sensor proximity Untuk Sistem *Monitoring Gate Weigh Bin* Di TLS 1-02 PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 3(1), 196-202.



LAMPIRAN A

DOKUMENTASI PENELITIAN



Gambar A.1 Kegiatan Observasi Lapangan



Gambar A.2 Pengukuran Temperatur pada Bagian Dasar Timbunan Batubara



Gambar A.3 kondisi *stockpile* setelah hujan



Gambar A.4 Titik Hotspot pada Area *stockpile*

LAMPIRAN B

SOP PENANGANAN *SWABAKAR*



PT. LEMATANG COAL LESTARI
SITE GUNUNG RAJA
IUP PT. MUSI PRIMA COAL



PROSEDUR TINDAKAN PENANGGULANGAN SWABAKAR

1. Sebelum memulai pekerjaan wajib dilakukan identifikasi potensi bahaya selama aktivitas penanganan swabakar
2. Melakukan pemeriksaan pada area sumber api dan memperhitungkan jarak aman antara sumber api dengan uni
3. Melakukan pemeriksaan terhadap unit dan peralatan yang akan digunakan sebelum melakukan penanganan swabakar
4. Operator wajib menggunakan Alat Pelindung Diri (Masker, Helm Safety, Kacamata dan Safety Shoes)
5. Memastikan lebar, akses unit serta area manuver unit aman
6. Pada saat aktivitas penanganan swabakar posisi unit dipastikan pijakan unit aman dan jarak unit dari titik swabakar atau sumber api aman
7. Pada saat pemadaman dilakukan pemilihan batubara yang terbakar dengan menggunakan bucket excavator dan dipastikan sumber api bisa terjangkau oleh bucket excavator
8. Pisahkan batubara yang terbakar dan disebar ke area yang aman kemudian ditekan menggunakan punggung bucket sampai api padam
9. Lakukan pengadukan antara batubara yang telah disebar dan dipadamkan dengan tumpukan batubara yang tidak terbakar
10. Aduk sehingga posisi sisa batubara yang sudah dipadamkan berada dalam tumpukan dan dipastikan batubara dalam kondisi tidak terdapat asap
11. Lakukan pemadatan dengan menggunakan punggung bucket excavator sehingga tidak terdapat rongga udara yang mengakibatkan batubara dapat terbakar Kembali
12. Pastikan tumpukan batubara yang telah dilakukan pemadaman swabakar dalam kondisi rapih
13. Setelah aktivitas pemadaman swabakar batubara selesai wajib dilaporkan kepada pengawas lapangan bahwa penanganan telah dilakukan.



PT. LEMATANG COAL LESTARI
SITE GUNUNG RAJA
IUP PT. MUSI PRIMA COAL



STANDARNDARD OPERATING PROCEDURE (SOP)
PENANGGULANGAN SWABAKAR BATUBARA DI AREA STOCKPILE PT. LEMATANG
COAL LESTARI (LCL)

1. Tujuan

Menetapkan prosedur pencegahan, deteksi dini, dan penanganan swabakar (spontaneous combustion) pada batubara di area stockpile guna:

- a. Mencegah terjadinya swabakar di timbunan batubara
- b. Mengurangi kehilangan kualitas batubara
- c. Menjamin keselamatan pekerja dan lingkungan

2. Ruang Lingkup

Berlaku untuk seluruh aktivitas di area stockpile batubara, meliputi:

- a. Penumpukan
- b. Penyimpanan
- c. Pengambilan
- d. Monitoring kondisi cuaca di stockpile

3. Referensi

- a. Kebijakan K3 Perusahaan
- b. Prosedur Tanggap Darurat Kebakaran
- c. Standar operasional pengelolaan stockpile

4. Tanggung Jawab

- Operator: Monitoring kondisi stockpile dan pelaporan awal
- Supervisor: Koordinasi tindakan penanganan
- Tim HSE: Pengawasan keselamatan dan evaluasi risiko
- Manajemen: Penyediaan sumber daya dan kebijakan

5. Prosedur Pencegahan

5.1 Pengelolaan Stockpile

- Terapkan sistem FIFO (First In First Out)
- Batasi tinggi stockpile maksimal 6–8 meter
- Hindari penumpukan terlalu lama (>30 hari, tergantung jenis batubara)
- Minimalkan segregasi ukuran (fines vs lump)
- Lakukan pemadatan (compaction) ringan



PT. LEMATANG COAL LESTARI
SITE GUNUNG RAJA
IUP PT. MUSI PRIMA COAL



5.2 Monitoring

- a. Pengukuran suhu dilakukan:
 - Harian untuk area aktif
 - Mingguan untuk area pasif
- b. Gunakan alat:
 - Thermal gun / infrared thermometer
 - Thermocouple probe
- c. Batas suhu:
 - Normal: $<50^{\circ}\text{C}$
 - Waspada: $50-70^{\circ}\text{C}$
 - Bahaya: $>70^{\circ}\text{C}$

5.3 Pengendalian Lingkungan

- Jaga kelembaban batubara (hindari terlalu kering)
- Pastikan sistem drainase berfungsi dengan baik
- Hindari aliran udara berlebih ke dalam tumpukan

6. Prosedur Penanggulangan Swabakar

6.1 Klasifikasi Level Swabakar

Level	Kondisi	Tindakan
Level 1	Suhu $50-70^{\circ}\text{C}$, tanpa asap	Monitoring intensif
Level 2	Asap tipis, bau khas	Penanganan awal
Level 3	Asap tebal / titik api kecil	Tindakan darurat
Level 4	Api terbuka / kebakaran	Emergency response

6.2 Penanganan Level 1 (Peningkatan Suhu)

- Lakukan pengukuran ulang (verifikasi hotspot)
- Tandai area
- Lakukan compaction untuk mengurangi oksigen
- Tingkatkan frekuensi monitoring

6.3 Penanganan Level 2 (Muncul Asap)

- Lakukan rehandling pada area hotspot:
- Bongkar material
- Sebarkan untuk pendinginan alami
- Lakukan penyiraman air secara terkendali
- Tutup area dengan material dingin (jika perlu)
- Isolasi area dari aktivitas lain



PT. LEMATANG COAL LESTARI
SITE GUNUNG RAJA
IUP PT. MUSI PRIMA COAL



6.4 Penanganan Level 3 (Titik Api)

- Hentikan aktivitas di sekitar area
- Gunakan Water spray / water cannon
- Lakukan pembongkaran total area panas
- Pisahkan material terbakar dari material normal
- Awasi kemungkinan gas berbahaya

6.5 Penanganan Level 4 (Kebakaran Besar)

- Aktifkan Prosedur Tanggap Darurat
- Hubungi tim pemadam internal/eksternal
- Lakukan Penggenangan terbatas (flooding)
- Penutupan dengan tanah/material inert
- Evakuasi personel
- Amankan area sekitar dari penyebaran api

7. Keselamatan Kerja (HSE)

- Wajib menggunakan APD:
 1. Helm
 2. Safety shoes
 3. Sarung tangan
 4. Masker/respirator
- Waspada gas berbahaya:
 1. CO (karbon monoksida)
 2. SO₂ (sulfur dioksida)
 3. Dilarang bekerja sendiri (harus ada pengawasan)

8. Dokumentasi dan Pelaporan

- Catat setiap kejadian:
 1. Lokasi
 2. Suhu
 3. Waktu
 4. Tindakan
- Buat laporan insiden resmi
- Lakukan evaluasi dan tindakan pencegahan lanjutan



PT. LEMATANG COAL LESTARI
SITE GUNUNG RAJA
IUP PT. MUSI PRIMA COAL



9. Lampiran (Opsional)

- Form checklist monitoring suhu
- Peta titik rawan swabakar
- Flowchart penanganan

10. Prosedur Penanggulangan Swabakar ini berlaku di area kerja stockpile Batubara dan semua Pekerja berkewajiban untuk mematuhi.

Di Tetapkan Di : PT. Lematang Coal Lestari (LCL)

Pada Tanggal : 05/januari/2025

Di buat oleh

Edi herwansyah
Supervisor SHE

Di Setujui Oleh

Sonny Yap
PJO