

Analisis Pengaruh Temperatur, Lama Timbunan, dan Dimensi Timbunan Terhadap Terjadinya Swabakar pada ROM Batubara PT Triaryani

Jarwinda^{1*}, Epriyana Putri Wulansari¹, Edo Kharisma Army¹, La Ode Arham¹, Lusitania², Sitti Ratmi Nurhawaisyah³

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

³Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia

Email: jarwinda@ta.itera.ac.id

SARI

Swabakar (*self-heating*) pada batubara merupakan permasalahan serius yang terjadi akibat reaksi oksidasi yang menghasilkan panas secara bertahap hingga memicu kebakaran spontan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur, lama timbunan, dan dimensi timbunan terhadap potensi terjadinya swabakar pada ROM batubara di PT Triaryani. Penelitian dilakukan di ROM PT Triaryani, Sumatera Selatan, selama Februari hingga Maret 2025 menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode regresi linier sederhana dan analisis deskriptif. Data primer dikumpulkan melalui pengukuran temperatur batubara pada 10 titik timbunan bagian crush, pengamatan dimensi fisik timbunan, serta arah dan kecepatan angin. Sedangkan data sekunder meliputi lama timbunan dan curah hujan. Sebanyak 88 kejadian swabakar tercatat, dengan temperatur maksimum mencapai 483,9°C. Hasil analisis menunjukkan hubungan yang kuat antara umur timbunan dengan peningkatan temperatur, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 80,25%. Dimensi timbunan yang melebihi standar, seperti tinggi 10 meter dan sudut kemiringan 43°, memperbesar luas permukaan yang terpapar angin, meningkatkan tekanan beban timbunan, dan mempercepat akumulasi panas yang memicu swabakar. Pola penumpukan jenis chevcon turut memperburuk kondisi karena membentuk sisi miring luas yang tidak dipadatkan secara optimal. Untuk meminimalkan risiko swabakar, disarankan penerapan sistem FIFO, pemadatan tiap lapisan, serta pengaturan arah dan bentuk timbunan sesuai arah angin dominan.

Kata kunci: swabakar, temperatur, lama timbunan, dimensi timbunan, batubara.

How to Cite: Jarwinda, Wulansari, E.P., Army, E.K., Arham, L.O., Lusitania, dan Nurhawaisyah, S.R. 2025. Analisis Pengaruh Temperatur, Lama Timbunan, dan Dimensi Timbunan Terhadap Terjadinya Swabakar pada Rom Batubara PT Triaryani. Jurnal Geomine, 13 (1): 370-383.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Phone:

+6285299961257

+6281241908133

Article History:

Submit February 20, 2025

Received in from March 25, 2025

Accepted April 12, 2025

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

Self-heating of coal is a serious issue caused by oxidation reactions that gradually generate heat and can trigger uncontrolled fires. This study aims to analyze the influence of temperature, stockpile duration, and pile dimensions on the potential occurrence of spontaneous combustion at the ROM coal stockpile of PT Triaryani. The research was conducted at the ROM area in South Sumatra from February to March 2025 using a quantitative explanatory approach, involving linear regression analysis and descriptive methods. Primary data were collected through field observations, including coal temperature measurements at 10 observation points in the crush area, stockpile dimensions, and wind direction and speed. Meanwhile, secondary data includes the length of embankment and rainfall. A total of 88 spontaneous combustion incidents were recorded, with the highest temperature reaching 483.9°C. The analysis revealed a strong correlation between stockpile age and temperature increase, as shown by an R^2 value of 80.25%. Pile dimensions exceeding recommended standards, such as a height of 10 meters and a slope angle of 43°, contributed to a larger surface area exposed to wind, increased internal pressure from overburden weight, and accelerated heat accumulation leading to spontaneous combustion. Additionally, the chevcon stacking pattern worsened the condition due to its wide sloped surfaces that were not optimally compacted. To mitigate the risk of spontaneous combustion, it is recommended to implement a FIFO (First In, First Out) system, layer-by-layer compaction, and proper orientation of stockpiles aligned with the dominant wind direction.

Keywords: *spontaneous combustion, coal temperature, stockpile age, pile dimensions, coal.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan batubara terbesar di dunia dan menjadikannya sebagai sumber energi utama, khususnya dalam sektor ketenagalistrikan, industri semen, baja, dan kebutuhan energi domestik lainnya. Seiring meningkatnya permintaan pasar, kegiatan produksi batubara pun mengalami peningkatan signifikan, baik dari sisi eksplorasi maupun pengelolaan hasil produksi. Salah satu tahapan penting dalam rantai pasok batubara adalah aktivitas penimbunan sementara di ROM (Run of Mine), yang berfungsi sebagai area penyimpanan sementara sebelum proses pengangkutan atau pengolahan lebih lanjut. Namun, proses penimbunan batubara menyimpan risiko serius, yakni terjadinya swabakar atau pembakaran spontan akibat akumulasi panas dari reaksi oksidasi yang tidak terlepas ke lingkungan.

Fenomena swabakar pada timbunan batubara menjadi permasalahan yang cukup kompleks karena tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas material, tetapi juga dapat menyebabkan kerugian ekonomi, gangguan operasional, hingga ancaman keselamatan kerja. Berdasarkan pengamatan di lapangan, salah satu pemicu utama terjadinya swabakar adalah kenaikan temperatur batubara yang dipengaruhi oleh lama timbunan yang mencapai 2 bulan, kondisi fisik timbunan yang mana ketinggian timbunan mencapai 10 meter dan sudutnya 43°. yang menyebabkan temperatur batubara mengalami kenaikan drastis. Tercatat kondisi temperatur batubara mencapai 317,8 °C dan mengalami swabakar sebanyak 53 kali. Studi oleh Hardianti & Billi (2018), menunjukkan bahwa tumpukan batubara dengan tinggi melebihi 8 meter dan tidak dipadatkan secara optimal lebih rentan mengalami kenaikan temperatur akibat paparan udara dan angin. Hal serupa juga diungkapkan oleh Mulyana (2005), bahwa sistem penimbunan dan arah angin dominan dapat mempercepat laju oksidasi batubara jika tidak diatur dengan tepat.

Selain itu, penelitian oleh Filah, Ibrahim, dan Ningsih (2016) menekankan bahwa lamanya umur timbunan memberikan waktu akumulasi panas yang lebih besar pada batubara, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko pembakaran spontan. Batubara jenis sub-bituminus dan lignit, yang memiliki kadar volatile matter tinggi, memiliki kerentanan lebih

besar terhadap self-heating dibandingkan jenis lainnya. Oleh karena itu, pengawasan terhadap durasi penimbunan dan pengukuran temperatur secara berkala menjadi langkah penting dalam mitigasi risiko swabakar.

Studi lain oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa dimensi timbunan batubara yang tidak sesuai standar teknis cenderung menciptakan kondisi termal yang tidak stabil. Timbunan yang terlalu tinggi dan curam memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga memperbesar area kontak dengan udara, mempercepat oksidasi, dan memicu kenaikan temperatur. Jika ditinjau lebih lanjut, tekanan beban pada bagian bawah timbunan yang tinggi juga berkontribusi dalam mempercepat akumulasi panas akibat kompresi material.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis hubungan antara temperatur, lama timbunan, dan dimensi fisik timbunan terhadap potensi terjadinya swabakar, menggunakan pendekatan kuantitatif dan studi kasus di ROM PT Triaryani, Sumatera Selatan. Pengamatan dilakukan melalui pengukuran langsung temperatur di lapangan, perhitungan dimensi aktual timbunan, serta analisis regresi linier untuk mengevaluasi keterkaitan antar variabel. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diidentifikasi pola-pola yang berkontribusi terhadap terjadinya swabakar dan disusun rekomendasi teknis yang aplikatif dalam manajemen stockpile batubara.

Kontribusi dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman ilmiah yang lebih mendalam terkait faktor-faktor penyebab swabakar secara kuantitatif, serta menjadi acuan teknis dalam pengendalian risiko pembakaran spontan di ROM batubara. Selain itu, hasil penelitian ini juga memberikan nilai tambah dalam pengembangan kebijakan teknis penimbunan batubara yang efisien dan aman, sehingga mendukung keberlanjutan operasional tambang dan keselamatan kerja. Dibandingkan penelitian terdahulu, kajian ini menawarkan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan variabel temperatur, durasi timbunan, dan dimensi geometrik secara simultan sebagai faktor prediktor swabakar di area penimbunan batubara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti. Metode yang digunakan adalah regresi linier sederhana untuk melihat pengaruh temperatur, lama penimbunan, dan dimensi timbunan terhadap potensi terjadinya swabakar. Selain itu, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi timbunan batubara secara umum di lapangan dan mengevaluasi dimensi timbunan aktual apakah sudah sesuai teknis standar timbunan batubara ideal. Seluruh tahapan penelitian disusun secara sistematis, mulai dari pengumpulan data, pengolahan, hingga penarikan kesimpulan agar hasil yang diperoleh dapat dipercaya dan bermanfaat. Tahap penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Bagan Alir

Berdasarkan bagan alir di atas setelah pengumpulan data dilakukan pengolahan data, berikut langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data :

1. Temperatur batubara

Temperatur batubara merupakan salah satu indikator utama dalam mendeteksi potensi *self-heating*. Pengukuran dilakukan pada 10 titik dengan menggunakan alat infrared thermometer Fluke 62 MAX. Data temperatur yang diperoleh kemudian dihitung rata-ratanya dan dianalisis pola tren perubahannya.

a. Nilai rata-rata

Nilai temperatur rata-rata dihitung menggunakan rumus statistik (Siahaan, Alam, & Mutia, 2017), dasar sebagai berikut (Persamaan 1):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = rata-rata temperatur batubara

x_i = nilai temperatur ke- i

n = jumlah data temperatur

b. Standard deviation

Standard deviation atau simpangan baku digunakan untuk melihat sebaran data terhadap rata-rata. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Persamaan 2) (Siahaan, Alam, & Mutia, 2017):

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Keterangan:

Sd adalah simpangan baku (*standard deviation*)

c. Koefisien Varian

Koefisien varian digunakan untuk melihat keragaman data temperatur terhadap rata-ratanya. Rumus perhitungan sebagai berikut (Persamaan 3) (Siahaan, Alam, & Mutia, 2017):

$$Cv = \frac{Sd}{x} \quad (3)$$

Keterangan:

Cv adalah nilai koefisien varian

- d. Analisis pola tren perubahan temperatur setiap harinya untuk melihat kenaikan dan penurunan temperatur, kemudian klasifikasikan, untuk mempermudah pengambilan keputusan dalam upaya pencegahan swabakar, temperatur dianalisis dan diklasifikasikan dalam beberapa kategori zona risiko (Zhang et al, 2022).

2. Lama Timbunan

Lama timbunan batubara merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan temperatur dan risiko swabakar. Untuk mengetahui hubungan tersebut, digunakan analisis regresi linier (Kartiningrum & Basuki, 2022).

- a. Persamaan regresi linier dapat dihitung dengan rumus (Kartiningrum & Basuki, 2022):

$$Y = a + bX \quad (4)$$

Keterangan:

Y = temperatur batubara

b = lama timbunan

a = konstanta

b = koefisien regresi

- b. Estimasi umur timbunan dapat dihitung dengan rumus (Alam, Solihin, & Yunus, 2023):

$$T = (P \times K_s) + S_a \quad (5)$$

Keterangan :

K_s = Kenaikan rata-rata temperatur batubara setiap harinya

S_a = Temperatur awal pembuatan tumpukan

T = Temperatur kritis temperatur kritis batubara mengalami *self heating* (60°)

3. Dimensi Timbunan

Dimensi timbunan meliputi tinggi, panjang, lebar, dan sudut kemiringan. Evaluasi dilakukan untuk menilai kesesuaian dengan standar keamanan dalam pencegahan swabakar.

- a. Volume limas terpancung

Untuk timbunan berbentuk limas terpancung, volume dihitung menggunakan rumus (Arta & Ansosry, 2019):

$$V = \frac{1}{3} \cdot t (L_1 + \sqrt{L_1 \cdot L_2} + L_2) \quad (6)$$

Keterangan :

V = Volume kerucut terpancung (m³)

t = tinggi kerucut terpancung (m)

L₁ = Luas alas (m²)

L₂ = Luas atap (m²)

- b. Analisis regresi sederhana pada arah dan kecepatan angin

Lakukan analisis regresi sederhana pada nilai rata-rata arah dan kecepatan angin di 10 titik lokasi yang sama pada saat pengambilan data temperatur batubara. Untuk mengetahui seberapa berpengaruhnya arah dan kecepatan angin terhadap perubahan temperatur.

- e. Luasan area yang terkena hembusan angin, dapat dihitung dengan rumus (Arta & Ansosry, 2019):

$$L_p = \frac{1}{2} \cdot (a+b) \cdot s \quad (7)$$

Keterangan :

L_p = Luas Permukaan (m^2)

a = Panjang bawah (m)

b = Panjang atas (m)

s = sisi miring (m)

- c. Evaluasi sudut timbunan

Sudut kemiringan dibandingkan dengan nilai *angle of repose* standar (38° untuk batubara). Timbunan dengan sudut terlalu curam meningkatkan risiko oksidasi dan swabakar.

Tabel 1. *Angle Of Repose* Beberapa Material

Material	<i>Angle Of Repose</i>
<i>Clay</i>	30° - 40°
<i>Coal</i>	38°
<i>Graver</i>	38°
<i>Limestone</i>	30° - 40°
Bijih Mangan	39°
Batuan	20° - 29°
Pasir Kering	35°

Sumber: Andri Hermawan, 2001

- d. Estimasi teperatur timbunan rekomendasi, dapat dihitung dengan rumus (Alam, Solihin, & Yunus, 2023):

$$T \text{ baru} = T \text{ lama} \times \left(\frac{\text{Tinggi baru}}{\text{Tinggi lama}} \right)^k \quad (8)$$

Keterangan :

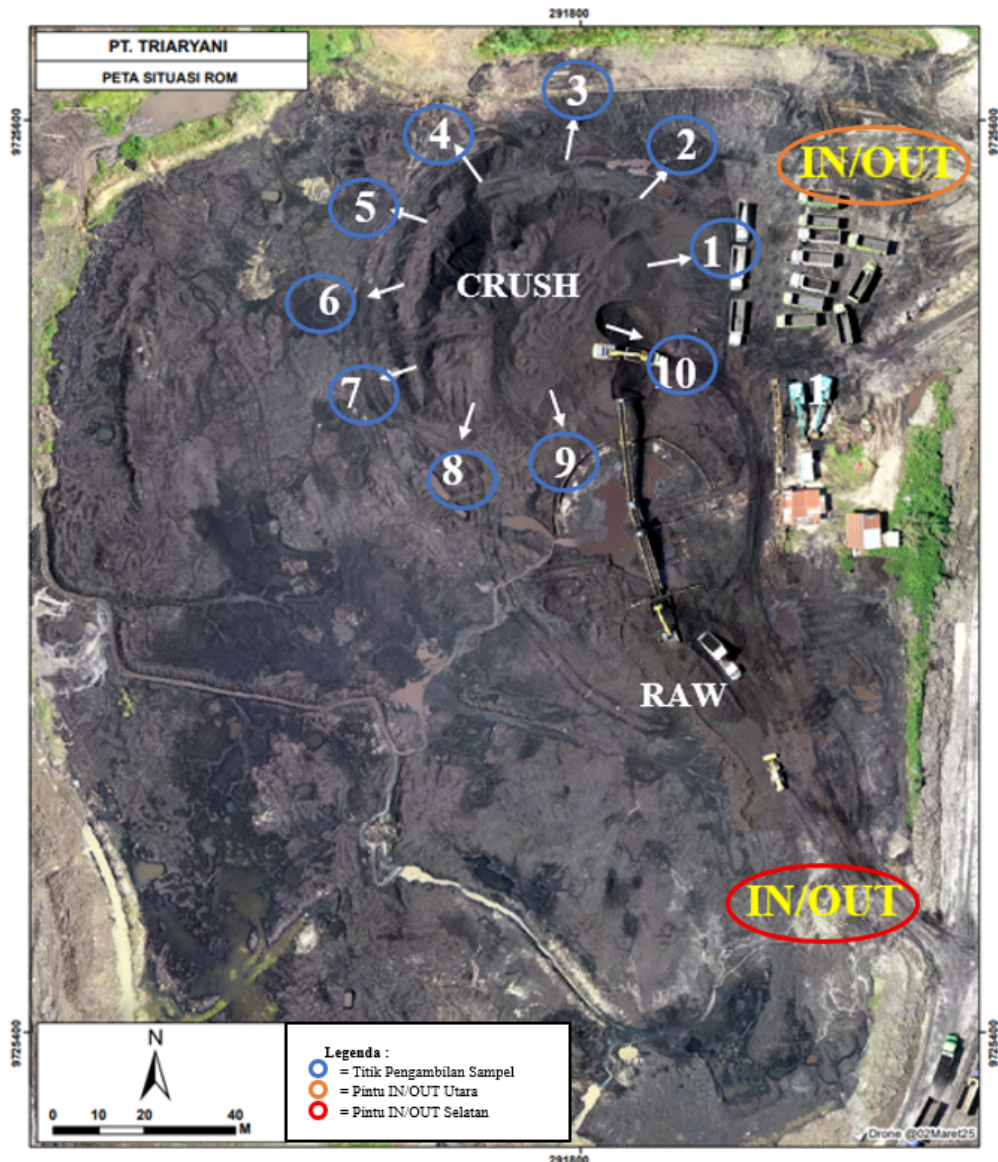
T baru = Temperatur aktual ($^\circ\text{C}$)

k = Nilai empiris

HASIL PENELITIAN

Kondisi Aktual ROM

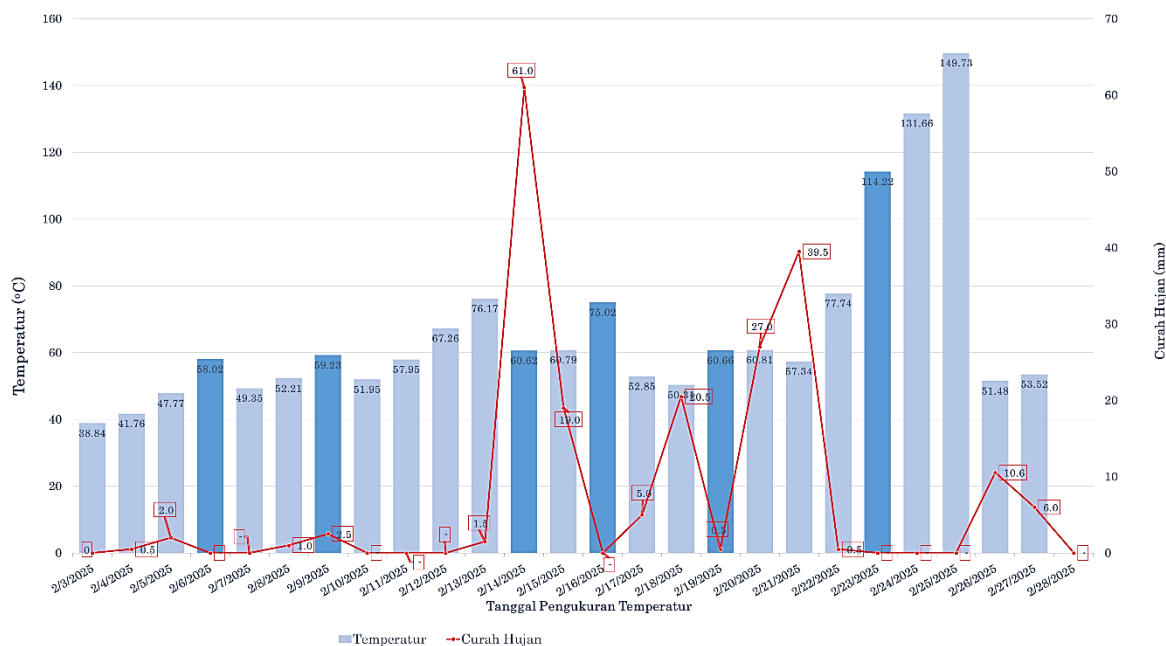
ROM TRA terbagi menjadi dua timbunan yakni pada bagian sisi selatan merupakan bagian timbunan raw batubara yang belum dilakukan *crushing*. Sisi utara merupakan timbunan *crush* batubara yang sudah dilakukan reduksi ukuran batubara sesuai dengan permintaan konsumen. Lantai dasar ROM TRA terdiri atas lapisan tanah yang kemudian ditutupi dengan *bedding coal* atau batubara berkualitas rendah, sehingga bagian paling atas dari dasar ROM merupakan batubara yang telah tertimbun sebelumnya. Ukuran butir batubara pada timbunan hasil *crushing* bervariasi dan tidak seragam, dengan kisaran antara 5 mm hingga 15 cm. Kondisi dan situasi di area ROM TRA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Situasi ROM

Pengukuran Temperatur Batubara

Pengambilan data temperatur dan kecepatan angin dilakukan pada area timbunan *crush* saja, dengan total 10 titik pengukuran. Alat yang digunakan adalah infrared thermometer Fluke 62 MAX. Berdasarkan hasil pengukuran temperatur timbunan batubara yang dilakukan pada siang hari, diperoleh data seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara curah hujan dan temperatur batubara

Hubungan curah hujan dan temperatur pada gambar 3 menunjukkan korelasi negative, terdapat beberapa titik ketika curah hujan meningkat tajam, temperatur batubara cenderung turun yakni salah satunya pada tanggal 11 Februari 2025 dengan temperature 60,62°C. Temperatur tinggi atau tidak setinggi sebelumnya. Sebaliknya, saat curah hujan rendah atau nol, temperatur batubara cenderung meningkat dapat dilihat pada tanggal 25 Februari 2025, tidak terjadi hujan sehingga temperatur mencapai ke 149,73 °C (puncak tertinggi).

Berdasarkan Gambar 3, dapat pola temperatur batubara selama periode pengamatan menunjukkan pola fluktuasi. Awal pengamatan, nilai rata-rata temperatur harian berada di kisaran 47–56°C, yang masih tergolong aman. Namun, setelah 11 Februari 2025, terjadi peningkatan temperatur yang signifikan di beberapa titik, terutama ketika nilai temperatur mulai melampaui ambang 60°C batas awal *self-heating* menurut Gou et al (2023). Proses oksidasi batubara yang terjadi pada fase ini menghasilkan panas yang tidak dapat terlepas secara optimal, sehingga mempercepat akumulasi suhu internal.

Kondisi ini memuncak pada 25 Februari 2025, saat temperatur mencapai 483,9°C, yang mengindikasikan bahwa proses *self-heating* telah berkembang menjadi tahap *self-combution*. Gejala signifikan juga terlihat sejak 22 Februari, dengan lonjakan harian di atas 10°C, sebagai indikasi terjadinya reaksi oksidasi cepat.

Selama satu bulan pengamatan, titik 4, 5, 6, dan 7 tercatat sebagai lokasi dengan kecenderungan *self-heating* tertinggi. Titik 5 mencatat temperatur rata-rata paling tinggi (108,5°C) dan mengalami 17 kali kejadian *self-heating*, dengan temperatur maksimum mencapai 483,9°C. Titik 6 berada di posisi kedua dengan rata-rata 98,8°C dan 17 kejadian, sedangkan titik 7 mencatat rata-rata 88,4°C dengan 14 kejadian.

Menurut Guo et al. (2023), untuk mempermudah pengambilan keputusan dalam upaya pencegahan swabakar, temperatur dianalisis dan diklasifikasikan dalam beberapa kategori zona risiko berikut:

Tabel 2. Klasifikasikan Zona *Self-Heating*

Rata-rata Temperatur (°C)	Kategori Risiko	Penjelasan
< 60°C	Aman	Batubara dalam kondisi stabil. Belum ada indikasi <i>self-heating</i> .

Rata-rata Temperatur (°C)	Kategori Risiko	Penjelasan
60–80°C	Awal <i>Self-Heating</i>	Terjadi reaksi oksidasi ringan, potensi swabakar mulai terjadi.
80–130°C	Zona Waspada	Reaksi oksidasi makin kuat. Harus segera dilakukan treatment.
130–200°C	Risiko Swabakar Ekstrem	Energi panas tertahan, reaksi lanjut sulit dikendalikan.

Sumber : Gou et al. (2023)

Lama Timbunan

Umur timbunan batubara berpengaruh langsung terhadap risiko swabakar. Semakin lama batubara disimpan, semakin besar akumulasi panas akibat terbatasnya sirkulasi udara dalam timbunan. Jika panas tidak terlepas dengan baik, temperatur dapat melampaui ambang kritis dan memicu pembakaran spontan.

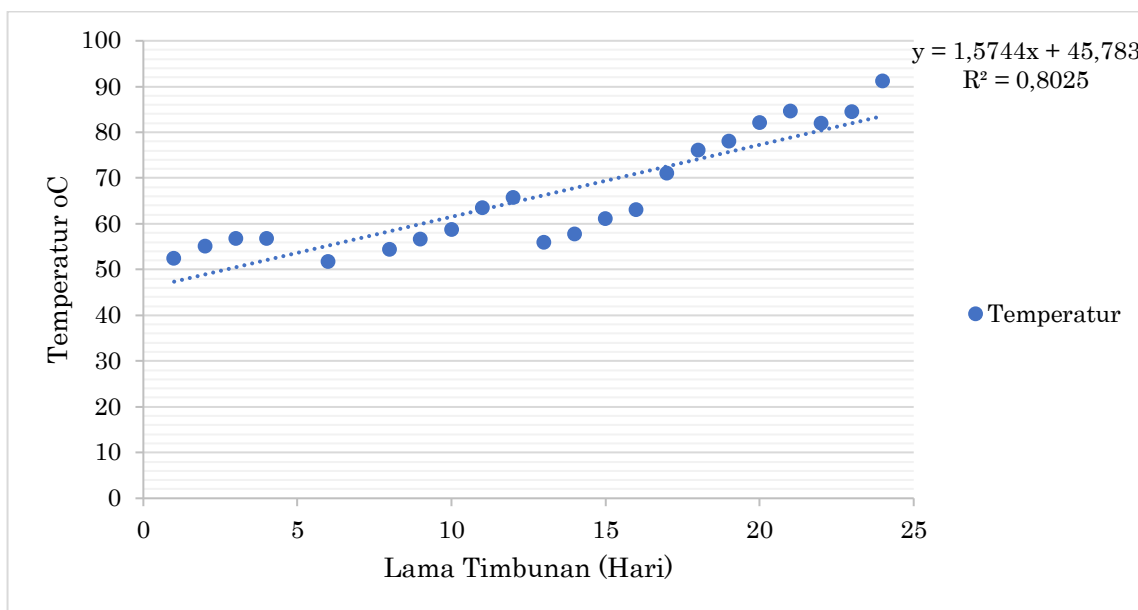
Tabel 3. Data Lama Timbunan

Tanggal	Lama Timbunan X	Temperatur Y
28/12/2024	1	40,75
29/12/2024	2	43,45
30/12/2024	3	45,15
31/12/2024	4	45,15
02/01/2025	6	40,15
04/01/2025	8	42,75
05/01/2025	9	44,95
06/01/2025	10	47,15
07/01/2025	11	51,87
08/01/2025	12	54,15
09/01/2025	13	44,25
10/01/2025	14	46,15
11/01/2025	15	49,55
12/01/2025	16	51,45
13/01/2025	17	59,45
14/01/2025	18	64,45
15/01/2025	19	66,41
16/01/2025	20	70,45
17/01/2025	21	72,93
18/01/2025	22	70,31
19/01/2025	23	72,81
20/01/2025	24	79,53
23/01/2025	27	124,41
24/01/2025	28	193,37
25/01/2025	29	283,71
28/01/2025	32	54,77
29/01/2025	33	54,73

Tanggal	Lama Timbunan X	Temperatur Y
01/02/2025	36	56,05

Menurut Alam dan Solih (2018), waktu terjadinya swabakar dapat diperkirakan dengan mempertimbangkan temperatur dan umur timbunan. Berdasarkan perhitungan yang menggunakan rumus pada persamaan 5, potensi swabakar diprediksi mulai muncul setelah batubara disimpan selama 24 hari

Grafik regresi linier menunjukkan hubungan kuat antara umur timbunan dan temperatur batubara. Semakin lama batubara tertimbun, semakin tinggi suhu yang terbentuk akibat akumulasi panas, sehingga risiko swabakar pun meningkat.



Gambar 4. Nilai Regresi Linier Temperatur vs Lama Timbunan

Berdasarkan Gambar 4, nilai R^2 sebesar 0,8025 menunjukkan bahwa 80,25% perubahan temperatur dipengaruhi oleh lama timbunan. Hal ini menegaskan bahwa semakin lama batubara disimpan, semakin tinggi risiko swabakar.

Dimensi timbunan

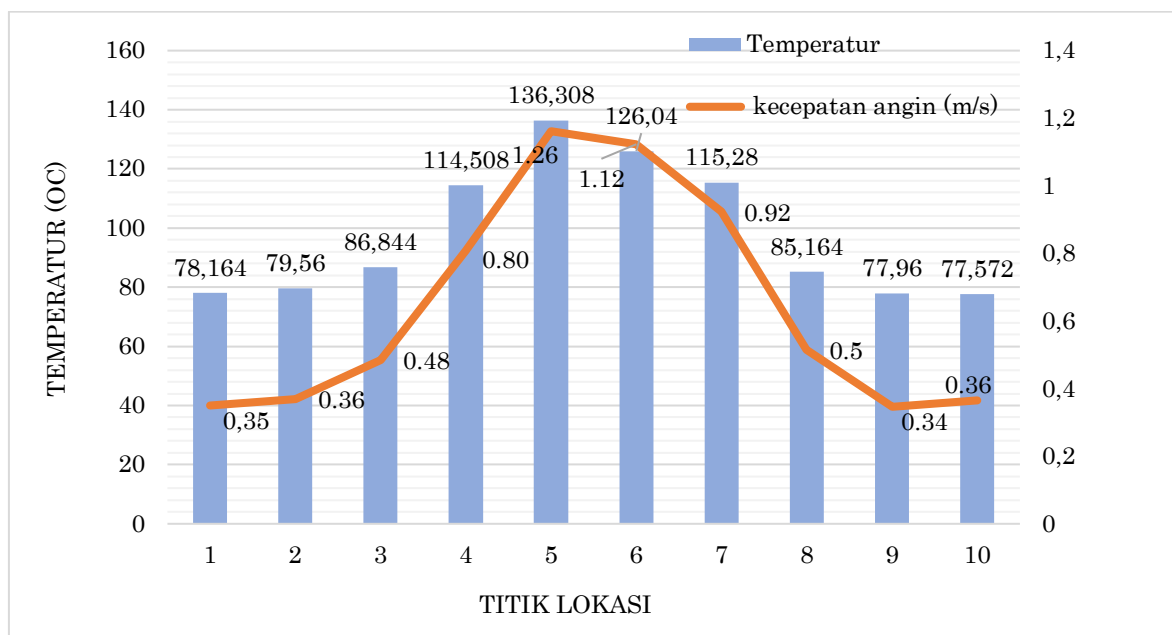
Timbunan *crush* memiliki kapasitas sebesar 66.500 ton dengan bentuk limas terpancung. Sistem penimbunan yang digunakan adalah *chevcon*, sedangkan sistem pembongkarannya menggunakan metode LIFO (*Last In, First Out*), yang menyebabkan batubara yang pertama kali ditimbun justru tertinggal lebih lama di dalam timbunan. Kadar batubara pada timbunan *crush* sebesar sebesar 3.900 kkal/kg.

Tabel 4. Dimensi Aktual Timbunan Crush

No.	Dimensi	Ukuran
1.	Volume timbunan crush	59.423 ton
2.	Tinggi timbunan crush	10 meter
2.	Panjang lantai bawah	88 meter
3.	Lebar lantai bawah	76 meter
4.	Panjang lantai atas	81 meter
5.	Lebar lantai atas	72 meter
6.	Sudut	43°
7.	Luasan area ROM	5 hektare
8.	Density timbunan crush	0,95

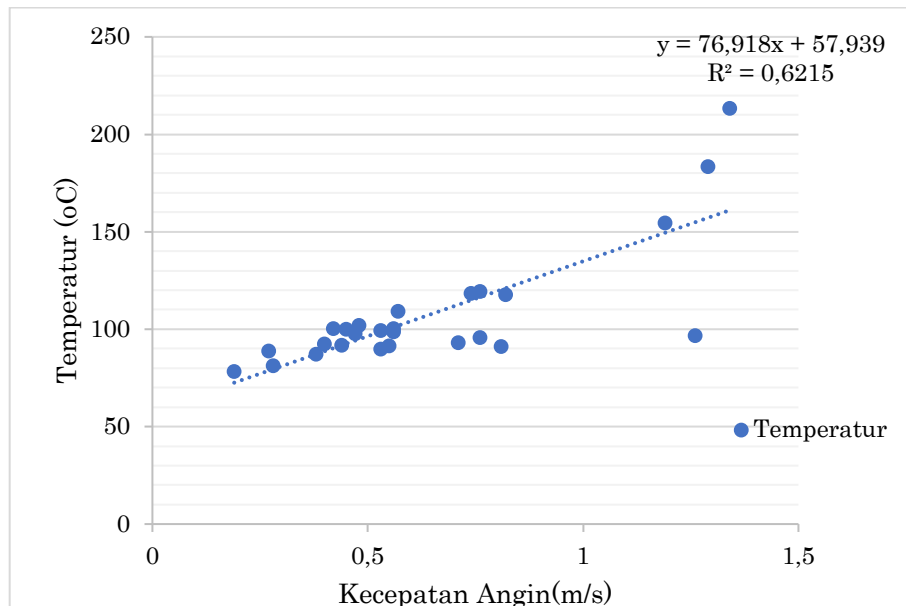
Berdasarkan data Tabel 4, timbunan ROM hanya mampu menampung 59.423 ton, lebih kecil dari kapasitas rencana sebesar 66.550 ton. Hal ini menunjukkan bahwa desain timbunan belum optimal dari sisi volume. Geometri timbunan juga tidak sesuai standar teknis, terutama pada sudut kemiringan yang mencapai 43°, melebihi batas ideal 35°–38° (Hermawan, 2001). Sudut yang terlalu curam menyebabkan timbunan menjadi tinggi dan tidak stabil, serta sulit dipadatkan merata, sehingga udara lebih mudah masuk dan mempercepat oksidasi. Tinggi timbunan yang mencapai 10 meter juga membuat panas terperangkap di bagian dalam, menyebabkan peningkatan temperatur. Akibatnya, temperatur rata-rata tercatat sebesar 72,4°C dengan maksimum hingga 173,89°C, yang menunjukkan tingginya risiko swabakar.

Arah dan Kecepatan Angin



Gambar 5. Nilai Rata-rata Temperatur dengan Arah dan Kecepatan Angin

Hasil observasi di area ROM TRA menunjukkan arah angin dominan dari barat ke timur. Kecepatan angin tertinggi tercatat pada titik 4, 5, 6, dan 7 yang terletak di sisi barat timbunan, area yang langsung terpapar angin. Kondisi ini menyebabkan peningkatan temperatur lebih cepat dan memperbesar potensi penyebaran swabakar di sekitarnya.

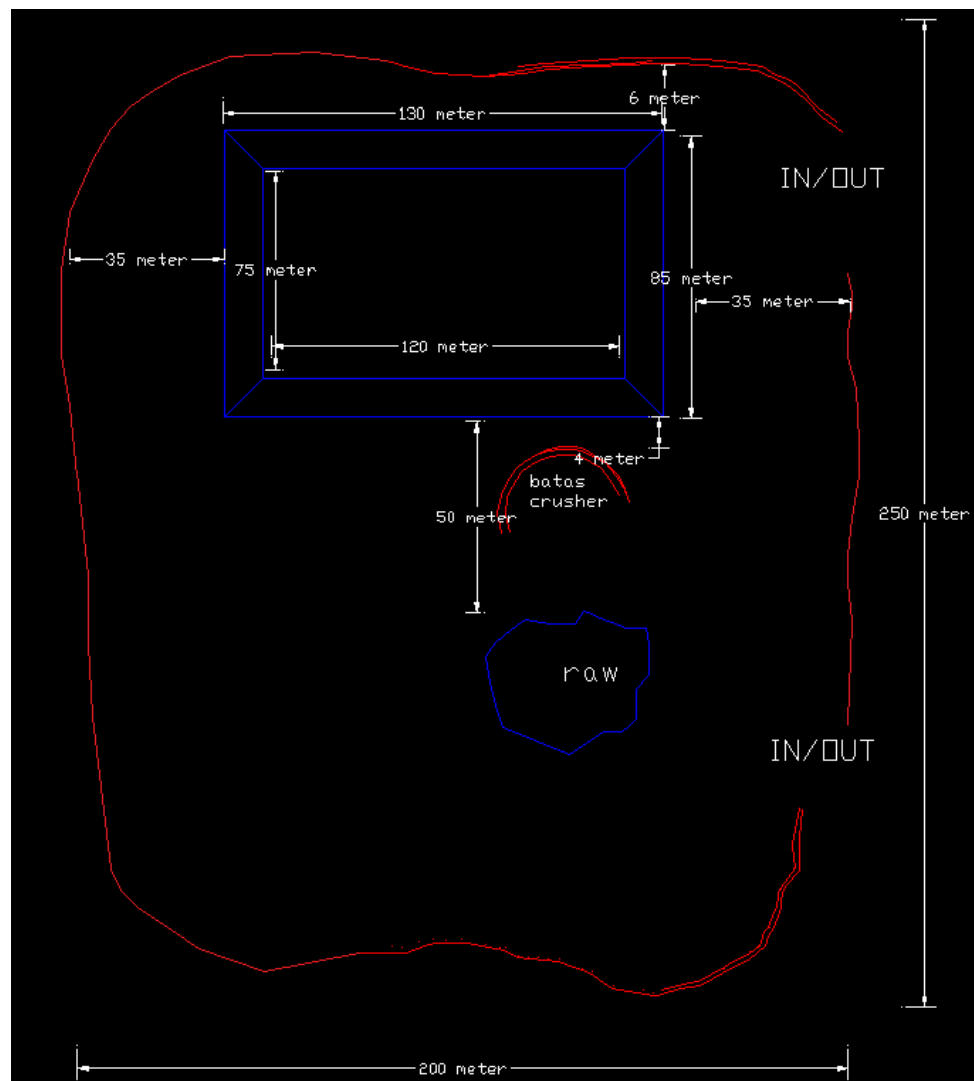


Gambar 6. Nilai Regresi Linier Temperatur vs Kecepatan Angin

Analisis regresi linier menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,6215, yang berarti 62,15% perubahan temperatur dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin. Luasnya sisi timbunan yang terpapar angin memperbesar masuknya oksigen ke dalam pori batubara, mempercepat oksidasi, dan menyebabkan akumulasi panas yang dapat memicu swabakar.

Rekomendasi:

1. Dimensi timbunan
Desain timbunan berbentuk limas terpancung setinggi 7 meter dengan sudut 35° , volume ± 66.549 ton. Penurunan tinggi 30% dan peningkatan volume 12% memperbaiki sirkulasi panas, menurunkan temperatur rata-rata menjadi $55\text{--}59^\circ\text{C}$ dan maksimum $138\text{--}147^\circ\text{C}$, sehingga mengurangi risiko *self heating*.
2. Arah penimbunan
Penimbunan dilakukan memanjang searah angin (Barat–Timur) agar paparan angin lebih kecil. Desain ini memungkinkan kapasitas ± 66.500 ton dengan luas permukaan terpapar hanya $624,8\text{ m}^2$.
3. Monitoring temperatur batubara
Pengukuran dilakukan dua kali sehari dengan thermogun. Jika suhu $>60^\circ\text{C}$, dilakukan pemadatan atau pembongkaran. Prosedur ini murah, efektif, dan layak masuk SOP.
4. Sistem FIFO
Sistem FIFO perlu diterapkan agar batubara tidak tertimbun terlalu lama di bagian bawah, sehingga risiko akumulasi panas dan swabakar dapat ditekan.

**Gambar 7.** Dimensi Rekomendaasi

KESIMPULAN

Kenaikan temperatur harian $>10^{\circ}\text{C}$ dan suhu $>60^{\circ}\text{C}$ terbukti menjadi indikator awal *self-heating*, dengan suhu kritis mencapai $483,9^{\circ}\text{C}$ pada timbunan tinggi 10 m dan sudut 43° . Analisis regresi menunjukkan $R^2 = 80,25\%$, menandakan kuatnya pengaruh umur timbunan terhadap temperatur. Desain ulang timbunan setinggi 7 m dan sudut 35° dengan volume ± 66.549 ton menurunkan temperatur rata-rata dari 69°C menjadi $55\text{--}59^{\circ}\text{C}$, dan maksimum dari 174°C menjadi $138\text{--}147^{\circ}\text{C}$. Pencegahan efektif dilakukan melalui pemantauan rutin dan sistem FIFO.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Triaryani atas kesempatan, dukungan, dan pendampingan yang diberikan selama kegiatan pengambilan data berlangsung.

PUSTAKA

- Alam, F. K., Solihin, & Y. A. (2023). Manajemen Stockpile Untuk Mencegah Terjadinya Self-Combustion di PLTU Banten 2 Labuhan OMU. *Bandung Conference Series: Mining Engineering*, Vol. 3 No. 2.
- Alparesi, H, Jarwinda dkk (2024). Analisis Neraca Air Untuk Tambang Terbuka Pit 1 Site Banko Barat PT Bukit Asam Tbk. *Jurnal Geomine*, Volume 12 Nomor 3, 204-216.
- Arta, & Ansosry. (2019). Rancangan Teknis Stockpile 2 Di Pt Bukit Asam Tbk, Unit Pelabuhan Tarahan-Lampung. *Bina Tambang*. *Bina Tambang*, Pp.266-275.
- Filah, M. N., E. I., & Ningsih, Y. B. (2016). Analysis Of Factor For Spontaneous Combustion and The Effect Of The Quality For Coal In Area Pile Seam 100/200 In Stockpile Kelok S PT. Kuansing Inti Makmur. *Jurnal Pertambangan UNSRI*, Vol. 1, No. 1.
- Gou et al. (2023). Meticulous Graded and Early Warning System of Coal Spontaneous Combustion. *ACS Omega*, 8,6801-6812.
- Hardianti, & Billi. (2018). Pengaruh Temperatur, Lama Timbunan, dan Dimensi Timbunan Terhadap Terjadinya Swabakar. *Jurnal Teknik Patra Akademik*, Volume 09,NO. 02.
- Hermawan, A. (2001). *Pengenalan Umum Batubara*. Bandung: Sucifida.
- Kartiningrum, & Basuki. (2022). Aplikasi Regresi Dan Korelasi Dalam Analisis Data Hasil Penelitian. *Mojoanyar Mojokerto: STIKes Majapahit Mojokerto*.
- Mulyana. (2005). *Kualitas Batubara dan Stockpile Management*. Yogyakarta: PT Geoservices,LTD.
- Siahaan, Alam, & Mutia. (2017). Studi Kasus PT Bara Energi Lestari di Kabupaten Nagan Raya, Aceh Evaluasi Teknis Sistem Penyaliran Tambang. *Science Student Of Earth Sciences*, 1(1),30-37.
- ZHang et al. (2022). A review on numerical solutions to self-heating of coal stockpile. *ACS OMEGA*, 182, 80–109.