

TESIS

MODEL KERUGIAN FINANSIAL KEHILANGAN BATUBARA AKIBAT SWABAKAR DI *STOCKPILE* 1, TAMBANG AIR LAYA, PT BUKIT ASAM TBK



**ANDRYANTO
03042682226014**

**BKU TEKNOLOGI BATUBARA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

TESIS

MODEL KERUGIAN FINANSIAL KEHILANGAN BATUBARA AKIBAT SWABAKAR DI *STOCKPILE* 1, TAMBANG AIR LAYA, PT BUKIT ASAM TBK

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas TekniK
Universitas Sriwijaya**



**ANDRYANTO
03042682226014**

**BKU TEKNOLOGI BATUBARA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

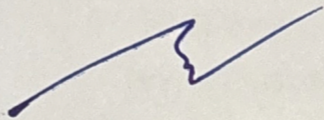
HALAMAN PENGESAHAN

MODEL KERUGIAN FINANSIAL KEHILANGAN BATUBARA AKIBAT SWABAKAR DI *STOCKPILE* 1, TAMBANG AIR LAYA, PT BUKIT ASAM TBK

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juli 2025
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001

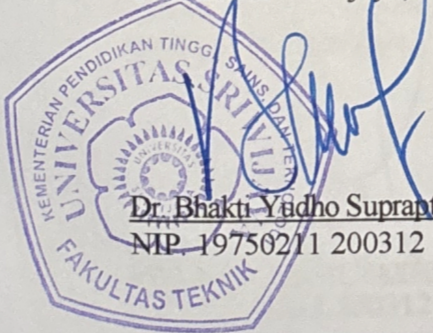
Pembimbing II



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 19801031 200501 1003

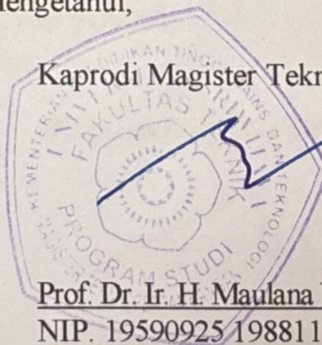
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,
Universitas Sriwijaya,



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 19750211 200312 1002

Kaprodi Magister Teknik Pertambangan



Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Juli 2025.

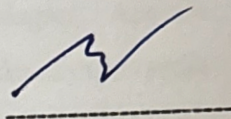
Palembang, 15 Juli 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua:

1. Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.

NIP. 19590925 198811 1001



Anggota:

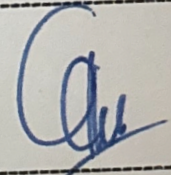
1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 19801031 200501 1003



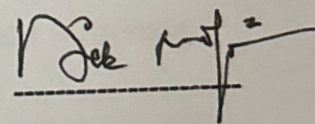
2. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU.,
ASEAN. Eng., APEC. Eng.

NIP. 19621122 199102 1001



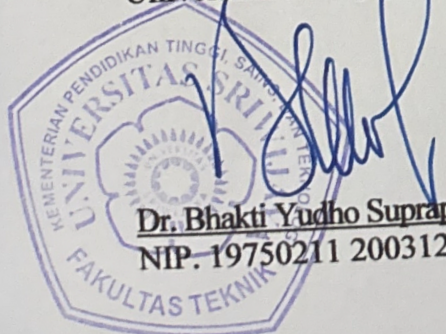
3. Prof. Dr. H. Didik Susetyo, S.E., M.Si.

NIP. 19600710 198703 1003



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik,
Universitas Sriwijaya,



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 19750211 200312 1002

Kaprodi Magister Teknik Pertambangan



Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001

Palembang, 16 Juni 2025

Kepada Yth.,
Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan
Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Perihal: Permohonan untuk Mengikuti Ujian Tesis

Dengan hormat,

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Andryanto

NIM : 03042682226014

Bidang Kajian Utama : Teknologi Batubara

Judul Tesis : Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di
Stockpile 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk

Mengajukan permohonan untuk melaksanakan Ujian Tesis. Sesuai dengan persetujuan dari dosen pembimbing terlampir.

Atas perhatian Koordinator Program Studi saya ucapkan terima kasih.



Hormat saya,



Andryanto

NIM. 03042682226014

RINGKASAN

MODEL KERUGIAN FINANSIAL KEHILANGAN BATUBARA AKIBAT SWABAKAR DI *STOCKPILE* 1, TAMBANG AIR LAYA, PT BUKIT ASAM TBK

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 15 Juli 2025

Andryanto, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T. dan Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

Financial Loss Modeling of Coal Degradation Due to Spontaneous Combustion in Stockpile 1, Air Laya Mine, PT Bukit Asam Tbk

xvii + 60 Halaman, 19 Tabel, 21 Gambar, 8 Lampiran

RINGKASAN

Swabakar batubara adalah fenomena pembakaran spontan yang diakibatkan oleh reaksi oksidasi eksotermik antara batubara dan oksigen di udara. Proses ini, yang terjadi selama penyimpanan dalam jumlah besar di stockpile, tidak hanya menyebabkan kenaikan suhu internal hingga titik nyala, tetapi juga mengakibatkan kehilangan material dan kerugian ekonomi yang signifikan dalam industri pertambangan. PT Bukit Asam Tbk, sebagai salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia, menghadapi tantangan serius dari swabakar di Stockpile 1 Tambang Air Laya, yang berpotensi menurunkan efisiensi produksi dan meningkatkan biaya operasional. Literatur sebelumnya masih memiliki kesenjangan, khususnya dalam analisis kerugian finansial yang empiris dan mempertimbangkan variasi jenis batubara. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menyusun model estimasi kerugian finansial yang berbasis empiris, akibat kehilangan batubara yang terbakar secara spontan di Stockpile 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk. Model ini secara unik mengintegrasikan data suhu maksimum dan kehilangan massa aktual dari simulasi laboratorium. Metode simulasi laboratorium dilakukan terhadap empat jenis batubara lokal yang umum ditemukan di tambang tersebut, yaitu dengan nilai kalor ± 4.200 , ± 4.900 , ± 5.300 , dan ± 7.100 kkal/kg. Pemantauan temperatur permukaan menggunakan termometer inframerah dan pengukuran massa dilakukan selama 6 jam (360 menit) pada interval 30 menit, untuk melihat tren perubahan suhu dan penurunan massa secara bertahap. Pendekatan ini memungkinkan konversi data termal dan massa menjadi estimasi kerugian finansial menggunakan Harga Batubara Acuan (HBA) terkini. Hasil penelitian secara komprehensif menunjukkan bahwa durasi swabakar berbanding lurus dengan kenaikan temperatur dan penurunan massa batubara. Batubara kalor rendah (± 4.200 kkal) menunjukkan reaktivitas yang paling tinggi terhadap oksidasi spontan, mencapai suhu maksimum hingga 725°C pada menit ke-90 simulasi dan mengalami kehilangan massa yang signifikan mencapai 90,12% dalam 360 menit. Sebaliknya, batubara kalor tinggi (± 7.100 kkal) menunjukkan kestabilan termal yang lebih baik, dengan kenaikan suhu yang lebih lambat dan kehilangan massa yang lebih rendah (71,82%). Model

regresi linier yang dikembangkan secara signifikan mengaitkan durasi swabakar dengan kenaikan suhu dan penurunan massa, dan digunakan untuk memperkirakan kerugian finansial. Sebagai contoh, estimasi kerugian finansial untuk batubara 5.300 kkal pada suhu maksimum 650°C adalah USD 69,05/ton, dengan potensi kerugian mencapai ±USD 172.000 jika hanya 1% dari kapasitas stockpile 1 mengalami swabakar. Model ini dapat digunakan sebagai alat prediktif yang esensial dalam sistem pemantauan suhu berbasis sensor di stockpile, memungkinkan deteksi dini potensi swabakar dan respons yang cepat. Selain itu, penelitian ini mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih tepat dalam manajemen risiko swabakar, termasuk implementasi strategi mitigasi yang efektif. Penelitian ini juga memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi penyusunan kebijakan penyimpanan batubara yang lebih adaptif dan efisien, serta menyarankan pentingnya analisis karakteristik batubara secara berkala melalui uji proksimat dan ultimat sebagai langkah preventif yang krusial untuk menyesuaikan strategi penyimpanan berdasarkan tingkat kerentanannya.

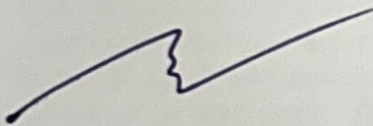
Kata Kunci: swabakar batubara; kerugian ekonomi; simulasi laboratorium; model regresi; karakteristik batubara

Kepustakaan: 24 (2014-2025)

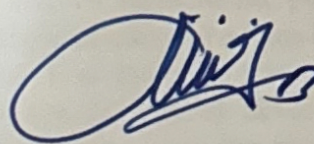
Palembang, 15 Juli 2025

Menyetujui,
Pembimbing I

Pembimbing II

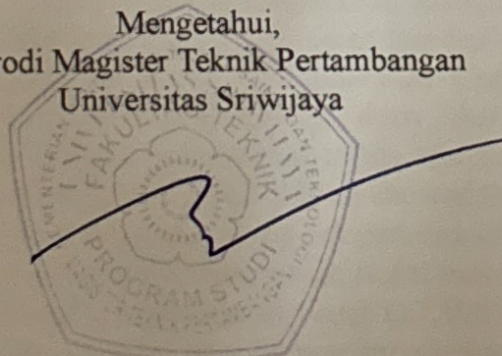


Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 19801031 200501 1003

Mengetahui,
Kaprosdi Magister Teknik Pertambangan
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001

SUMMARY

FINANCIAL LOSS MODELING OF COAL DEGRADATION DUE TO SPONTANEOUS COMBUSTION IN STOCKPILE 1, AIR LAYA MINE, PT BUKIT ASAM TBK

Scientific paper in the form of Tesis, July 2025

Andryanto, Supervised by Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T. and Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di Stockpile 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk

xvii + 60 Pages, 19 Tables, 21 Pictures, 8 Appendix

SUMMARY

Coal spontaneous combustion is a phenomenon of spontaneous combustion resulting from an exothermic oxidation reaction between coal and oxygen in the air. This process, which occurs during large-scale storage in stockpiles, not only causes an increase in internal temperature to the ignition point but also leads to significant material loss and economic damage in the mining industry. PT Bukit Asam Tbk, as one of the largest coal mining companies in Indonesia, faces serious challenges from spontaneous combustion at Stockpile 1 in the Air Laya Mine, potentially reducing production efficiency and increasing operational costs. Previous literature still has gaps, particularly in empirical financial loss analysis that considers variations in coal types. This research aims to bridge this gap by developing an empirically based financial loss estimation model resulting from the spontaneous combustion of coal at Stockpile 1, Air Laya Mine, PT Bukit Asam Tbk. This model uniquely integrates maximum temperature data and actual mass loss from laboratory simulations. Laboratory simulations were conducted on four types of local coal commonly found in the mine, with calorific values of $\pm 4,200$, $\pm 4,900$, $\pm 5,300$, and $\pm 7,100$ kcal/kg. Surface temperature monitoring using an infrared thermometer and mass measurements were performed over 6 hours (360 minutes) at 30-minute intervals, to observe trends in temperature change and gradual mass reduction. This approach allows for the conversion of thermal and mass data into financial loss estimates using the latest government-set Coal Reference Price (HBA). The research results comprehensively show that the duration of spontaneous combustion is directly proportional to the temperature increase and coal mass reduction. Low-calorific coal ($\pm 4,200$ kcal) showed the highest reactivity to spontaneous oxidation, reaching a maximum temperature of up to 725°C at 90 minutes into the simulation and experiencing a significant mass loss of up to 90.12% within 360 minutes. Conversely, high-calorific coal ($\pm 7,100$ kcal) demonstrated better thermal stability, with a slower temperature increase and lower mass loss (71.82%). The developed linear regression model significantly correlates spontaneous combustion duration with temperature increase and mass reduction, and is used to estimate financial losses. For example, the estimated financial loss

for 5,300 kcal coal at a maximum temperature of 650°C is USD 69.05/ton, with a potential loss of ±USD 172,000 if only 1% of stockpile 1's capacity experiences spontaneous combustion. This model can be used as an essential predictive tool in sensor-based temperature monitoring systems in stockpiles, enabling early detection of potential spontaneous combustion and rapid response. Furthermore, this research supports more accurate operational decision-making in spontaneous combustion risk management, including the implementation of effective mitigation strategies. The study also provides a strong scientific basis for developing more adaptive and efficient coal storage policies, and suggests the importance of regular coal characterization through proximate and ultimate analysis as a crucial preventive measure to adjust storage strategies based on their susceptibility."

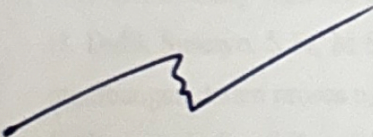
Keywords: coal spontaneous combustion, economic loss, laboratory simulation, regression model, coal characteristics

Citations: 24 (2014-2025)

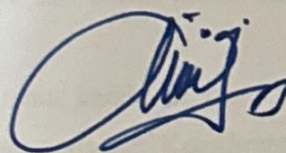
Palembang, 15 Juli 2025

Menyetujui,
Pembimbing I

Pembimbing II

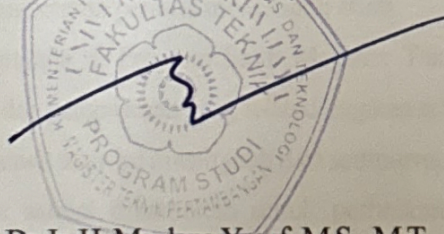


Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 19801031 200501 1003

Mengetahui,
Kaprodi Magister Teknik Pertambangan
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T.
NIP. 19590925 198811 1001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga tesis dengan judul "Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk " dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister di Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penulisan tesis ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. Dr. Ir. H. Maulana Yusuf, M.S., M.T., selaku dosen pembimbing pertama dan Koordinator Program Studi Magister Teknik Pertambangan yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan tesis ini.
2. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan tesis ini.
3. Prof. Dr. Ir. Eddy Ibrahim, M.S., CP., IPU., ASEAN. Eng., APEC. Eng. dan Prof. Dr. H. Didik Susetyo, S.E., M.Si. selaku Tim Penguji, atas waktu, kritik, dan saran yang membangun dalam proses ujian tesis ini.
4. Catherinita Halim S.T., selaku istri penulis, atas cinta, kesabaran, doa, dan dukungan moril yang tiada henti selama proses penyusunan tesis ini. Kehadirannya menjadi sumber semangat dan ketenangan selama proses penyusunan tesis ini.
5. Rizal Aufjana Bahtiar, selaku asisten selama penelitian, atas bantuannya dalam proses pengambilan data yang sangat mendukung kelancaran proses penelitian tesis ini.
6. Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si., selaku Rektor Universitas Sriwijaya, atas kesempatan dan dukungan yang diberikan selama penulis menempuh studi.
7. Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama penulis menempuh studi.
8. Seluruh dosen dan staf pengajar di Program Studi Magister Teknik Pertambangan dan Fakultas Teknik, atas ilmu dan pengalaman yang telah dibagikan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tesis ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang terkait.

Palembang, Juli 2025

Andryanto

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis.....	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Swabakar Batubara (<i>Coal Spontaneous Combustion</i>)	5
2.1.1. Proses Swabakar Batubara	6
2.1.2. Kerugian Finansial Akibat Swabakar Batubara	7
2.1.3. Kebijakan dan Regulasi Swabakar Batubara	7
2.2. Analisis Ultimat dan Proksimat Batubara	8
2.2.1. Hubungan Parameter Analisis Ultimat dengan Swabakar Batubara.....	9
2.2.2. Hubungan Parameter Analisis Proksimat dengan Swabakar Batubara...	9
2.3. Kajian Finansial Kehilangan Batubara.....	10

2.3.1. Konsep Kerugian Finansial.....	10
2.3.2. Metode Penilaian Kerugian.....	11
2.4. <i>State of the Art</i>	13
 BAB III METODE PENELITIAN.....	 15
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2. Jenis Penelitian.....	17
3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	18
3.3.1. Bahan Penelitian	18
3.3.2. Peralatan Penelitian.....	18
3.4. Rancangan Penelitian	20
3.4.1. Variabel dan Matriks Penelitian.....	20
3.4.2. Tahapan atau Prosedur Penelitian	23
3.4.3. Diagram Alir Penelitian	26
3.5. Metode Pengolahan dan Analisis Data	27
3.5.1. Pengolahan Data	27
3.5.2. Analisis Data	27
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 29
4.1 Analisis Pengaruh Durasi Swabakar Terhadap Kenaikan Temperatur Batubara.....	 29
4.1.1 Temperatur Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal	30
4.1.2 Temperatur Swabakar Batubara Kalori ± 4.900 kkal	32
4.1.3 Temperatur Swabakar Batubara Kalori ± 5.300 kkal	34
4.1.4 Temperatur Swabakar Batubara Kalori ± 7.100 kkal	36
4.2 Analisis Pengaruh Durasi Swabakar Terhadap Penurunan Massa Batubara	 38
4.2.1 Penurunan Massa Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal.....	39
4.2.2 Penurunan Massa Swabakar Batubara Kalori ± 4.900 kkal.....	40
4.2.3 Penurunan Massa Swabakar Batubara Kalori ± 5.300 kkal.....	41
4.2.4 Penurunan Massa Swabakar Batubara Kalori ± 7.100 kkal.....	42

4.3 Analisis Pengaruh Tingkat Kerentanan Swabakar Terhadap Karakteristik Batubara	43
4.3.1 Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara	43
4.3.2 Kalori dan Karakteristik Proksimat Harga Batubara Acuan (HBA)	45
4.3.3 Hubungan Temperatur Swabakar, Penurunan Massa, dan Analisis Proksimat - Ultimat Batubara	46
4.4 Analisis Model Estimasi Kerugian Finansial Akibat Hilangnya Batubara Karena Swabakar	51
4.4.1 Aplikasi Model dan Simulasi	56
4.4.2 Implikasi Hasil Penelitian	56
4.4.2.1 Implikasi Teknis	57
4.4.2.2 Implikasi Finansial	58
BAB V KESIMPULAN	59
5.1. Kesimpulan	59
5.2. Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel dan Data65
Lampiran B	Bahan dan Peralatan Penelitian66
Lampiran C	Analisis Regresi Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal.....68
Lampiran D	Analisis Regresi Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal.....69
Lampiran E	Analisis Regresi Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal.....70
Lampiran F	Analisis Regresi Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori ± 4.200 kkal.....71
Lampiran G	Analisis Regresi Temperatur Maksimum dan Persentase Penurunan Massa72
Lampiran H	Harga Batubara Acuan Januari 2025 - Juni 202573

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1	Matriks Penelitian21
Tabel 4.1	Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal30
Tabel 4.2	Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal32
Tabel 4.3	Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal34
Tabel 4.4	Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal36
Tabel 4.5	Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal39
Tabel 4.6	Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal40
Tabel 4.7	Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal41
Tabel 4.8	Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal42
Tabel 4.9	Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal43
Tabel 4.10	Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal44
Tabel 4.11	Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal44
Tabel 4.12	Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal44
Tabel 4.13	Persentase Kehilangan Batubara Akibat Swabakar46
Tabel 4.14	Harga Batubara Acuan Kementerian ESDM52
Tabel 4.15	Estimasi Harga Batubara52
Tabel 4.16	Estimasi Kerugian Finansial53

Tabel 4.17	Temperatur Maksimum Swabakar dan Persentase Kehilangan Massa Berdasarkan Jenis Batubara	54
Tabel 4.18	Simulasi Penggunaan Model Finansial Kerugian Akibat Swabakar.....	56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Swabakar di Tambang Air Laya	5
Gambar 2.2 <i>State of the Art</i>	14
Gambar 3.1 Peta Kesampaian Daerah Palembang - Tanjung Enim	15
Gambar 3.2 Stockpile 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk	17
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 4.1 Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal	30
Gambar 4.2 Model Linier Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal	31
Gambar 4.3 Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal	32
Gambar 4.4 Model Linier Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal	33
Gambar 4.5 Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal	34
Gambar 4.6 Model Linier Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal	35
Gambar 4.7 Hubungan Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal	36
Gambar 4.8 Model Linier Temperatur dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal	37
Gambar 4.9 Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.200 kkal	39
Gambar 4.10 Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 4.900 kkal	40
Gambar 4.11 Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 5.300 kkal	41
Gambar 4.12 Hubungan Penurunan Massa dan Durasi Swabakar Batubara Kalori $\pm$ 7.100 kkal	42

Gambar 4.13	Hubungan Temperatur Swabakar dan Penurunan Massa Batubara Kalori ± 4.200 kkal	47
Gambar 4.14	Hubungan Temperatur Swabakar dan Penurunan Massa Batubara Kalori ± 4.900 kkal	48
Gambar 4.15	Hubungan Temperatur Swabakar dan Penurunan Massa Batubara Kalori ± 5.300 kkal	49
Gambar 4.16	Hubungan Temperatur Swabakar dan Penurunan Massa Batubara Kalori ± 7.100 kkal	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu sumber energi utama yang mendukung berbagai industri, termasuk pembangkit listrik, manufaktur, dan industri baja. Namun, dalam proses penambangan hingga penyimpanan, batubara menghadapi berbagai tantangan, salah satunya adalah fenomena swabakar yang dapat menyebabkan kehilangan material dalam jumlah besar serta dampak finansial yang signifikan (Anghelescu & Diaconu, 2024).

Fenomena ini terjadi akibat reaksi oksidasi batubara yang berlangsung spontan saat batubara tersimpan dalam jumlah besar di *stockpile*, sehingga meningkatkan suhu internal hingga mencapai titik nyala yang memicu kebakaran (Zhang et al., 2022).

Swabakar batubara di *stockpile* tidak hanya mengurangi kualitas batubara, tetapi juga menyebabkan kerugian finansial yang besar bagi perusahaan tambang. Menurut penelitian Cheng et al. (2020), fenomena swabakar berkontribusi terhadap hilangnya jutaan ton batubara setiap tahunnya akibat penurunan nilai kalor dan volume batubara yang terbakar. Hal ini semakin diperburuk oleh tingginya biaya pemadaman kebakaran, rehabilitasi area terdampak, serta potensi denda lingkungan akibat emisi gas berbahaya (Yusuf & Rendana, 2024).

PT Bukit Asam Tbk sebagai salah satu perusahaan tambang batubara terbesar di Indonesia menghadapi tantangan dalam pengelolaan *stockpile*, khususnya di Tambang Air Laya. Swabakar yang terjadi di *Stockpile* 1 berpotensi menyebabkan penurunan efisiensi produksi dan peningkatan biaya operasional. Menurut penelitian Laryea et al. (2024), upaya mitigasi yang tidak tepat dapat memperburuk kondisi, di mana manajemen temperatur dan ventilasi dalam *stockpile* menjadi faktor kritis dalam pencegahan swabakar. Oleh karena itu, diperlukan model yang dapat mengkuantifikasi kerugian finansial akibat kehilangan batubara di *stockpile* agar perusahaan dapat mengimplementasikan strategi mitigasi yang lebih efektif (Liu et al., 2022).

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengukur dampak finansial dari swabakar batubara, termasuk model simulasi numerik dan pendekatan berbasis data historis. Beberapa studi menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat digunakan untuk memprediksi titik panas di *stockpile* dan mengestimasi jumlah batubara yang hilang akibat swabakar (Mohalik et al., 2022). Selain itu, model berbasis parameterisasi termal dapat membantu mengidentifikasi area rawan swabakar dan memungkinkan perusahaan untuk merancang strategi pencegahan yang lebih efektif (Said et al., 2021).

Kerugian finansial akibat swabakar batubara di *stockpile* merupakan isu yang krusial dalam industri pertambangan. Fenomena ini tidak hanya menyebabkan kehilangan material yang signifikan, tetapi juga berdampak terhadap keberlanjutan operasional perusahaan tambang. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan model perhitungan kerugian finansial akibat swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk, yang diharapkan dapat menjadi referensi dalam mitigasi risiko dan optimalisasi pengelolaan *stockpile* batubara.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian mengenai “Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk” adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh durasi swabakar terhadap kenaikan temperatur batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk?;
2. Bagaimana pengaruh durasi swabakar terhadap penurunan massa batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk?;
3. Bagaimana pengaruh tingkat kerentanan swabakar terhadap karakteristik batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk?;
4. Bagaimana model estimasi kerugian finansial akibat hilangnya batubara karena swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian mengenai “Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk” adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh durasi swabakar terhadap kenaikan temperatur batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk.;
2. Menganalisis pengaruh durasi swabakar terhadap penurunan massa batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk.;
3. Menganalisis pengaruh tingkat kerentanan swabakar terhadap karakteristik batubara di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk.;
4. Menganalisis model estimasi kerugian finansial akibat hilangnya batubara karena swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk.

1.4 Hipotesis

Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk diduga menyebabkan kerugian finansial. Kerugian ini terutama berasal dari hilangnya batubara yang terbakar.

Hipotesis ini akan diuji melalui analisis finansial menyeluruh terhadap data dan informasi terkait swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya. Analisis ini akan mempertimbangkan massa batubara yang hilang. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai kerugian finansial akibat swabakar, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan dan tindakan pencegahan di masa depan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian mengenai “Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk” adalah sebagai berikut:

1. Lokasi Penelitian:

Penelitian ini akan dilakukan di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk., yang merupakan lokasi *stockpile* batubara aktif dengan insiden swabakar batubara yang signifikan.

2. Batasan Penelitian:

- Variabel yang dipakai adalah waktu, temperatur, massa, suhu udara, serta sifat fisika dan kimia batubara dari hasil uji laboratorium.
- Fokus pada metode mitigasi yang telah diterapkan di PT Bukit Asam Tbk dan tidak mencakup pengembangan teknologi baru.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian mengenai “Model Kerugian Finansial Kehilangan Batubara Akibat Swabakar di *Stockpile* 1, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk” adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

- Pengembangan Ilmu Pengetahuan: Penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik pertambangan, khususnya dalam hal analisis finansial dan pengelolaan risiko swabakar.
- Pemahaman yang Lebih Mendalam: Penelitian ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai dinamika swabakar, faktor-faktor yang mempengaruhinya, serta dampaknya terhadap kerugian finansial di industri pertambangan batubara.
- Pengembangan Model Prediksi: Model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat menjadi alat bantu yang berguna bagi para pelaku industri pertambangan dalam mengestimasi potensi kerugian akibat swabakar dan mengambil langkah-langkah pencegahan yang tepat.

2. Manfaat Praktis

- Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik: Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi yang berharga dalam mengambil keputusan terkait pengelolaan risiko swabakar.
- Efisiensi Operasional: Dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kerugian finansial akibat swabakar, perusahaan dapat mengidentifikasi area-area yang perlu ditingkatkan dalam hal pengelolaan tambang.
- Mitigasi Risiko: Model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai alat mitigasi risiko swabakar, sehingga perusahaan dapat melakukan tindakan pencegahan yang lebih proaktif dan efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anghelescu, L. dan Diaconu, B. M., 2024. Advances In Detection And Monitoring Of Coal Spontaneous Combustion: Techniques, Challenges, And Future Directions. *Fire*, 7 (10): 354.
- Badan Standardisasi Nasional, 2014. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7203:2014 tentang Penumpukan Batubara*. Jakarta: BSN.
- Cheng, F., Chang, Z., Deng, J., Nan, F., Zhang, A., dan lainnya, 2020. Numerical Evaluation Of Inclined Heat Pipes On Suppressing Spontaneous Coal Combustion. *Heat and Mass Transfer*, 56 (2): 201–215.
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, 2022. *Surat Edaran Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara Nomor T-1500/Dirjen/Minerba/Set/D.O/2022 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar Batubara*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, 2022. *Peraturan Daerah tentang Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar Batubara di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, 2022. *Penegakan Hukum terhadap Pelanggaran Ketentuan Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar Batubara*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).
- Fajarwati, D. A., Lepong, P., dan Wahidah, W., 2023, Analisis Proksimat dan Ultimat Terhadap Total Sulfur dan Nilai Kalori pada Batubara (PT Geoservices Samarinda). *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 6 (2): 126-136.

- Filah, M. N., Ibrahim, E., dan Ningsih, Y. B., 2016, Analisis Terjadinya Swabakar dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Batubara pada Area Timbunan 100/200 pada Stockpile Kelok S di PT. Kuansing Inti Makmur. *Jurnal Pertambangan Universitas Sriwijaya*, 1 (1): 3817
- Gong, X., Liu, Z., & Zhang, W., 2021. Monitoring of Spontaneous Combustion in Coal Stockpiles Using Infrared Thermography and Gas Detection Techniques. *Fuel*, 290 (12): 120032.
- Han, B., Zhang, Y., Zou, Z., Wang, J., & Zhou, C., 2024. Study on Controlling Factors and Developing a Quantitative Assessment Model for Spontaneous Combustion Hazard of Coal Gangue. *Case Studies in Thermal Engineering*, 54 (104039).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019. *Peraturan Menteri ESDM Nomor 18 Tahun 2019 tentang Pengelolaan Batubara*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).
- Kurniawan, I., Aryansyah, A., dan Huda, A., 2020 Analisis Kualitas Batubara sebagai Penentu Faktor Swabakar. *Prosiding SEMNASLIT LPPM UMJ 2020*, 1-10
- Laryea, A. E. N., Wanxing, R., Qing, G., dan lainnya, 2024. Spontaneous Coal Combustion, Direct And Indirect Impact On Mining In China: A Prospective Review And Proposal Of A Five-Level Comprehensive Mine Safety. *Combustion Science and Technology*, 196 (5): 900–925.
- Liu, H., Pan, K., Xiang, C., Ye, D., Wang, H., dan Gou, X., 2022. Mechanochemical Effect Of Spontaneous Combustion Of Sulfide Ore. *Fuel*, 318: 123–139.

- Mohalik, N. K., Ray, S. K., Mishra, D., Pandey, J. K., dan lainnya, 2022. Prevention And Control Of Spontaneous Combustion/Fire In Coal Stockpiles Of Power Plants Using Firefighting Chemicals. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42 (3): 487–502.
- Onifade, M., 2022. Countermeasures Against Coal Spontaneous Combustion: A Review. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 44 (2): 330–350.
- Said, K. O., Onifade, M., Genc, B., dan Lawal, A. I., 2021. On The Dependence Of Predictive Models On Experimental Dataset: A Spontaneous Combustion Studies Scenario. *International Journal of Mining*, 25 (4): 275–290.
- Sardi, B., Ripky, M, Marhum, F. A., dan Nompo, S., 2023, Analysis (Proximate, Ultimate, and Sulfur Content in Determining Coal Quality in the Bobong Formation of Taliabu Island - Maluku. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2 (1): 45-53.
- Yang, C., Li, S., & Ma, X., 2023. Intelligent Management of Coal Stockpiles Using Improved Grey Spontaneous Combustion Forecasting Models. *Energy Journal*, 266 (12): 118587.
- Yusuf, M. dan Rendana, M., 2024. Methane Gas Emission During The Spontaneous Combustion Of Sub-Bituminous C Coal With Different Organic Sulfur Content In The Temporary Stockpile. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 6 (1): 101–115.
- Zhang, H., Zhang, X., Wang, Y., Dong, W., Fan, J., dan lainnya, 2022. Application Of Aging Effect Model In Numerical Simulation For Predicting Spontaneous Combustion Of Coal Stockpiles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147 (5): 5431–5445.

- Zhang, H., Zhang, X., Wang, Y., Dong, W., & Fan, J., 2022. Application of Aging Effect Model in Numerical Simulation for Predicting Spontaneous Combustion of Coal Stockpiles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147 (24): 11708–11722.
- Zhang, J., An, J., Zhou, A., Wang, K., Si, G., dan Xu, B., 2023. Development And Parameterization Of A Model For Low-Temperature Oxidative Self-Heating Of Coal Stockpiles Under Forced Convection. *Fuel*, 335: 127–140.
- Zhuo, H., Li, T., Lu, W., Zhang, Q., Ji, L., dan Li, J., 2025. Prediction Model for Spontaneous Combustion Temperature of Coal Based on PSO-XGBoost Algorithm. *Scientific Reports*, 12 (2752)