



Penanganan Swabakar Batubara dengan Menggunakan Metode Injeksi Kimia dan Metode Konvensional di PT. X

Handling Coal Spontaneous Combustion Using Chemical Injection Method and Conventional Method at PT. X

Andrawina¹

¹ Universitas Sriwijaya, Indonesia

¹andrawina@unsri.ac.id

Penulis Korespondensi: Andrawina | **Email:** andrawina@unsri.ac.id

Diterima (Received): 14/11/2025 Direvisi (Revised): 01/12/2025 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 01/12/2025

ABSTRAK

Fenomena swabakar (*spontaneous combustion*) pada batubara merupakan salah satu permasalahan utama yang sering terjadi pada area *stockpile*, terutama akibat pengelolaan yang kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya swabakar serta mengevaluasi efektivitas penanganan menggunakan dua metode berbeda, yaitu metode injeksi kimia dan metode konvensional di PT. X. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kualitatif deskriptif melalui observasi lapangan dan studi literatur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama penyebab swabakar di *stockpile* adalah ketinggian timbunan yang melebihi standar (23 meter), sistem *drainage* yang tidak berfungsi dengan baik, serta kurangnya pengawasan terhadap suhu dan ukuran partikel batubara. Metode injeksi kimia terbukti lebih efektif dalam menurunkan suhu dan menghambat reaksi oksidasi batubara dibandingkan metode konvensional, karena bahan kimia dapat menembus hingga ke titik panas batubara. Sementara itu, metode konvensional seperti pembongkaran dan pemadatan ulang hanya bersifat sementara dan tidak mampu mencegah terulangnya swabakar. Dengan demikian, penerapan metode injeksi kimia yang terencana, disertai manajemen *stockpile* yang baik dan pemantauan suhu secara berkala, dapat menjadi solusi efektif dalam upaya pencegahan dan penanganan swabakar pada batubara di PT. X.

Kata kunci: batubara, injeksi kimia, metode konvensional, *stockpile management*, swabakar

ABSTRACT

Spontaneous combustion of coal is one of the major problems frequently encountered in stockpile areas, primarily due to improper management. This study aims to analyze the causes of spontaneous combustion and evaluate the effectiveness of two handling methods: the chemical injection method and the conventional method at PT. X. The research employed a qualitative descriptive approach through field observation and literature study. The results show that the main factors contributing to spontaneous combustion in the stockpile include excessive pile height (23 meters), ineffective drainage systems, and inadequate monitoring of coal temperature and particle size. The chemical injection method proved to be more effective in reducing temperature and inhibiting oxidation reactions compared to the conventional method, as the chemical solution can penetrate directly into the hot spots of the coal. Meanwhile, the conventional method—such as pile excavation and compaction—only provides temporary mitigation and cannot prevent recurring combustion. Therefore, the implementation of a well-planned chemical injection method, along with proper stockpile management and continuous temperature monitoring, can serve as an effective strategy to prevent and control spontaneous combustion in coal stockpiles at PT. X.

Keywords: chemical injection, coal, conventional method, spontaneous combustion, stockpile management

1. Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi primer. Pemanfaatan batubara sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimianya, serta dapat digunakan dalam bentuk padat maupun setelah melalui proses konversi menjadi fase cair atau gas. Peningkatan permintaan batubara sebagai bahan bakar industri mendorong produsen untuk terus meningkatkan kapasitas produksinya.

Batubara hasil penambangan umumnya tidak langsung dikirim kepada konsumen, melainkan disimpan sementara di area penumpukan (*stockpile*). Salah satu permasalahan utama yang dihadapi dalam kegiatan penumpukan batubara adalah terjadinya pembakaran spontan (*spontaneous combustion*). Fenomena ini umumnya disebabkan oleh sistem manajemen *stockpile* yang kurang optimal, sehingga memicu terjadinya proses oksidasi yang berkelanjutan.

Kejadian pembakaran spontan pada *stockpile* menyebabkan berbagai kerugian, antara lain penurunan kualitas batubara yang berdampak pada nilai jual dan permintaan pasar, berkurangnya volume akibat terbakarnya material, serta meningkatnya biaya operasional untuk penanganan batubara yang terbakar. Oleh karena itu, diperlukan upaya pencegahan dan penanganan yang tepat terhadap area *stockpile* guna meminimalkan risiko terjadinya pembakaran spontan dan menjaga kualitas batubara tetap optimal.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa oksidasi batubara pada suhu rendah menghasilkan panas yang jika tidak dibuang secara efektif, dapat menyebabkan pembakaran spontan (Fierro et al., 1999). Laporan oleh IEA *Clean Coal Centre* menegaskan bahwa proses *self-heating* batubara melibatkan akumulasi panas dan suplai oksigen pada massa batubara yang tersimpan. (Sloss, 2015). Manajemen area *stockpile* dengan kemiringan tertentu dan sistem drainase telah terbukti mengurangi risiko *self-heating*.

2. Data dan Metodologi

Swabakar (*Spontaneous Combustion*) merupakan salah satu fenomena yang terjadi pada batubara akibat proses oksidasi spontan selama penyimpanan dalam jangka waktu tertentu. Proses ini diawali dengan penyerapan oksigen oleh batubara dari udara sekitarnya yang berlangsung secara perlahan, sehingga menyebabkan peningkatan suhu internal material. Kenaikan temperatur tersebut mempercepat laju oksidasi, sehingga suhu batubara terus meningkat hingga mencapai kisaran 100–140°C.

Pada tahap ini mulai terbentuk uap air dan gas karbon dioksida (CO₂) akibat reaksi oksidasi yang semakin intensif. Apabila suhu terus meningkat hingga melebihi 350°C, batubara mencapai titik nyala (*ignition point*) dan

mengalami pembakaran spontan. Fenomena ini umumnya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti karakteristik batubara, ukuran butiran, tingkat kelembapan, serta kondisi ventilasi di area penyimpanan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, fenomena pembakaran spontan (*spontaneous combustion*) pada batubara dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Faktor-faktor tersebut meliputi: (1) penyimpanan batubara pada *stockpile* terbuka dalam jangka waktu yang lama, baik untuk batubara hasil penghancuran (*crushed coal*) maupun batubara mentah (*raw coal*), tanpa disertai proses pemadatan yang memadai; (2) kecepatan angin yang tinggi yang menerpa permukaan *stockpile*, sehingga mempercepat proses oksidasi batubara; (3) kurang optimalnya kegiatan pemantauan suhu (*temperature monitoring*) pada tumpukan batubara, yang menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kenaikan suhu pada tahap awal; serta (4) pengabaian terhadap pemisahan ukuran partikel batubara antara batubara kasar (*coarse coal*) dan batubara halus (*fine coal*), yang mengakibatkan sirkulasi udara tidak merata dan meningkatkan potensi akumulasi panas lokal yang dapat memicu pembakaran spontan.

Batubara memiliki kecenderungan untuk bereaksi dengan oksigen di atmosfer segera setelah terekspose selama proses penambangan. Laju reaksi oksidasi tersebut lebih tinggi pada batubara berperingkat rendah, seperti lignit dan sub-bituminus, dibandingkan dengan batubara berperingkat tinggi (bituminus ke atas). Pada batubara berperingkat tinggi, proses oksidasi umumnya baru teridentifikasi setelah mengalami periode paparan yang relatif lama. Peningkatan suhu yang terjadi akibat proses *self-heating* perlu memperoleh perhatian serius, karena fenomena ini dapat menurunkan kualitas dan nilai ekonomis batubara serta berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Berikut ini beberapa pengaruh dari oksidasi terhadap sifat-sifat batubara:

Tabel 1. Parameter Pengaruh Kualitas Batubara

Parameter	Pengaruh (Turun/Naik)
<i>Specific Energy (MJ/kg dmmf)</i>	Turun
<i>Gieseler Maksimum Fluidity</i>	Turun
<i>Hard Grove Index</i>	Naik
<i>Carbon % dmmf</i>	Turun
<i>Hydrogen % dmmf</i>	Turun
<i>Oxygen % dmmf</i>	Naik
<i>Yield of Pyrolysis Tar</i>	Turun
<i>Vitrinite reflectance</i>	Naik
<i>Mean Size</i>	Turun
<i>Volatile matter % dmmf</i>	Turun
<i>Crucible Swelling Number</i>	Turun

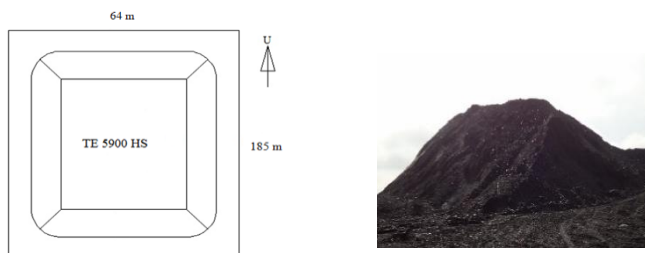
Berdasarkan Tabel 1, saat batubara terekspos ke udara, akan terjadi deteriorasi atau penurunan kualitas batubara. Proses *handling* batubara dapat menyebabkan deteriorasi akibat oksidasi yang terus berlangsung, yang pada akhirnya berpotensi menimbulkan *spontaneous combustion* (pembakaran spontan). Untuk menghindari hal tersebut, yang perlu diperhatikan pada area *stockpile* adalah persiapan dasar *stockpile*. Dasar *stockpile* biasanya menggunakan batubara dengan kandungan sulfur rendah agar risiko oksidasi dan pembakaran spontan dapat diminimalisir.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif dengan pendekatan analisis. Pendekatan ini dilakukan dengan cara memilah dan memilih data yang paling relevan dan penting dari beberapa jurnal serta referensi yang berkaitan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan secara langsung serta studi literatur untuk mendapatkan gambaran yang akurat mengenai kondisi lapangan yang sesungguhnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Swabakar Batubara pada *Stockpile*

Berdasarkan hasil penelitian dan tinjauan lapangan oleh penulis, kondisi aktual *stockpile* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Layout Stockpile 1*

Stockpile 1 memiliki luas area sebesar 11.840 m², dengan dimensi panjang 185 meter dan lebar 64 meter. Lantai dasar pada *temporary stockpile* terdiri atas material *claystone* dengan ketebalan sekitar 0,5 meter, yang kemudian dilapisi oleh batubara kotor (*bedding coal*) sebagai lapisan penutup bagian atas. Tinggi timbunan batubara mencapai 23 meter, dengan panjang 170 meter dan lebar 47 meter. Bentuk geometri timbunan menghasilkan sudut kemiringan sebesar 68,1°, yang menunjukkan kestabilan lereng alami dari material batubara yang ditimbun.

Pola penimbunan batubara pada area *temporary stockpile* dilakukan dengan metode penumpukan berurutan ke arah samping. Setiap lapisan batubara yang ditumpuk akan diratakan menggunakan *bulldozer* sebelum dilanjutkan dengan penumpukan lapisan berikutnya secara bertahap. Proses ini menghasilkan bentuk timbunan

menyerupai limas terpancung dengan sudut kemiringan mendekati seperempat lingkaran. Penimbunan dilakukan secara berlapis hingga mencapai ketinggian maksimum yang direkomendasikan oleh ketentuan K3L, yaitu antara 5 hingga 7 meter. Namun, berdasarkan kondisi aktual di lapangan, ketinggian timbunan pada *temporary stockpile* telah melebihi batas yang direncanakan dan mencapai sekitar 23 meter. Hal ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara praktik di lapangan dengan standar keselamatan dan lingkungan yang berlaku.

Sistem penirisan yang diterapkan pada area *temporary stockpile* secara konseptual telah dirancang dengan baik. Namun demikian, efektivitasnya saat ini mengalami penurunan akibat kondisi saluran air yang tidak lagi berfungsi secara optimal. Fenomena tersebut disebabkan oleh deformasi bentuk saluran akibat akumulasi material batubara yang terjatuh selama proses pengangkutan, serta tidak adanya kegiatan pemeliharaan rutin terhadap saluran air. Kondisi ini berpotensi menghambat aliran air permukaan dan meningkatkan risiko genangan pada area sekitar *temporary stockpile*.

Dari penelitian di lapangan yang dilakukan oleh penulis, terjadinya swabakar pada *temporary stockpile* disebabkan karena beberapa faktor yaitu:

- Durasi penimbunan batubara yang mencapai lebih dari tiga bulan menunjukkan tidak terpenuhinya standar penyimpanan yang direkomendasikan. Secara ideal, batubara sebaiknya tidak disimpan lebih dari satu bulan, khususnya untuk batubara berperingkat rendah yang memiliki kecenderungan lebih tinggi terhadap proses oksidasi dan pembakaran spontan.
- Ukuran butiran batubara pada *stockpile* menunjukkan heterogenitas, dengan variasi ukuran mulai dari partikel halus hingga bongkahan besar (*boulder*). Ketidakhomogenan ukuran butiran tersebut berpotensi meningkatkan luas permukaan kontak dengan udara, sehingga mempercepat laju reaksi oksidasi pada batubara.
- Nilai kalori batubara pada *temporary stockpile* sebesar 5900 kkal/kg, yang dikategorikan sebagai batubara berperingkat rendah. Jenis batubara ini memiliki kandungan *volatile matter* yang relatif tinggi, sehingga meningkatkan kecenderungan terjadinya reaksi oksidasi dan berpotensi memicu pembakaran spontan (swabakar) selama proses penyimpanan.
- Pengukuran suhu pada *temporary stockpile* dilakukan selama seminggu pada lima titik sampling mulai 9 April. Hasilnya menunjukkan fluktuasi suhu akibat kondisi cuaca dan batubara. Suhu awal relatif sama, namun titik pertama mencapai 58°C yang menandakan awal oksidasi. Pada 10 April terjadi swabakar, lalu setelah penyuntikan larutan kimia pada 11 April suhu menurun. Pada 12 April suhu titik kedua meningkat hingga 90°C dan mengeluarkan asap, sedangkan pada 15 April suhu titik keempat

mencapai 216°C yang menunjukkan kondisi kritis akibat oksidasi tinggi.

3.2. Penanganan Swabakar pada *Stockpile*

a. Dengan Injeksi Larutan Kimia

Penanganan swabakar di *stockpile* dapat dilakukan dengan penyemprotan dan injeksi larutan kimia. Untuk tahapannya adalah sebagai berikut.

- 1) Tahapan pertama dilakukan penyemprotan terhadap batubara yang telah terbakar. Penyemprotan ini bertujuan untuk mengurangi panas dan uap dari tempat yang telah terbakar.



Gambar 2. Tahap Penyemprotan Batubara menggunakan Larutan Kimia

- 2) Selanjutnya lokasi yang telah disemprot ini ditinggalkan sebentar untuk didinginkan.



Gambar 3. Tahapan Pendinginan

- 3) Pada tahap akhir, dilakukan proses injeksi pada titik-titik yang teridentifikasi mengalami kebakaran. Proses injeksi ini menggunakan campuran antara larutan kimia dan air dengan perbandingan 1:50, yaitu 1 liter larutan kimia dicampurkan dengan 50 liter air, yang bertujuan untuk menurunkan suhu dan menghentikan reaksi oksidasi pada area yang terbakar.



Gambar 4. Tahap Injeksi Larutan Kimia

b. Dengan Metode Konvensional

Tahapan penanganan swabakar dengan menggunakan metode konvensional adalah sebagai berikut.

- 1) Proses pembongkaran timbunan dilakukan pada batubara yang mengalami peningkatan suhu akibat reaksi oksidasi namun belum mencapai tahap pembakaran terbuka. Tujuan utama kegiatan ini adalah untuk menurunkan suhu batubara hingga mencapai kondisi stabil. Setelah suhu batubara kembali normal, material tersebut dipisahkan dari tumpukan awal guna mencegah propagasi panas ke area sekitarnya.



Gambar 5. Tahapan Pembongkaran

- 2) Tahapan pemisahan diawali dengan kegiatan penggalian batubara yang telah mengalami swabakar menggunakan alat mekanis berupa *backhoe* untuk memisahkannya dari tumpukan batubara yang masih dalam kondisi stabil. Setelah proses evakuasi dan pembuangan abu selesai, dilakukan tahap pemadatan (*compaction*) pada area bekas pembongkaran. Tahap ini berfungsi untuk mengurangi porositas dan rongga udara di dalam timbunan, sehingga dapat menurunkan potensi terjadinya reaksi oksidasi lanjutan pada batubara yang tersisa di *temporary stockpile*.



Gambar 6. Tahapan Pemisahan Abu



Gambar 7. Tahapan Pematatan

Akan tetapi, walaupun kedua metode tersebut telah dilakukan untuk meminimalisir terjadinya swabakar, namun tetap saja *temporary stockpile* tersebut memiliki kemungkinan untuk terbakar kembali. Dari gambar ini, dapat dilihat bahwa meskipun telah dilakukan penanganan swabakar dan pembuangan batubara yang telah terbakar tetapi selang beberapa hari terjadi swabakar kembali.

Berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap sampel batubara sebelum dan setelah terjadi swabakar terjadi perbedaan nilai total *moisture*, *ash content*, *inherent moisture*, total sulfur, dan kalori batubara. Pada batubara yang belum mengalami swabakar memiliki total *moisture* tinggi, sedangkan setelah swabakar, total *moisture* menurun akibat pematatan yang mengurangi daya serap air dan pori batubara.

Penurunan ini juga dipengaruhi oleh kondisi saat pengambilan sampel, seperti kondisi batubara, ukuran distribusi sampel, dan cuaca. Selain itu, *volatile matter* menurun karena zat terbang terbakar dan hilang bersama abu, sedangkan kadar abu meningkat akibat residu pembakaran, sehingga nilai kalori menurun.

Total sulfur juga menurun karena ikut terbakar dan berasosiasi dengan abu. Secara umum, penurunan kualitas batubara disebabkan oleh penimbunan terlalu lama, manajemen FIFO (*First In First Out*) yang tidak berjalan, serta kurangnya penanganan swabakar, yang menyebabkan mutu batubara terus menurun di *stockpile*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penanganan swabakar batubara di area *stockpile* PT. X, dapat disimpulkan bahwa faktor utama penyebab terjadinya swabakar adalah ketinggian timbunan batubara yang melebihi standar operasional (23 meter), sistem *drainage* yang tidak berfungsi secara optimal, serta kurangnya pengawasan terhadap suhu dan distribusi ukuran partikel batubara. Kondisi tersebut mempercepat proses oksidasi dan peningkatan suhu internal batubara hingga mencapai titik nyala yang memicu terjadinya pembakaran spontan.

Metode penanganan menggunakan injeksi kimia terbukti lebih efektif dibandingkan metode konvensional dalam

menurunkan suhu dan menghambat laju reaksi oksidasi. Efektivitas metode injeksi kimia disebabkan oleh kemampuan larutan kimia untuk menembus titik panas (*hot spot*) di dalam timbunan batubara, sehingga proses pendinginan berlangsung hingga ke bagian inti. Sebaliknya, metode konvensional seperti pembongkaran, pemisahan, dan pematatan ulang hanya memberikan efek sementara dan tidak mencegah terulangnya kejadian swabakar pada lokasi yang sama.

Dengan demikian, penerapan metode injeksi kimia secara terencana dan sistematis, didukung oleh penerapan manajemen *stockpile* yang baik—meliputi pengaturan tinggi timbunan, optimalisasi sistem drainase, serta pemantauan suhu dan kelembaban secara berkala—dapat menjadi langkah strategis dan berkelanjutan dalam upaya pencegahan serta penanggulangan swabakar batubara di area penyimpanan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. X yang telah memberikan izin, dukungan, serta fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya dalam proses pengumpulan data di area *stockpile*. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, yang telah memberikan bimbingan akademik dan dukungan teknis selama penelitian berlangsung.

Tidak lupa, apresiasi yang sebesar-besarnya disampaikan kepada rekan-rekan di lapangan atas kerja sama dan kontribusinya dalam proses observasi, dokumentasi, serta penyusunan laporan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapan praktik pengelolaan *stockpile* batubara yang lebih aman dan berkelanjutan di masa mendatang.

6. Referensi

- Andrawina, A. & Ernawati, R. (2019). *Analisis Terjadinya Swabakar (Spontaneous Combustion) di Temporary Stockpile Pit 1 C TE-5900 HS Area Banko Barat di PT. Bukit Asam Tanjung Enim*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Energi, dan Pengelolaan Sumber Daya Alam (SNTEKPAN) VII, pp. 2685–6875.
- Andriani, N., & Ardiansyah, M. (2025). *Analisis Pengaruh Temperatur, Lama Timbunan, dan Dimensi Timbunan Terhadap Terjadinya Swabakar pada ROM Batubara PT Triaryani*. *Jurnal Geologi*, 12(1), 45–57. URL: <https://jurnal.fti.umi.ac.id/index.php/JG/article/view/1942>
- Arifin, M. R., & Suryana, D. (2022). *Analisis Potensi Swabakar (Self-Combustion) Berdasarkan Data Proksimat pada Batubara PT Geoservices Samarinda*. *Jurnal Geofisika Mulawarman*, 8(2), 75–83. URL:

- <https://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/geofis/article/view/1062>
- Jepriansyah, H. P., & Aprilia Rande, S. (2023). *Upaya Teknis Pencegahan dan Penanggulangan Swabakar (Spontaneous Combustion) pada Stockpile di PT Manambang Muara Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan*. In *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII* (hal. 210–222). ITNY.
- Jin, Y., Li, Y., Liu, W., Yang, X., Cheng, X., Qi, C., Li, C., Hui, J., & Zhang, L. (2025). *Research Status and Prospect of Coal Spontaneous Combustion Source Location Determination Technology*. *Processes*, 13(7), 2305. <https://doi.org/10.3390/pr13072305>
- Onifade, M., Genc, B. & Ozbayoglu, A.M. (2020). *Spontaneous Combustion of Coal: Review of Thermo-chemical and Kinetic Mechanisms*. *Fuel*, 275, 117896.
- Putra, A., Nurdin, F., & Salim, M. (2024). *Review of Stockpile Management to Reduce the Risk of Coal Self-Heating Which Can Cause Spontaneous Combustion*. *JGEET (Journal of Geoscience, Engineering, Environment and Technology)*, 9(3), 250–259. URL: <https://journal.uir.ac.id/index.php/JGEET/article/view/17132>
- Sarmidi, S., Zulatama, A., & Widodo, R. (2025). *Analisis Timbunan Sementara untuk Pencegahan Pembakaran Spontan Batubara di PIT 2 Banko Barat, PT Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 1(3), 45–58. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i3.22> Jurnal AKIPBA
- Septian, R., Firmansyah, A., & Rahman, D. (2024). *Evaluasi Teknik Penanganan Swabakar Batubara Pada Stockpile di Pit E PT Satria Bahana Sarana Tanjung Enim*. *Pondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 120–131. URL: <https://journal.alshobar.or.id/index.php/pondasi/article/view/272>
- Supriyadi, A., Nugraha, D. & Wibowo, A. (2021). *Evaluasi Sistem Drainase dan Pengaruhnya terhadap Risiko Swabakar pada Stockpile Batubara*. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 9(2), pp. 55–64.
- Thabari, J. A., Auzani, A. S., Nirbito, W., Muharam, Y., & Nugroho, Y. S. (2023). *Modeling of Coal Spontaneous Fire in a Large-Scale Stockpile*. *International Journal of Technology*, 14(2), 257–266. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i2.5367>
- Widodo, N. P., Syawaludin, E., & Arifin, Z. (2020). *Studi Pembakaran Spontan Batubara Menggunakan Metode Pemanasan Adiabatika pada Skala Laboratorium*. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16(2), 112–125. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol16.No2.2020.106>
- 6 Jurnal Tekmira
- Zhou, Y., Li, X., Wang, J., & Chen, L. (2023). *Modeling of Coal Spontaneous Fire in a Large-Scale Stockpile Using Multiphysics Simulation*. *International Journal of Technology*, 14(4), 811–821. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i4.5367>