E-ISSN: 2685-8959 P-ISSN: 2685-8967
Journal of Research and Education Chemistry (JREC)
http://journal.uir.ac.id/index.php/jrec

Optimasi Penggunaan Garam Kasar dengan Magnesium Oksida & Air Laut dengan Magnesium Oksida Terhadap Proses Desulfurisasi Batubara

Alamsyah*, Irham Pratama
Universitas Fajar Makassar
*Corresponding author
*Email: Alamsayah19022001@gmail.com

Abstrak

Desulfurisasi batubara merupakan salah satu pendekatan penting untuk mengurangi kadar sulfur sebelum pembakaran dan meminimalkan potensi pembentukan sulfur dioksida (SO_2). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas kombinasi garam kasar–magnesium oksida (MgO) dan air laut–MgO dalam menurunkan kadar sulfur batubara serta menentukan rasio pencampuran yang menghasilkan penurunan sulfur tertinggi. Percobaan dilakukan menggunakan metode pencampuran basah dengan ukuran partikel batubara 0,250 mm, massa batubara 5 g, suhu 60 °C, dan waktu pencampuran 2 jam. Variasi rasio media terhadap MgO adalah 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, dan 3:1. Kadar sulfur sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan *Sulfur Analyzer* LECO S832 berdasarkan ASTM D4239 pada suhu 1350 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi garam kasar–MgO menghasilkan penurunan kadar sulfur tertinggi sebesar 22,67% pada rasio 3:1, sedangkan kombinasi air laut–MgO menghasilkan penurunan tertinggi sebesar 14,87% pada rasio 3:1. Pada kondisi penelitian, garam kasar–MgO menghasilkan penurunan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan air laut–MgO. Hasil tersebut menunjukkan potensi garam kasar–MgO sebagai perlakuan awal desulfurisasi batubara. Namun, penelitian ini belum mencakup analisis spesiasi sulfur, karakterisasi produk reaksi, pengukuran emisi SO_2 secara langsung, maupun pengujian skala industri. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkaji mekanisme penghilangan sulfur, mengoptimalkan kondisi operasi, serta mengevaluasi kelayakan peningkatan skala dan aspek ekonomi proses.

Kata kunci: Desulfurisasi, Batubara, Garam Kasar, Air Laut, Magnesium Oksida (MgO)

Abstract

Coal desulfurization is an important approach to reducing sulfur content before combustion and minimizing the potential formation of sulfur dioxide (SO_2). This study aimed to evaluate the effectiveness of coarse salt–magnesium oxide (MgO) and seawater–MgO combinations in reducing sulfur content in coal and to determine the mixing ratio that provided the highest sulfur reduction. The experiments were conducted using a wet mixing method with a coal particle size of 0.250 mm, coal mass of 5 g, temperature of 60 °C, and mixing time of 2 h. The media-to-MgO ratios were varied at 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, and 3:1. Sulfur content before and after treatment was analyzed using a LECO S832 Sulfur Analyzer according to ASTM D4239 at 1350 °C. The results showed that the coarse salt–MgO combination achieved the highest sulfur reduction of 22.67% at a ratio of 3:1, while the seawater–MgO combination achieved the highest reduction of 14.87% at a ratio of 3:1. Under the experimental conditions, coarse salt–MgO produced a higher sulfur reduction than seawater–MgO. These results indicate the potential of coarse salt–MgO as a pretreatment for coal desulfurization. However, sulfur speciation, reaction-product characterization, direct SO_2 emission measurements, and industrial-scale testing were not conducted. Further research is therefore required to investigate the sulfur removal mechanism, optimize operating conditions, and evaluate the scale-up feasibility and economic aspects of the process.

Keywords: Coal, Desulfurization, Coarse Salt, Magnesium Oxide, Seawater, Sulfur

Pendahuluan

Desulfurisasi batubara merupakan salah satu upaya penting dalam mengurangi potensi emisi sulfur oksida (SO_2) dari proses pembakaran batubara. Emisi SO_2 dapat memberikan dampak terhadap lingkungan dan kesehatan, antara lain melalui pembentukan hujan asam yang dapat menyebabkan pengasaman tanah dan perairan serta kerusakan pada vegetasi dan bangunan. Paparan SO_2 juga dapat menimbulkan gangguan pada sistem pernapasan. Di Indonesia, batubara masih memiliki peranan penting sebagai sumber energi, sehingga pengurangan kadar sulfur sebelum proses pembakaran menjadi salah satu pendekatan yang relevan dalam mendukung pengendalian emisi. Perkembangan teknologi desulfurisasi menunjukkan bahwa metode fisik, kimia, dan biologis telah banyak dikembangkan, dengan efektivitas proses yang dipengaruhi oleh karakteristik batubara, bentuk sulfur, jenis bahan yang digunakan, kondisi operasi, serta efisiensi proses.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengurangi kadar sulfur dalam batubara, antara lain pencucian, flotasi, oksidasi, dan *leaching*. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pencucian melalui proses pencampuran basah karena memungkinkan terjadinya kontak antara partikel batubara dan media perlakuan. Efektivitas proses tersebut dipengaruhi oleh karakteristik media, rasio bahan, suhu, waktu kontak, serta karakteristik batubara yang digunakan. Dalam penelitian ini, proses desulfurisasi dilakukan dengan metode pencampuran basah menggunakan kombinasi garam kasar–magnesium oksida (MgO) dan air laut–MgO sebagai media perlakuan.

Garam kasar merupakan material yang diperoleh dari proses kristalisasi air laut dengan natrium klorida (NaCl) sebagai salah satu komponen utamanya. Karakteristik tersebut menjadikan garam kasar menarik untuk dikaji sebagai media dalam proses pencucian batubara. Penelitian Purnomo et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan garam dapat memberikan penurunan kadar sulfur pada batubara. Pada penelitian tersebut, penambahan garam sebesar 10, 20, dan 40 gram menghasilkan penurunan sulfur rata-rata masing-masing sebesar 7,10%, 8,72%, dan 10,48%, dengan penambahan 40 gram memberikan penurunan tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan adanya potensi penggunaan garam dalam proses penurunan kadar sulfur, meskipun tingkat penurunan yang diperoleh masih relatif terbatas.

Magnesium oksida (MgO) digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan tambahan yang dikombinasikan dengan media garam kasar dan air laut. MgO merupakan oksida basa yang dapat digunakan dalam sistem perlakuan berbasis pencampuran basah. Penggunaannya dalam penelitian ini memungkinkan evaluasi kombinasi antara media berbasis garam dengan bahan berbasis oksida pada kondisi operasi yang relatif sederhana. Dibandingkan dengan pendekatan yang menggunakan oksidator atau reagen kimia yang lebih agresif, penggunaan MgO dalam penelitian ini diarahkan sebagai bahan tambahan dalam sistem pencampuran basah. Namun, penelitian ini tidak melakukan perbandingan eksperimental langsung antara MgO dan adsorben atau agen desulfurisasi lainnya, sehingga penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menyatakan bahwa MgO lebih unggul dibandingkan bahan lain.

Pemilihan garam kasar dan air laut sebagai media perlakuan didasarkan pada perbedaan karakteristik komposisi keduanya. Garam kasar memiliki NaCl sebagai komponen dominan, sedangkan air laut mengandung berbagai ion terlarut, seperti Na^{+}, Cl^{-}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, dan SO_4^{2-}. Perbedaan komposisi tersebut memberikan dasar untuk mengevaluasi apakah penggunaan media dengan kandungan garam yang lebih terkonsentrasi menghasilkan tingkat penurunan sulfur yang berbeda dibandingkan dengan air laut. Penggunaan kedua media dalam kombinasi dengan MgO pada kondisi operasi yang sama juga memungkinkan pengaruh jenis media dan rasio media terhadap MgO dibandingkan secara langsung. Namun, penelitian ini tidak melakukan karakterisasi langsung terhadap spesiasi sulfur, produk reaksi, atau perubahan permukaan MgO, sehingga pengaruh media dalam penelitian ini dievaluasi berdasarkan perubahan kadar sulfur sebelum dan sesudah perlakuan.

Meskipun penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penambahan garam dapat menurunkan kadar sulfur batubara, masih terdapat beberapa aspek yang belum dikaji. Penelitian Purnomo et al. (2023) berfokus pada pengaruh penambahan garam terhadap kadar sulfur, tetapi belum mengevaluasi kombinasi garam kasar dengan MgO pada berbagai rasio pencampuran. Selain itu, penggunaan garam kasar–MgO belum dibandingkan secara langsung dengan air laut–MgO pada kondisi operasi yang sama. Pengaruh perubahan rasio antara media dan MgO terhadap efektivitas penurunan sulfur juga belum dikaji secara sistematis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang

membandingkan kedua kombinasi tersebut untuk mengetahui pengaruh variasi rasio media terhadap penurunan kadar sulfur batubara.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komparatif kombinasi garam kasar–MgO dan air laut–MgO dengan variasi rasio pencampuran 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, dan 3:1 pada kondisi operasi yang sama. Proses dilakukan menggunakan metode pencampuran basah (*wet mixing/impregnation*) dengan ukuran partikel batubara 0,250 mm, massa batubara 5 g, suhu 60 °C, dan waktu pengadukan selama 2 jam. Variasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan proporsi media dan MgO terhadap penurunan kadar sulfur serta menentukan rasio perlakuan yang memberikan hasil terbaik.

Berdasarkan perbedaan komposisi kedua media dan hasil penelitian terdahulu mengenai penggunaan garam dalam penurunan kadar sulfur batubara, penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa kombinasi garam kasar–MgO akan menghasilkan penurunan kadar sulfur yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi air laut–MgO pada kondisi operasi yang sama. Ekspektasi tersebut didasarkan pada perbedaan komposisi media, khususnya kandungan NaCl yang lebih dominan pada garam kasar dibandingkan komposisi ion yang lebih beragam pada air laut. Hipotesis tersebut diuji secara empiris melalui perbandingan kadar sulfur sebelum dan sesudah perlakuan pada setiap variasi rasio. Karena penelitian ini tidak mencakup karakterisasi spesiasi sulfur maupun produk reaksi, perbedaan efektivitas yang diperoleh digunakan untuk mengevaluasi hubungan empiris antara jenis media dan penurunan kadar sulfur, bukan untuk menetapkan mekanisme reaksi secara langsung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi garam kasar–MgO dan air laut–MgO dalam proses desulfurisasi batubara serta menentukan rasio campuran yang menghasilkan penurunan kadar sulfur paling tinggi. Kadar sulfur sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis berdasarkan ASTM D4239 menggunakan *Sulfur Analyzer* LECO S832 pada suhu 1350 °C. Hasil analisis digunakan untuk menentukan persentase penurunan kadar sulfur pada setiap variasi perlakuan. Dengan membandingkan hasil setiap variasi rasio pada kondisi operasi yang sama, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai efektivitas penggunaan garam kasar

dan air laut sebagai media dalam kombinasi dengan MgO untuk proses desulfurisasi batubara.

Metode

Penelitian dilaksanakan pada Agustus–September 2025 di Laboratorium PT. Borneo Prima, Murung Raya, Kalimantan Tengah. Sampel batubara yang digunakan merupakan batubara coking yang berasal dari BUA, Murung Raya. Garam kasar diperoleh dari Jeneponto, Sulawesi Selatan, air laut berasal dari Bontang, Kalimantan Timur, sedangkan magnesium oksida (MgO) diperoleh dari PT Magnesium Gosari Internasional, Gresik.

Batubara dipreparasi melalui proses penghancuran, pengeringan, penghalusan, dan pengayakan hingga diperoleh ukuran partikel 0,250 mm. Proses desulfurisasi dilakukan menggunakan metode pencampuran basah (*wet mixing/impregnation*). Sebanyak 5 g batubara dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian direndam menggunakan media garam kasar + MgO dan air laut + MgO dengan variasi rasio masing-masing 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, dan 3:1. Proses pencampuran dilakukan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 60 °C selama 2 jam. Setelah proses selesai, sampel difiltrasi dan dikeringkan sebelum dilakukan analisis kadar sulfur. Prosedur preparasi dan pencampuran tersebut mengikuti tahapan penelitian yang digunakan dalam tugas akhir.

Analisis kadar sulfur

Kadar sulfur batubara sebelum dan sesudah proses desulfurisasi dianalisis menggunakan metode ASTM D4239 dengan Sulfur Analyzer LECO S832. Untuk setiap pengukuran, sebanyak 0,2 g sampel batubara ditimbang dan dianalisis melalui proses pembakaran pada suhu 1350 °C. Hasil pengukuran digunakan untuk memperoleh kadar sulfur total dalam sampel batubara.

Persentase penurunan kadar sulfur dihitung berdasarkan perbedaan kadar sulfur sebelum dan sesudah proses desulfurisasi menggunakan persamaan :

$$\text{Penurunan Sulfur (\%)} = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100$$

dengan :

- S_0= kadar sulfur batubara sebelum proses desulfurisasi (%);
- S_1= kadar sulfur batubara setelah proses desulfurisasi (%).

Nilai penurunan sulfur selanjutnya digunakan untuk membandingkan efektivitas masing-masing variasi rasio media garam kasar + MgO dan air laut + MgO.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan garam kasar dengan MgO serta air laut dengan MgO terhadap penurunan kadar sulfur pada batubara. Analisis dilakukan dengan membandingkan kadar sulfur sebelum dan sesudah proses pencucian dengan variasi konsentrasi dan rasio pencampuran.

Tabel 1. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan Garam + MgO (rasio 1:1, 1:2, 1:3).

Konsentrasi Garam : MgO	Sebelum pencucian	Hasil Pencucian	Penurunan	Rata - rata
1:1 (5% : 5%)	3.00	2.50	16.67	15.67
	2.94	2.55	13.27	
	2.93	2.48	15.36	
	2.94	2.45	16.67	
	2.93	2.48	15.36	
	2.99	2.49	16.72	
1:2 (5% : 10%)	3.00	2.51	16.33	15.11
	2.94	2.50	14.97	
	2.93	2.50	14.68	
	2.94	2.49	15.31	
	2.93	2.53	13.65	
	2.99	2.52	15.72	
1:3 (5% : 15%)	3.00	2.69	10.33	11.45
	2.94	2.62	10.88	
	2.93	2.61	10.92	
	2.94	2.59	11.90	
	2.93	2.62	10.58	
	2.99	2.57	14.05	

Tabel 2. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan garam + MgO (rasio 1:1, 2:1, 3:1).

Konsentrasi Garam : MgO	Sebelum pencucian (%)	Hasil Pencucian (%)	Penurunan (%)	Rata - rata (%)
1:1 (5% : 5%)	3.00	2.50	16.67	15.67
	2.94	2.55	13.27	
	2.93	2.48	15.36	
	2.94	2.45	16.67	
	2.93	2.48	15.36	
	2.99	2.49	16.72	
2:1 (10% : 5%)	3.00	2.40	20.00	17.82
	2.94	2.43	17.35	
	2.93	2.41	17.75	
	2.94	2.40	18.37	
	2.93	2.43	17.06	
	2.99	2.50	16.39	
3:1 (15% : 5%)	3.00	2.33	22.33	22.67
	2.94	2.29	22.11	
	2.93	2.26	22.87	
	2.94	2.27	22.79	
	2.93	2.28	22.18	
	2.99	2.28	23.75	

Grafik 1. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan garam + MgO (rasio 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1).



Grafik di atas sudah menampilkan perbandingan hasil rata-rata penurunan sulfur pada batubara:

a. Garam + MgO → memberikan penurunan kadar sulfur yang lebih tinggi, terutama pada rasio 3:1 (15%:5%) dengan penurunan sulfur tertinggi 22,67%.
b. Garam + MgO → memberikan penurunan kadar sulfur yang lebih rendah, pada rasio 1:3 (5% : 15%) dengan penurunan sulfur terendah 11,45%.

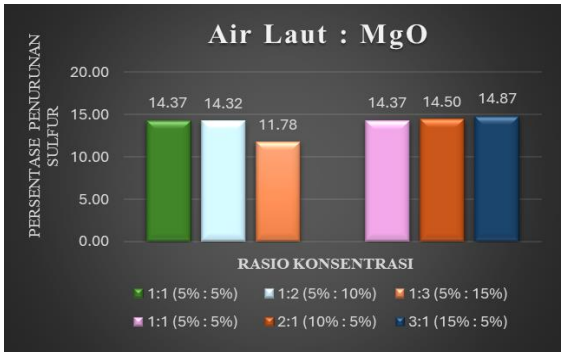
Tabel 3. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan air laut + MgO (rasio 1:1, 1:2, 1:3).

Konsentrasi Air Laut : MgO	Sebelum pencucian (%)	Hasil Pencucian (%)	Penurunan (%)	Rata - rata (%)
1:1 (5% : 5%)	3.00	2.53	15.67	14.37
	2.94	2.54	13.61	
	2.93	2.56	12.63	
	2.94	2.50	14.97	
	2.93	2.52	13.99	
	2.99	2.53	15.38	
1:2 (5% : 10%)	3.00	2.53	15.67	14.32
	2.94	2.47	15.99	
	2.93	2.56	12.63	
	2.94	2.54	13.61	
	2.93	2.53	13.65	
	2.99	2.56	14.38	
1:3 (5% : 15%)	3.00	2.54	15.33	11.78
	2.94	2.60	11.56	
	2.93	2.61	10.92	
	2.94	2.58	12.24	
	2.93	2.65	9.56	
	2.99	2.66	11.04	

Tabel 4. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan air laut + MgO (rasio 1:1, 2:1, 3:1).

Konsentrasi Air Laut : MgO	Sebelum pencucian (%)	Hasil Pencucian (%)	Penurunan (%)	Rata - rata (%)
1:1 (5% : 5%)	3.00	2.53	15.67	14.37
	2.94	2.54	13.61	
	2.93	2.56	12.63	
	2.94	2.50	14.97	
	2.93	2.52	13.99	
	2.99	2.53	15.38	
2:1 (10% : 5%)	3.00	2.54	15.33	14.50
	2.94	2.50	14.97	
	2.93	2.50	14.68	
	2.94	2.46	16.33	
	2.93	2.55	12.97	
	2.99	2.61	12.71	
3:1 (15% : 5%)	3.00	2.53	15.67	14.87
	2.94	2.57	12.59	
	2.93	2.55	12.97	
	2.94	2.47	15.99	
	2.93	2.55	12.97	
	2.99	2.42	19.06	

Grafik 2. Kadar sulfur sebelum dan sesudah pencucian menggunakan garam + MgO (rasio 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1).



Grafik di atas sudah menampilkan perbandingan hasil rata-rata penurunan sulfur pada batubara:

a) Air Laut + MgO → memberikan penurunan kadar sulfur yang lebih tinggi, terutama pada rasio 3:1 (15% : 5%) dengan penurunan sulfur tertinggi 14,87%.
b) Air Laut + MgO → memberikan penurunan kadar sulfur yang lebih rendah, pada rasio 1:3 (5% : 15%) dengan penurunan sulfur terendah 11,78

Berdasarkan hasil pengukuran, kombinasi garam kasar–MgO menunjukkan penurunan kadar sulfur yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi air laut–MgO pada kondisi penelitian ini.

Dari sisi penerapan, hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan kombinasi garam kasar–MgO sebagai salah satu tahap perlakuan awal (*pre-treatment*) batubara sebelum pembakaran. Penurunan kadar sulfur sebesar 22,67% pada rasio 3:1 menunjukkan bahwa perlakuan tersebut dapat mengurangi sebagian sulfur yang terdapat dalam batubara pada skala laboratorium. Secara konseptual, berkurangnya kandungan sulfur dalam bahan bakar dapat berkontribusi terhadap pengurangan potensi pembentukan SO_2 pada saat pembakaran. Namun, penelitian ini tidak melakukan pembakaran batubara setelah perlakuan dan tidak mengukur emisi SO_2 secara langsung, sehingga besarnya pengurangan emisi SO_2 belum dapat ditentukan dari hasil penelitian ini.

Penerapan pada skala industri masih memerlukan penelitian lanjutan untuk menentukan kebutuhan air dan MgO, waktu kontak, metode pemisahan padatan–cairan, pengelolaan larutan sisa pencucian, serta pemulihan atau pembuangan residu. Selain itu, uji skala yang lebih besar diperlukan untuk mengevaluasi konsistensi kinerja proses dan kelayakan ekonominya sebelum teknologi diterapkan pada sistem pengolahan batubara secara komersial.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai optimasi penggunaan garam kasar dengan MgO dan air laut dengan MgO terhadap proses desulfurisasi batubara, maka dapat disimpulkan :

1) Kombinasi garam kasar–MgO mampu menurunkan kadar sulfur batubara pada seluruh variasi rasio yang diuji. Kondisi dengan penurunan tertinggi diperoleh pada rasio 3:1 (15% garam kasar : 5% MgO), yaitu sebesar 22,67%. Kombinasi air laut–MgO juga menghasilkan penurunan sulfur, dengan nilai tertinggi sebesar 14,87% pada rasio 3:1 (15% air laut : 5% MgO).
2) Pada kondisi penelitian ini, kombinasi garam kasar–MgO menunjukkan penurunan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan air laut–MgO. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jenis media dan rasio pencampuran merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses desulfurisasi. Namun, karena penelitian ini tidak mencakup analisis spesiasi sulfur, karakterisasi produk reaksi, maupun uji statistik untuk membandingkan seluruh perlakuan, hasil tersebut belum dapat digunakan untuk menetapkan mekanisme reaksi atau signifikansi statistik perbedaan antarperlakuan.
3) Hasil penelitian menunjukkan potensi kombinasi garam kasar–MgO sebagai perlakuan awal desulfurisasi batubara, tetapi penerapan pada skala industri masih memerlukan penelitian lanjutan. Penelitian berikutnya disarankan mencakup analisis bentuk sulfur, karakterisasi perubahan mineral atau permukaan MgO, pengujian pada variasi suhu dan waktu, perbandingan dengan bahan desulfurisasi lain, uji skala yang lebih besar, serta analisis kebutuhan bahan dan aspek ekonomi proses.

Daftar Referensi

Arief, Dharma. "Pengukuran salinitas air laut dan peranannya dalam ilmu kelautan." Jurnal Oseana 9.1 (1984): 3-10.

Ashar, A., & Cristhin Hande, A. A. (2022). Pra Perancangan Pabrik Pembuatan Magnesium Oksida Dari Dolomit Dengan Proses Leaching Kapasitas 16.600 Ton/Tahun (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Ujung Pandang).

Batubara Bituminus Dengan Aktivasi Tunggal H3Po4, Kombinasi H3Po4-

Cibro, L. P. H., & Mora, M. (2020). Pengaruh Massa Magnesium Oksida (MgO) dan Alumina (Al2O3) Terhadap Karakteristik Keramik Kordierit dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. Jurnal Fisika Unand, 9(3), 292-298.

Dan Pendidikan Kimia, 12, 87–94. http://sains.uho.ac.id/index.php/journal

Doli Jumat Rianto. (2022). Analisis Pengaruh Kadar Air (Total Moisture) Batubara Terhadap Nilai Kalori Batubara di Front Penambangan. Formosa Journal of Multidisciplinary Research, 1(2), 257–268.

Hidayatulloh, A., Taslimah, & Haris, A. (2021). Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Penentuan Kandungan Logam Magnetik Komponen Penyusun Abu. 14(1), 1– 3.

https://doi.org/10.14710/reaktor.17.2.74-80

https://doi.org/10.55927/fjmr.v1i2.582

Kapeluszna, E., Szudek, W., Wolka, P., & Zieliński, A. (2021). Implementation of alternative mineral additives in low-emission sustainable cement composites. Materials, 14(21). https://doi.org/10.3390/ma14216423

Kecamatan Rantau Pandan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi. Mine Magazine, 7(1), 283.

Kuntaarsa, A. (2020). Desulfurisasi Batubara dengan Metode Flotasi menggunakan Gel Lidah Buaya. Teknologi Technoscientia, 12(2), 102–113.

Kusdarini, E., Budianto, A., & Ghafarunnisa, D. (2017). Produksi Karbon Aktif Dari

Lolo, A., Patandean, C. F., & Ruslan, E. (2020). Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong Dengan Metode Aas (Atomic Absorption Spectrophotometer) Di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. Jurnal Geocelebes, 4(2), 102–110. https://doi.org/10.20956/geocelebes.v4i2.8928

Malik, Y. (2023). Akurasi dan Presisi Analisis Kadar Nikel (Ni) pada Sampel Nikel Laterit Menggunakan X-Ray Fluorescence Spectometry (XRF). Jurnal Kimia

Nh4Hco3, Dan Termal. Reaktor, 17(2), 74–80.

Nur, Z., Oktavia, M., & Desmawita. (2019). Analisis Kualitas Batubara Di Pit Dan Stockpile Dengan Metoda Analisis Proksimat Di Pt. Surya Anugrah Sejahtera

Pengurangan Kadar Sulfur pada Batubara Sub-Bituminus. Jurnal Saintis, 4(1), 41-48.

Purnomo, R. H., Syaiful, A. Z., & Gazali, A. (2023). Pengaruh Garam Kasar terhadap

Rahmad, B., Raharjo, S., Pramudiohadi, W., & Ediyanto. (2020). Gambut,

Rismana E, Nizar. 2014. Kajian proses produksi garam aneka pangan menggunakan

Rismayatika, F., Ikhsanti, H., & Tirani, N. R. (2019). Identifikasi Perubahan Salinitas Air Di Perairan Sekitar Pembangunan Reklamasi Citraland City Kota Makassar Menggunakan Citra Landsat 8. In Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke (Vol. 6, pp. 41-47).

Siswanti, Nana Dyah dkk. (2010). Jurnal Desulfurisasi Batubara Menggunakan Udara Dan Air, Surabaya.

Sugianto, F. I., Andy, R., Wijaya, E., Putra, B. P., Studi, P., Pertambangan, T.,

Sulaiman Fatah, S. I. B. (2014). Desulfurisasi Batubara Bayah Dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Kalsium Hipoklorit. 1–5.

sumber beberapa bahan baku. J Chem Prog. 7(1) : 25-28.

Suri, T. M., Sair, A., & Yusuf, S. (2021). Sejarah Penambangan Batubara Bukit Asam di Tanjung Enim. HISTORIA: Jurnal Program Studi Pendidikan Sejarah, 9(1), 87. https://doi.org/10.24127/hj.v9i1.2672

Teknologi, F., & Babarsari, J. (2020). Quality Control Batubara Dari Channel- Pit Menuju Stockpile Pt. Kuasing Inti Makmur. Mining Insight, 01(01), 43– 52.

Wahyuni, I. P., Amir, A., & Nurjanah, R. (2020). Hubungan kausalitas ekspor batubara dengan pertumbuhan ekonomi Provinsi Jambi. E-Journal Perdagangan Industri Dan Moneter, 8(1), 23–30. https://doi.org/10.22437/pim.v8i1.7617

Yuwanto, S. H., Syah, A., & Bahar, H. (2024). Analisis Proksimat untuk Menentukan Jenis dan Kualitas Batubara. Senastitan Iv. *Lantana camara* Linn. *Int J Pharm Bio Sci*. 4(1): 81-90.