

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>

REACTOR
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



Desulfurisasi Batubara Dengan Metode *Leaching* Menggunakan Gel Lidah Buaya

Alfia Wahyuni ¹, Diva Amanda Tanjung ¹, Iqbal Hapsauqi ², Reni Desmiarti ¹, Erda Rahmilaila Desfitri ^{3*}

¹ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Jl. Gajah Mada Gunung Pangilun, Padang, 25143, Indonesia

² Coal Laboratory, PT Geoservices, Jl. By Pass No.KM. 25 Batipuh Panjang, Padang, 25586, Indonesia

³ Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Jl. Gajah Mada Gunung Pangilun, Padang, 25143, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: August 21, 2024
Revised: October 05, 2024
Accepted: October 08, 2024

KEYWORDS

Aloe Vera, Coal, Desulfurization, Leaching, Saponin

CORRESPONDENCE*

Name: Erda Rahmilaila Desfitri
E-mail: rahmilaila@bunghatta.ac.id

A B S T R A C T

Coal is still the world's main energy source, widely used in power generation, steel production materials, cement industry, alumina processing plant paper factories and other chemical industries. Burning coal with high sulfur content produces sulfur dioxide gas (SO₂), which can directly or indirectly disrupt the environment and contribute to air pollution and the formation of acid rain. Therefore, desulfurization has become an interesting research topic to improve coal quality. In this research, coal desulfurization is carried out using aloe vera gel as a solvent. 300 ml of aloe vera gel was contacted with 50 grams of coal using a magnetic stirrer with varying stirring speeds of 500 and 750 rpm, for duration 2, 3, 5 and 7 hours. Then, separated, dried, and analyzed for sulfur content, ash content, and calorific value. The results showed that the sulfur content decreased by 19.11% to 24.61%, the ash content decreased by 8.51% to 12.56%, and the calorific value was obtained respectively 6439cal/g, 6381 cal/g, 6433 cal/g, and 6467 cal/g.

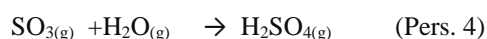
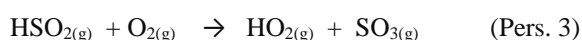
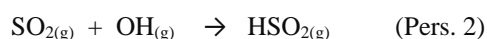
PENDAHULUAN

Batubara menjadi salah satu sumber energi utama di dunia yang masih banyak digunakan dalam sektor pembangkit listrik, bahan produksi baja, industri semen, pusat pengolahan alumina, pabrik kertas, serta industri kimia lainnya. Pembakaran batubara berkadar sulfur tinggi menghasilkan gas sulfur dioksida (SO₂) (Pers. 1). Hasil reaksi ini secara langsung maupun tidak langsung dapat mengganggu lingkungan hidup dan dapat menyebabkan gangguan pernapasan.



Hasil reaksi pembakaran ini juga berkontribusi pada pencemaran udara dan membentuk hujan asam. Seperti yang terlihat pada persamaan 2, 3, dan 4. Dampak yang ditimbulkan hujan asam bagi lingkungan akan mengganggu ekosistem perairan, mengganggu pertumbuhan tanaman, kerusakan tanah, menurunkan

kualitas udara dan mempercepat erosi tanah sehingga menyebabkan longsor.



Selain itu, pembentukan SO₂ yang tinggi akan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca, sehingga dapat menyebabkan perubahan iklim. Untuk mengurangi sulfur dari batubara, beberapa penelitian sudah dilakukan peneliti sebelumnya. Desulfurisasi batubara dengan metode *leaching* menggunakan ekstrak belimbing wuluh dengan variasi ukuran partikel batubara dan waktu pelindian [1], desulfurisasi batubara menggunakan metode *leaching* menggunakan NaOH dan HCl dengan variasi waktu, suhu, ukuran partikel, konsentrasi NaOH, dan konsentrasi HCl [2], desulfurisasi batubara dengan metode flotasi dengan lidah buaya varias jumlah gel lidah buaya dan laju alir udara [3], desulfurisasi batubara dengan metode flotasi menggunakan larutan petai cina

variasi perbandingan bahan, laju alir udara, dan waktu kontak [4], desulfurisasi batubara dengan metode *leaching* menggunakan pelarut asam klorida (HCl) variasi perbandingan konsentrasi HCl [5], pengembangan metode desulfurisasi berbasis lidah buaya dalam meningkatkan kualitas batubara sumatera dengan variasi sampel batubara dan volume gel lidah buaya [6], desulfurisasi batubara bayah dengan metode *leaching* menggunakan pelarut kalsium hipoklorit dengan variasi temperatur dan konsentrasi $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ [7].

Para peneliti sebelumnya sudah melakukan beberapa metode desulfurisasi menggunakan bahan kimia yang dapat mencemarkan lingkungan, menggunakan proses yang membutuhkan teknologi dan peralatan yang lebih kompleks. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan dengan proses yang lebih sederhana yaitu metode *leaching* dengan bahan pelarut gel lidah buaya yang lebih mudah dibudidayakan dan didapatkan. Gel lidah buaya mengandung saponin yang bersifat sebagai kolektor untuk merubah sifat permukaan mineral yang tadinya senang air menjadi tidak suka air dengan cara menurunkan tegangan permukaan dan frother sebagai zat untuk menstabilkan gelembung-gelembung udara dalam air. Saponin merupakan surfaktan alami yang mengandung molekul-molekul yang mengandung gugus hidrofilik (suka air) dan hidrofobik (tidak suka air) pada molekul yang sama. Surfaktan terbagi menjadi dua bagian yaitu kepala dan ekor. Gugus hidrofilik berada di bagian kepala (polar) dan hidrofobik di bagian ekor (non-polar). Bagian polar molekul surfaktan dapat bermuatan positif, negatif atau netral. Umumnya bagian non polar (hidrofobik) adalah merupakan rantai alkil yang panjang, sementara bagian yang polar (hidrofilik) mengandung gugus hidroksil [3].

Proses *leaching* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang akan menentukan keberhasilan proses desulfurisasi [8]:

1. Ukuran partikel
Semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat terjadinya kontak antara padatan terhadap cairan. Semakin besar ukuran suatu partikel maka semakin lama proses difusi cairan.
2. Pengadukan
Semakin cepat laju pengadukan pada suatu partikel maka partikel tersebut akan semakin cepat terdistribusi yang membuat permukaan kontak antar partikel semakin luas. Semakin lama waktu pengadukan maka proses difusi akan semakin lama dan pemakaian energi juga semakin besar.
3. Temperatur
Semakin tinggi temperatur maka akan semakin cepat proses ekstraksi dan semakin cepat laju reaksi yang membuat tumbukan antar partikel semakin banyak.

4. Pelarut

Semakin rendah viskositasnya maka akan semakin lambat proses ekstraksi.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan proses desulfurisasi dengan memanfaatkan gel lidah buaya. Adapun kelebihan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya terletak pada metode yang lebih sederhana dibandingkan dengan metode flotasi yang membutuhkan alat yang banyak dan sulit diaplikasikan di lapangan. Selain itu, metode desulfurisasi dengan proses *leaching* lebih ramah lingkungan dan lebih hemat dibandingkan desulfurisasi menggunakan pelarut HCl dan NaOH. Penerapan desulfurisasi menggunakan lidah buaya dapat membuka lapangan kerja baru bagi petani untuk membudayakan lidah buaya.

METODOLOGI

Alat

Alat yang digunakan melibatkan magnetic stirrer, *vaccum buchner pump*, *beaker glass*, *volumetric glass*, *blender*, kertas saring, dan neraca analitik. Analisa dilakukan dengan menggunakan kalorimeter PARR 6200 untuk menentukan nilai kalori dan *Furnace Infra-Red Sulphur* (IRS) Leco untuk analisis kadar sulfur, pembakaran dengan *furnace* dengan suhu 450-750 °C untuk analisis kadar abu, X-ray *Fluorescence* (XRF) untuk analisa meentukan oksidasi logam dari batubara dan spektrofotometri UV-Vis untuk analisa kadar saponin pada gel lidah buaya.

Metode

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan: persiapan bahan; desulfurisasi; dan Analisa. Tahapan Analisa yang dilakukan adalah analisa spektrofotometri UV-Vis, XRF, kadar sulfur, kadar abu dan nilai kalor pada batubara.

Persiapan Bahan Pada Batubara

Batubara ukuran 0,250 mm ditimbang sebanyak 50 gr, dianalisa kadar sulfur, kadar abu, dan nilai kalor batubara sebelum desulfurisasi menggunakan standar (ASTM D4239-12,2018), (ASTM D3174-11,2020), dan (ASTM D5865-11a, 2019) [9,10,11].

Analisis Sulfur

Analisa kadar sulfur dilakukan dengan standar (ASTM D4239-12, 2018). Dengan pembakaran suhu tinggi (1350°C) yang dibantu oleh oksigen menghasilkan gas, kemudian gas difilter untuk menghilangkan partikulat dan kelembapan, gas yang telah difilter dideteksi penyerapan inframerah A, lalu akan otomatis terbaca di komputer.

Analisa Kadar Abu

Analisa kadar abu dilakukan dengan standar (ASTM D3174-11, 2020). Cawan dan tutupnya terlebih dahulu, lalu ditambahkan batubara sebanyak 1 gr, kemudian cawan dan tutupnya yang berisi batubara dilakukan pembakaran menggunakan *furnace* dengan temperatur 450-500°C selama 1 jam, dan pembakaran *furnace* kembali dengan temperatur 700-750°C dengan waktu 2 jam. Cawan dikeluarkan dari tungku, lalu didinginkan selama 3 menit di *plate* aluminium dan dilanjutkan pendinginan 5 menit di desikator.

Jumlah kadar abu dihitung dengan rumus:

$$\% \text{ kadar abu} = [(A-B)/C] \times 100 \quad (1)$$

Keterangan

A = Berat kapsul, penutup, dan sisa abu (g)

B = Berat kapsul kosong dan penutup (g)

C = Bobot sampel analisa yang digunakan (g)

Analisa Nilai Kalor

Analisa nilai kalor menggunakan metode (ASTM D5865-11a, 2019). Batubara ditimbang 1 gram didalam gelas kimia dan dipasang diantara *port* silinder. Lalu pemasangan kabel yang akan dihubungkan ke terminal bomb. Lalu *bomb* diinjeksi oksigen hingga 25 atm. Pada wadah kalorimeter ditambah air dengan volume standar. Bomb yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam bejana kalorimeter tepat pada posisinya, kemudian bomb dihubungkan elektroda dan dilakukan pengadukan. Identitas sampel dimasukkan kedalam mikroprosessor. Nilai kalori akan terukur otomatis dan muncul pada komputer.

Persiapan Bahan Gel Lidah Buaya

Kulit lidah buaya disayat untuk pengambilan daging lidah buaya. Kemudian daging lidah buaya dihaluskan menggunakan blender dan dianalisa kandungan saponin menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

Proses Desulfurisasi Batubara Metode Leaching

Batubara ditimbang sebanyak 50 gram dan lidah buaya diukur volume sebanyak 300 ml. kemudian dimasukkan ke dalam gelas piala. Dilakukan pengadukan dengan bantuan magnetic stirrer dengan variasi waktu 2, 3, 5, dan 7 jam dengan variasi kecepatan pengadukan 500 dan 750 rpm. Lalu dilakukan penyaringan menggunakan pompa vacuum buchner. Selanjutnya dilakukan penggerusan dan dilakukan penjemuran dibawah sinar matahari dan dilakukan analisa akhir batubara.

Prosedur Analisa

Sampel batubara sebelum dan setelah desulfurisasi dilakukan analisa kadar sulfur (ASTM D4239-12(2018)), kadar abu (ASTM D3174-11 (2020)), nilai kalor (ASTM D5865-11a (2019)).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Batubara

Penentuan karakteristik awal batubara dilakukan dengan beberapa metode, analisa kadar sulfur dilakukan dengan ASTM D4239-12 (2018), Analisa kadar abu dilakukan dengan ASTM D3174-11 (2020), dan Analisa nilai kalor dilakukan dengan ASTM D5865-11a (2019).

Tabel 1. Karakteristik Awal Batubara

Parameter Analisa	Kadar		
	A	B	C
Kualitas			
Kadar Sulfur (%)	2,24	3,02	3,82
Kadar Abu (%)	10,65	18,49	12,43
Nilai Kalor (cal/g)	6140	5882	6677

Tabel 2. Karakteristik Awal Batubara Sampel C

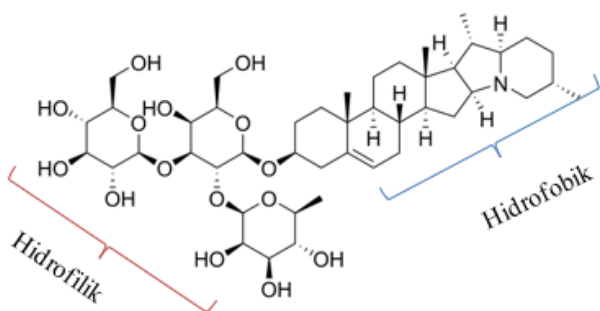
Komponen	%
Al ₂ O ₃	7,074
SiO ₂	14,336
P ₂ O ₅	4,344
SO ₃	37,546
K ₂ O	1,857
CaO	3,939
TiO ₂	0,995
V ₂ O ₅	0,028
Cr ₂ O ₃	0,024
Mn	0,046
Fe ₂ O ₃	27,956
NiO	0,027
CuO	0,362
ZnO	0,172
Ga ₂ O ₃	0,011
GeO ₂	0,014
As ₂ O ₃	0,033
Rb ₂ O	0,023
SrO	0,07
ZrO ₂	0,041
Ag ₂ O	0,973
In ₂ O ₃	0
BaO	0,032
Eu ₂ O ₃	0,073
OsO ₄	0
IrO ₂	0
PbO	0,024

Diketahui dari hasil XRF diatas, SO₃ merupakan oksida logam tertinggi, sehingga perlu dilakukan desulfurisasi dengan menggunakan lidah buaya. Pada penelitian sebelumnya didapatkan hasil analisa XRF dari oksida SO₃ batubara sebesar 41,288 % [2].

Analisa Kandungan Saponin Pada Lidah Buaya

Kandungan saponin pada lidah buaya dianalisa menggunakan spektrofotometri UV-Vis, kadar saponin

pada gel lidah buaya adalah 1,2667%. Saponin memiliki sifat sebagai surfaktan alami yang dapat mengikat sulfur pada batubara. Dalam proses desulfurisasi, saponin digunakan untuk pemisahan sulfur dari batubara dengan cara menurunkan tegangan permukaan batubara sehingga saponin lebih mudah masuk ke dalam pori-pori batubara. Mekanisme ini melibatkan interaksi saponin yang mengubah sifat permukaan mineral, sehingga sulfur yang bersifat hidrofilik dapat terlepas dari batubara yang umumnya hidrofobik. Surfaktan memiliki dua bagian dengan sifat yang berbeda yaitu bagian hidrofilik (suka air) dan bagian hidrofobik (tidak suka air). Bagian surfaktan yang mengikat sulfur pada batubara adalah struktur hidrofilik dari molekul surfaktan, seperti gel lidah buaya. Struktur ini berinteraksi dengan sulfur yang bersifat hidrofilik, memungkinkan pembentukan kompleks antara surfaktan dan sulfur. Sehingga menurunkan tegangan permukaan dan mengubah sifat permukaan batubara dari hidrofobik menjadi hidrofilik, sehingga sulfur dapat terlepas terbawa oleh air yang terkandung didalam gel lidah buaya. Hal ini juga selaras dengan penelitian sebelumnya [6].



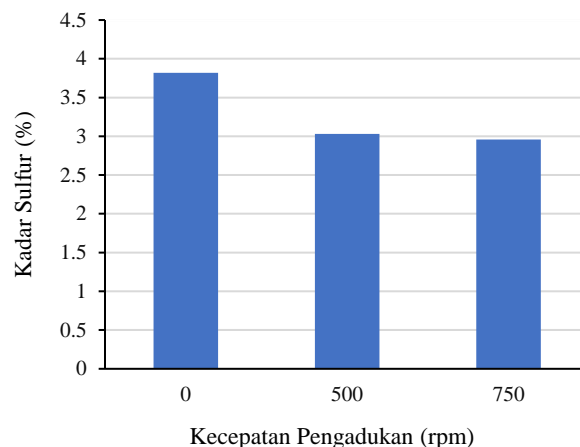
Gambar 1. Struktur Kimia Saponin [13]

Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar Sulfur

Pada gambar 2 didapatkan kadar sulfur awal dari batubara yaitu sebesar 3,82%. Setelah dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 500 rpm didapatkan kadar sulfur sebesar 3,03% dan pada kecepatan pengadukan 750 rpm didapatkan kadar sulfur sebesar 2,69%. Semakin naik kecepatan pengadukan maka kandungan sulfur pada batubara akan menurun. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya [14], [15], yang menjelaskan kecepatan pengadukan merupakan faktor pengaruh proses *leaching*.

Pada gambar 2 didapatkan kadar sulfur awal dari batubara yaitu sebesar 3,82%. Setelah dilakukan pengadukan dengan kecepatan pengadukan 500 rpm didapatkan kadar sulfur sebesar 3,03% dan pada kecepatan pengadukan 750 rpm didapatkan kadar sulfur sebesar 2,69%. Semakin naik kecepatan pengadukan maka kandungan sulfur pada batubara akan menurun. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya [11], [12],

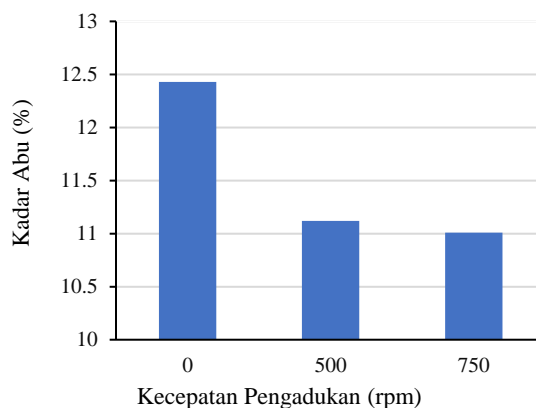
yang menjelaskan kecepatan pengadukan merupakan faktor pengaruh proses *leaching*. Ini dikarenakan ketika kecepatan pengadukan meningkat maka partikel akan terdistribusi dalam luas permukaan kontak akan lebih luas terhadap pelarut yaitu gel lidah buaya. Lidah buaya mengandung saponin akan berfungsi sebagai surfaktan untuk menurunkan tegangan permukaan antara sulfur dan batubara, sehingga sulfur lebih mudah lepas dari batubara dan mengurangi kadar sulfur pada batubara.



Gambar 2. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar Sulfur

Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar Abu

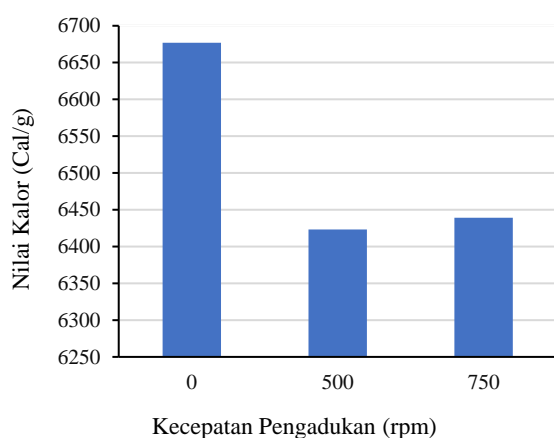
Dalam penelitian ini ditemukan bahwa penambahan gel lidah buaya juga dapat menurunkan kadar abu. Penurunan kadar abu yang diperoleh sebesar 10,54% dan 11,42%. Hal ini juga selaras dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [12]. Kadar abu yang tinggi dalam batubara dapat mempengaruhi nilai kalor saat dibakar, semakin tinggi kadar abu maka semakin rendah nilai kalor. Selain itu, kadar abu yang tinggi dapat mempengaruhi tingkat korosi pada peralatan yang dilaluinya [16].



Gambar 3. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar Abu

Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Nilai Kalor

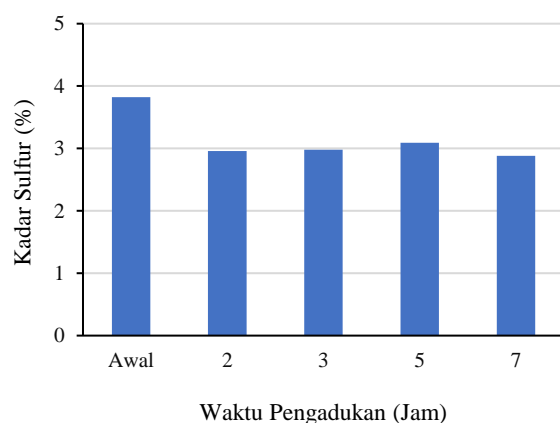
Dalam penelitian ini ditemukan penamnanan gel lidah buaya dapat menurunkan nilai kalor, nilai kalor awal sebesar 6677 cal/g, pada pengadukan 500 rpm sebesar 6423 cal/g, dan pada pengadukan 750 rpm 6439 cal/g. Nilai kalor batubara mempengaruhi kualitas batubara, semakin tinggi nilai kalor batubara maka semakin rendah kadar abunya, dan semakin optimal panas yang dihasilkan pada proses pembakarannya. Nilai kalor berbanding terbalik dengan kadar sulfur. Semakin tinggi nilai kalor maka kadar sulfur akan semakin rendah. Kualitas kalor batubara ditentukan oleh maseral dan mineral penyusun batubara. Adanya kandungan sulfur dalam batubara dapat mempengaruhi sifat- sifat pembakaran [17].



Gambar 4. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Nilai Kalor

Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kadar Sulfur

Penurunan kadar sulfur pada batubara dengan variasi waktu pengadukan 2, 3, 5, dan 7 jam didapatkan hasil yang fluktuatif dengan kadar sulfur berturut-turut sebesar 3,82%, 2,96%, 2,98%, 3,09%, dan 2,88%. Kondisi operasi yang optimal didapatkan pada waktu pengadukan 2 jam diperoleh kadar sulfur 2,96% dengan penurunan 22,51%.

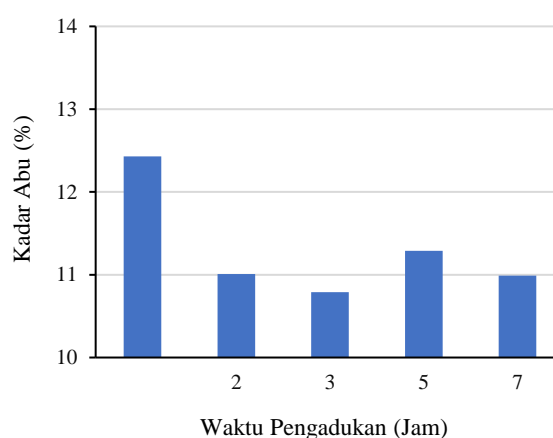


Gambar 5. Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kadar Sulfur

Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya [2]. Semakin lama waktu pengadukan maka semakin lama juga waktu kontak antara pelarut dengan batubara sehingga larutan lidah buaya yang mengandung saponin mampu menghilangkan kandungan sulfur batubara.

Pengaruh Waktu Pegadukan Terhadap Kadar Abu

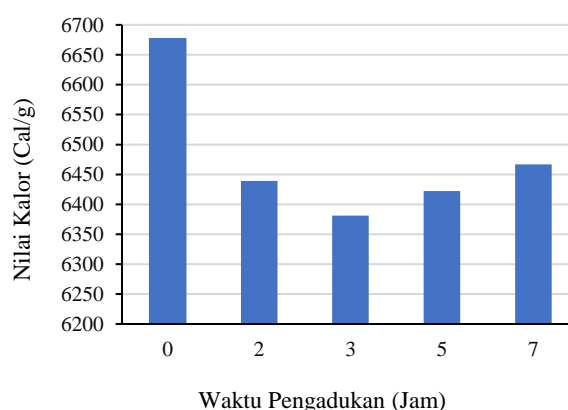
Penurunan kadar abu pada batubara dengan variasi waktu pengadukan 2, 3, 5, dan 7 jam didapatkan hasil kadar abu berturut-turut sebesar 12,43%, 11,01%, 10,79%, 11,29%, dan 10,99%. Kadar abu yang tinggi akan mengurangi nilai kalor pada batubara. Selain itu, kadar abu yang tinggi juga dapat mengakibatkan polusi apabila dibakar. Hal ini selaras dnegan penelitian sebelumnya [18]. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa penambahan gel lidah buaya juga dapat menurunkan kadar abu seperti yang dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kadar Abu

Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Kalor

Dalam penelitian ini diperoleh nilai kalor berturut-turut sebesar 6677 cal/g, 6439 cal/g, 6381 cal/g, 6422 cal/g, dan 6467 cal/g. Nilai kalor batubara mempengaruhi kualitas batubara, semakin tinggi nilai kalor batubara maka jumlah abu akan menurun, sehingga panas yang dihasilkan pada batubara saat pembakaran lebih maksimal.



Gambar 7. Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Kalor

Selain itu, semakin tinggi kadar sulfur maka nilai kalor batubara rendah dan sebaliknya, kualitas kalori batubara ditentukan oleh maseral dan mineral penyusun batubara. Adanya kandungan sulfur dalam batubara dapat mempengaruhi sifat-sifat pembakaran. [2] dalam penelitian ini ditemukan waktu pengadukan berpengaruh terhadap nilai kalor.

KESIMPULAN

Kandungan saponin yang digunakan untuk menurunkan kadar sulfur, kadar abu, dan nilai kalor sebesar 1,2667%. Penurunan kadar sulfur berkisaran antara 19-24%, adalah solusi inovatif dan ramah lingkungan untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh sulfur dengan metode yang ramah lingkungan. Kondisi optimum untuk desulfurisasi dengan metode *leaching* menggunakan gel lidah buaya pada kecepatan pengadukan 750 rpm dengan waktu 2 jam dengan penurunan kadar sulfur sebesar 22,51%. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan pengaruh suhu pada proses desulfurisasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Amin dkk., Desulfurisasi Batubara Menggunakan Larutan Ekstrak Belimbing Wuluh (*Everrhoa Bilimbi L*), *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, Vol 16, No.2, pp 44, 2019, [10.14710/presipitasi.v16i2.44-52](https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i2.44-52).
- [2] S. Widodo dan S. Sufriadin, Desulfurisasi dan Deashing pada Batubara Menggunakan NaOH Dan HCl Sebagai Leaching Agent, *Jurnal Geomine*, Vol. 7, pp. 67-78, [10.33536/jg.v7i1.342](https://doi.org/10.33536/jg.v7i1.342).
- [3] A. Kuntaarsa and P. Subagyo, “Desulfurisasi Batubara dengan Metode Flotasi Menggunakan Gel Lidah Buaya”, *Technoscientia*, Vol. 12, No. 2, pp. 102–113, Jan. 2020, <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v12i2.2380>
- [4] A. Ilcham, Desulfurisasi Batubara Secara Batch Pada Kolom Tegak Dengan Metoda Flotasi Larutan Daun Petai Cina, *J. Teknol. Proses dan Inov. Ind.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 55–59, 2020. [10.36048/jtpii.v5i2.6643](https://doi.org/10.36048/jtpii.v5i2.6643).
- [5] S. Maidi And Yunasril, “Desulfurisasi Batubara Dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Asam Klorida (HCl),” *J. Bina Tambang*, Vol. 5, No. 2, Pp. 218–227, 2020. <https://doi.org/10.24036/bt.v5i2.108021>.
- [6] I. Hapsauqi, E. Rahmilaila, D. Farrah, And F. Hanum, “Development Of Aloe Vera-Based Desulfurization Method To Improve The Quality Of Sumatra ' S Coal,” Vol. 14, Pp. 73–80, 2024. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i2.699>
- [7] F. Sulaiman, “Desulfurisasi Batubara Bayah Dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Kalsium Hipoklorit,” Pp. 1–5, 2014.
- [8] A.Nurfaidah dkk, Pengaruh Suhu dan Konsentrasi terhadap Proses Pemisahan Nikel dari Logam Pengotor Menggunakan Metode Leaching. *Fluida*. Vol. 13. 81-92, 2020, [10.35313/fluida.v13i2.2388](https://doi.org/10.35313/fluida.v13i2.2388).
- [9] ASTM D3174-11. (2020). Standard Test Method for Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, (Reapproved 2018), 1–5. doi: 10.1520/D3174-11.2.
- [10] ASTM D4239-12. (2018). Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 12(c), 1–6. doi: 10.1520/D4239-12.2.
- [11] ASTM D5865-11a. (2019). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 11(c), 1–19. doi: 10.1520/D5865-11A.2.
- [12] AF. Abdillah, Studi Karakteristik Mineral Pirit Pada Seam Batubara A2 Dan C Di Pit 1 Utara Penambangan Banko Barat Pt. Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan." PhD diss., Universitas Negeri Padang, 2021.
- [13] P. Anggraeni Putri, M. Chatri, And L. Advinda, “Characteristics Of Saponin Secondary Metabolite Compounds In Plants Karakteristik Saponin Senyawa Metabolit Sekunder Pada Tumbuhan,” *Serambi Biol.*, Vol. 8, No. 2, Pp. 251–258, 2023. <https://doi.org/10.24036/srmb.v8i2.207>
- [14] A. T. Eni Budiayati, “Pengaruh Kecepatan Putaran Pengaduk Terhadap Konsentrasi Polifenol, Kca, Dan De Pada Ekstraksi Polifenol Dari Kulit Apel Malang,” *Simp. Nas. Raoi*, Vol. 13, Pp. 82–88, 2019.
- [15] A. N. Prayudo, O. Novian, Setyadi, And Antaresti, “Koefisien Transfer Massa Kurkumin Dari Temulawak,” *J. Ilm. Widya Tek.*, Vol. 14, No. 1, pp. 26–31, 2015. <https://doi.org/10.33508/wt.v14i1.1739>
- [16] N. Azzani, “Analisis Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalori pada Batubara di Unit Kiln pada PT. Semen Tonasa,” *Kementerian Perindustrian R.I. Politek. Ati Makassar*, pp. 1–51, 2019
- [17] MI. Syahputera, dkk. “Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Biaya Produksi Listrik,” *Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, Pp. 474–483, 2018.
- [18] Z. Ulma, M. Handayani, A. Nur Rizkia Putri, And C. Firdaus Ivana, “Effect Of Compression On

Moisture Content, Content, Ash, And Calorific Value Of Cow Dung Biogas Sludge Briquette,” *J. Pengendali. Pencemaran Lingkungan.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 81–86, 2021, <https://doi.org/10.35970/jppl.v3i2.961>