

Desulfurisasi Batubara Dengan Metode Flotasi Pada Pengoptimalan Reagen Buah Lerak

Fitri Alda Anzani^{1a}, Edy Nursanto¹, Indri Lesta Siwidiani¹

¹UPN "Veteran" Yogyakarta

Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta,
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Yogyakarta 55283 Indonesia

^aemail: aldaaanzani@gmail.com

ABSTRACT

The coal used in this study was taken from the Tenggara District located in the Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province. Astronomically, the location of the coal sampling in Tenggara District is at coordinates approximately 0°27' South Latitude and 117°8' East Longitude. The research location is at the Pengolahan Mineral Laboratory, Major of Mining Engineering, Faculty of Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta, campus 1, using flotation tool. This flotation process uses the XFD-III laboratory single cell flotation machine. Coal flotation is a separation technique used to enhance the quality of coal by separating contaminants, such as sulfur compounds and other impurities, from the coal. In this process, air bubbles are generated from the stirring process. Coal that has hydrophilic properties (water-attracting) can mix with water. Desulfurization of coal using soapberry reagents through flotation methods has proven effective in reducing the sulfur content present in coal. The soapberry, which contains saponin compounds, aids in the separation of sulfur from the coal. The highest sulfur content was found at the 100 mesh size due to the very small size of the coal, making it easier to be carried away by bubbles, resulting in less effective cleaning. The optimal reagent for reducing sulfur levels is at 150 ml because there is a significant decrease in sulfur from 100 ml to 150 ml, and it has not yet reached the saturation point.

Keywords: Desulfurization, Coal, Lerak.

ABSTRAK

Batubara yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Kecamatan Tenggara terletak di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Secara astronomis lokasi pengambilan sampel batubara di Kecamatan Tenggara berada pada koordinat sekitar 0°27' Lintang Selatan dan 117°8' Bujur Timur Tempat penelitian berada di Laboratorium Pengolahan Mineral, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan "Veteran" Yogyakarta kampus 1 menggunakan alat Flotasi. Proses flotasi ini menggunakan mesin flotasi sel tunggal laboratorium XFD-III. Flotasi batubara adalah teknik pemisahan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara dengan memisahkan kontaminan, seperti senyawa sulfur dan bahan pengotor lainnya dari batubara. Dalam proses ini, gelembung udara dihasilkan dari proses pengadukan, Batubara yang memiliki sifat hidrofilik (suka terhadap air) dapat bercampur dengan air. Desulfurisasi batubara menggunakan reagen buah lerak dengan metode flotasi terbukti mampu untuk menurunkan kandungan sulfur yang ada pada batubara. Kandungan sulfur tertinggi ditemukan pada ukuran 100 mesh disebabkan oleh ukuran batubara yang sangat kecil sehingga lebih mudah terbawa oleh gelembung mengakibatkan pembersihannya menjadi kurang efektif. Reagen yang optimal dalam penurunan kadar sulfur berada pada 150 ml karena pada reagen 100 ml ke 150 ml terdapat penurunan sulfur yang signifikan, serta belum berada pada titik jenuh.

Kata Kunci: Desulfurisasi, Batubara, Lerak.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Desulfurisasi adalah proses untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan sulfur dari berbagai bahan seperti minyak mentah, gas alam, atau batubara. Sulfur bisa hadir dalam bentuk senyawa organik atau anorganik, dan tujuan dari desulfurisasi adalah untuk mengurangi dampak negatif sulfur, terutama saat bahan tersebut dibakar atau digunakan dalam industri. Metode yang digunakan yaitu metode flotasi, metode flotasi ini sering diterapkan dalam industri pertambangan untuk memisahkan mineral bernilai dari bijih atau untuk memisahkan berbagai jenis material dalam campuran. Reagen yang

digunakan pada penelitian ini yaitu dari Buah lerak yang mengandung saponin alami yang menjadikannya reagen yang efektif dan ramah lingkungan dalam proses desulfurisasi batubara. Penggunaan buah lerak dalam proses desulfurisasi batubara bertujuan untuk menurunkan kandungan sulfur dalam batubara melalui metode yang ramah lingkungan.

Flotasi batubara adalah teknik pemisahan yang digunakan untuk meningkatkan kualitas batubara dengan memisahkan kontaminan, seperti senyawa sulfur dan bahan pengotor lainnya dari batubara. Proses ini melibatkan pencampuran batubara dengan air dan bahan kimia khusus, yang disebut reagen, dalam sebuah tangki yang dilengkapi dengan alat

pengaduk. Dalam proses ini, gelembung udara dihasilkan dari proses pengadukan, Batubara yang memiliki sifat hidrofilik (suka terhadap air) dapat bercampur dengan air. Sedangkan batubara yang memiliki sifat hidrofobik (sukar terhadap air) akan menempel pada gelembung udara yang terbawa ke permukaan larutan dan membentuk buih, sehingga dapat dipisahkan dari cairan tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Seberapa besar efektivitas desulfurisasi menggunakan buah lerak untuk mengurangi kadar sulfur pada batubara.
2. Seberapa besar dampak negatif lingkungan dalam penggunaan reagen buah lerak pada proses flotasi.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah :

1. Keefektifan desulfurisasi menggunakan reagen buah lerak batubara.
2. Dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan dari penggunaan reagen buah lerak.

1.4. Tempat Penelitian

Tempat penelitian berada di Laboratorium Pengolahan Mineral, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan "Veteran" Yogyakarta kampus 1 menggunakan alat Flotasi. Proses flotasi ini menggunakan mesin flotasi sel tunggal laboratorium XFD-III. Sebelum melakukan pengujian adapun beberapa tahapan yang dilakukan yaitu, tahapan awal preparasi conto batubara, setelah itu preparasi buah lerak dan preparasi media. Untuk preparasi conto batubara, menggunakan alat jaw crusher dan rod mill yang ada di laboratorium Pengolahan Mineral.

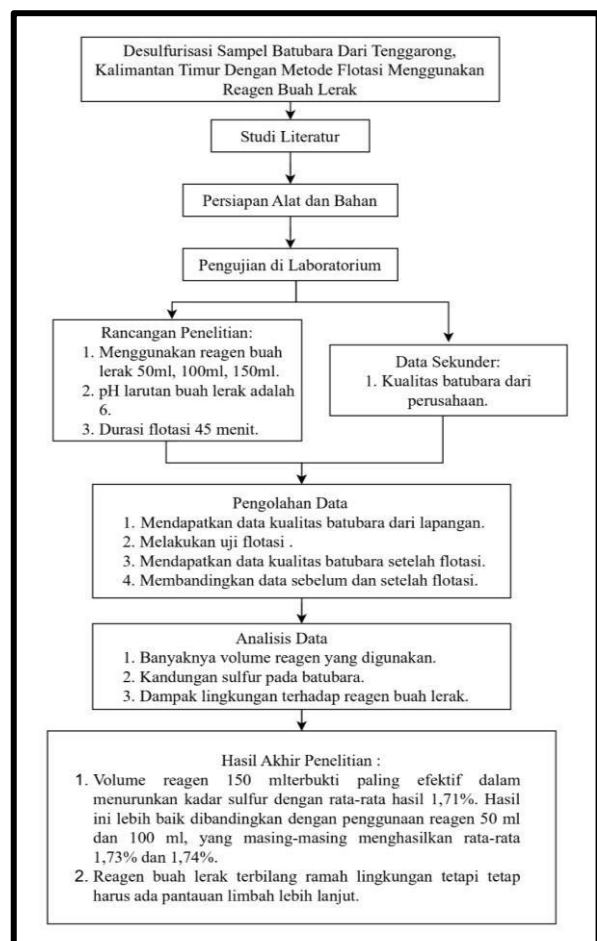
II. METODE

2.1. Tahapan Penelitian

Metodologi penelitian berisi langkah-langkah dan parameter yang digunakan dalam penelitian. Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengambilan sampel, preparasi conto batubara, preparasi lerak, preparasi media, proses flotasi, dan analisis data.

Pengambilan sampel batubara yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Mangkurawang, Kecamatan Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Secara geografis dibatasi oleh titik koordinat 0°20'32,82" S dan E 116°57'50,172". Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Pengolahan Mineral, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "veteran" Yogyakarta. Tujuan preparasi yaitu untuk mereduksi ukuran sampel untuk mempersiapkan sampel agar dapat dianalisis lebih lanjut. Peralatan preparasi

sampel batubara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jaw crusher, rodmill dan ayakan. Preparasi sampel terdiri dari beberapa tahapan yaitu crushing and grinding dan pengayakan. Ayakan adalah alat yang digunakan untuk menyaring batubara yang telah digerus menggunakan rodmill. Ayakan yang digunakan yaitu 35, 65 dan 100 mesh. Kemudian dilakukan persiapan pengujian sampel menggunakan metode flotasi dengan menggunakan mesin flotasi, dan reagen menggunakan larutan buah lerak sebanyak 50 ml, 100 ml, dan 150 ml. setelah dilakukan proses flotasi selanjutnya pengolahan data, pengolahan data dilakukan untuk memperoleh hasil dari penelitian dan parameter pengujian. Kemudian hasil, untuk memperoleh kesimpulan dan hasil akhir penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

III. PEMBAHASAN

Kondisi yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Jumlah Batubara	= 200 gram
Waktu	= 45 menit
Volume larutan	= 50 ml, 100 ml, 150 ml
Ukuran Partikel	= 35 mesh, 65 mesh dan 100 mesh

3.1. Kualitas Batubara

Sampel batubara yang diperoleh dari Kecamatan Tenggarong diukur berdasarkan beberapa parameter penting yang memiliki kualitas dengan berbagai karakteristik. Kandungan sulfur pada batubara sebelum dilakukan flotasi masih tinggi yaitu 4.19% dengan itu dilakukan flotasi agar adanya penurunan sulfur. Kualitas sampel batubara ada pada Tabel 1. sebagai berikut :

Tabel 1. Kualitas Sampel Batubara

Parameter Kualitas Batubara	Satuan	Jumlah
Massa	gram	7.435
Total Moisture	% ar	14,94
Moisture	% adb	11,12
Ash	% adb	8,94
Volatile Matter	% adb	39,44
Fixed Carbon	% adb	40,95
Sulfur	% adb	4,19
Kalori	Kcal/kg adb	5.886

Sumber : Pengujian PT Geoservices Balikpapan

3.2. Uji Flotasi

Proses flotasi dilakukan pada batubara dengan menggunakan reagen buah lerak menunjukkan penurunan kadar sulfur yang signifikan. Untuk kualitas sampel batubara setelah flotasi ada pada Tabel 2. dengan sebagai berikut :

Tabel 2. Kualitas Sampel Batubara Setelah Flotasi

Ukuran Partikel/Larutan	Total Moisture	Moisture	Ash	Volatile Matter	Fixed Carbon	Sulfur	Kalori
mesh/ml	% ar	% adb	% adb	% adb	% adb	% adb	cat/g adb
35/50	6,51	6,43	3,09	44,60	45,88	1,72	6.872
35/100	7,74	6,63	2,92	45,08	45,37	1,70	6.828
35/150	11,41	6,84	2,88	44,82	45,46	1,70	6.773
65/50	7,22	6,62	3,86	44,79	44,73	1,66	6.798
65/100	6,12	6,12	2,82	44,27	44,79	1,68	6.838
65/150	7,46	6,86	3,02	44,39	45,73	1,68	6.740
100/50	11,25	7,70	2,91	44,42	46,97	1,82	6.614
100/100	8,44	7,70	2,12	42,67	47,51	1,84	6.683
100/150	6,2	6,20	3,40	43,57	46,83	1,76	6.662

Sumber : Pengujian Mineral dan Batubara tekMira di Bandung

Sebelum proses flotasi, kadar sulfur pada batubara tercatat sebesar 4,19%. Setelah dilakukan flotasi menggunakan 50 ml reagen buah lerak, kadar sulfur berkurang menjadi 1,72% untuk ukuran 35 mesh, 1,66% untuk ukuran 65 mesh, dan 1,82% untuk ukuran 100 mesh. Ketika volume reagen ditingkatkan menjadi 100 ml, kadar sulfur yang tercatat adalah 1,70% pada ukuran 35 mesh, 1,68% pada ukuran 65 mesh, dan 1,84% pada ukuran 100 mesh. Sementara itu, penggunaan reagen sebanyak 150 ml menghasilkan kadar sulfur sebesar 1,70% pada ukuran 35 mesh, 1,68% pada ukuran 65 mesh, dan 1,76% pada ukuran 100 mesh. Data ini menunjukkan bahwa reagen buah lerak efektif dalam menurunkan kadar sulfur batubara, meskipun peningkatan volume reagen tidak selalu berbanding lurus dengan penurunan kadar sulfur yang lebih besar, terutama pada ukuran partikel yang lebih kecil.

Pada uji flotasi menggunakan reagen buah lerak dengan rancangan percobaan dibagi menjadi tiga volume yaitu 50 ml, 100 ml dan 150 ml. Pemilihan Volume ini berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Abdullah Kuntaarsa dan Purwo

Subagyo (2020). Menunjukkan bahwa setiap volume memiliki tingkat efektivitas yang berbeda dalam menurunkan kadar sulfur pada batubara. Dengan menguji ketiga volume tersebut agar lebih memahami bagaimana perubahan jumlah reagen mempengaruhi hasil flotasi.

3.3. Analisis Hasil Penelitian

Penelitian desulfurisasi batubara menggunakan reagen buah lerak dengan metode flotasi menghasilkan perubahan kualitas batubara dan efektivitas proses penurunan kadar sulfur pada batubara.

Tabel 3. Hasil Flotasi Reagen Buah Lerak 50 ml

Mesh	Hidropobik		Hidrofilik		Hasil Akhir (gr)	Kehilangan (gr)
	Basah (gr)	Kering (gr)	Basah (gr)	Kering (gr)		
	a	b	c	d		
35	149,6	39	175	110	149	51
65	78,8	46,7	253	151,9	199	1,4
100	360,6	94,6	90,2	44,7	139	60,7

Tabel 4. Hasil Flotasi Reagen Buah Lerak 100 ml

Mesh	Hidropobik		Hidrofilik		Hasil Akhir (gr)	Kehilangan (gr)
	Basah (gr)	Kering (gr)	Basah (gr)	Kering (gr)		
	a	b	c	d		
35	163,7	45,2	200	98	143	56,8
65	99,9	55,5	190	48,2	104	96,3
100	803,2	107,7	86,4	33	141	59,3

Tabel 5. Hasil Flotasi Reagen Buah Lerak 150 ml

Mesh	Hidropobik		Hidrofilik		Hasil Akhir (gr)	Kehilangan (gr)
	Basah (gr)	Kering (gr)	Basah (gr)	Kering (gr)		
	a	b	c	d		
35	152,9	38,2	154,9	39,7	78,3	121,7
65	103	60,2	152	89,4	150	50,4
100	1542,8	109,3	77,3	9	118	81,7

Menggunakan reagen buah lerak untuk desulfurisasi batubara menunjukkan efektivitas yang cukup menjanjikan, karena kandungan saponin yang ada pada buah lerak. Saponin berperan penting sebagai surfaktan alami yang menurunkan tegangan permukaan air, memudahkan pembentukan dan stabilitas gelembung udara dalam proses flotasi. Sehingga batubara yang bersifat hidrofobik menempel pada gelembung dan terangkat ke permukaan untuk dipisahkan sebagai buih.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas reagen buah lerak dalam desulfurisasi batubara dengan metode flotasi. Rancangan penelitian dimulai dengan tahapan preparasi sampel batubara yaitu menghancurkan dan menyaring batubara menjadi ukuran partikel dengan mesh 35, 65 dan 100. Setelah preparasi batubara langkah selanjutnya adalah preparasi reagen buah lerak dan preparasi media sehingga didapatkan tiga variasi volume reagen yang digunakan yaitu 50 ml, 100 ml dan 150 ml, digunakan untuk mengetahui pengaruh jumlah reagen terhadap efektivitas penurunan sulfur. Pencampuran dilakukan dengan air keran yang disesuaikan hingga mencapai pH optimal 6 untuk flotasi. Volume ini dipilih berdasarkan hasil penelitian awal dan literatur yang menunjukkan bahwa variasi tersebut dapat

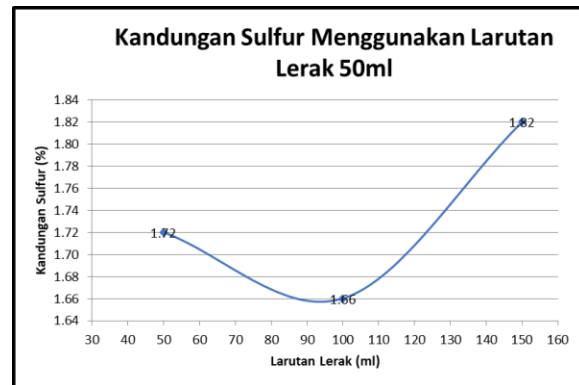
memberikan hasil yang signifikan dalam proses desulfurisasi. Selanjutnya proses flotasi dilakukan menggunakan media campuran reagen dan air dengan batubara dari setiap ukuran mesh. Proses ini dilakukan selama 45 menit karena durasi tersebut dianggap optimal untuk memaksimalkan pemisahan sulfur. Dalam flotasi, partikel sulfur yang bersifat hidrofobik akan terikat dengan gelembung udara dan terpisah sebagai buih.

Keefektifan reagen buah lerak dalam menurunkan sulfur dapat ditingkatkan dengan mengatur konsentrasi reagen dan beberapa parameter operasional lainnya, seperti ukuran partikel batubara dan pH larutan reagen. Hasil optimal tetap bergantung pada jenis batubara yang digunakan dan kondisi selama proses flotasi. Maka dari penelitian sudah ditentukannya volume reagen yang optimal yaitu dengan perbandingan 50 ml, 100 ml dan 150 ml. Asumsi jumlah reagen yang digunakan sebagai komposisi bahan penelitian berdasarkan penelitian oleh Abdullah Kuntaarsa dan Purwo Subagyo (2020) dimana penelitiannya dengan menggunakan gel lidah buaya yang bervariasi yaitu 150 ml, 200 ml, 250 ml dan 300 ml jumlah kandungan saponin pada lidah buaya 5,651% sedangkan kandungan saponin pada buah lerak sebanyak 12% maka dari itu penelitian ini menggunakan reagen buah lerak dengan sejumlah 50 ml, 100 ml dan 150 ml karena dua kali lipat lebih banyak kandungan saponinnya.

Volume tersebut merupakan variasi yang cukup untuk mengidentifikasi titik optimal dalam menurunkan kadar sulfur dan lebih efektif dibandingkan volume yang lebih kecil seperti 30 ml atau 60 ml, terutama jika batubara yang diuji mengandung sulfur tinggi. Jarak variasi volume yang lebih besar memberikan data yang lebih jelas mengenai pengaruh peningkatan volume terhadap proses flotasi. Selain itu volume ini memastikan volume reagen yang cukup untuk bereaksi dengan sulfur dan memaksimalkan pemisahan. Dari segi praktis volume yang lebih besar juga memudahkan pencampuran dan pengukuran di laboratorium serta lebih relevan untuk skala industri. Dengan demikian pemilihan volume ini mendukung akurasi dan konsistensi hasil penelitian, sekaligus meminimalkan keberagaman dan kesalahan dalam eksperimen.

3.4. Kualitas Batubara Setelah Flotasi Menggunakan Reagen Buah Lerak

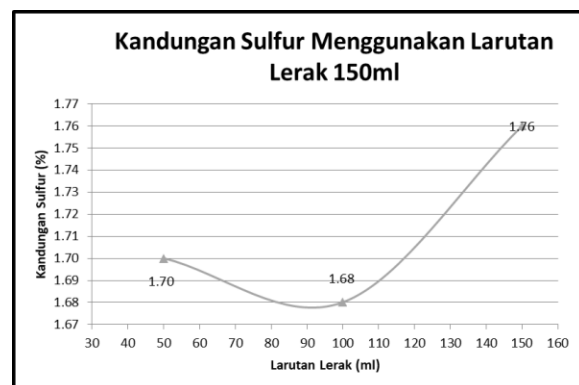
Pengujian flotasi batubara yang dilakukan pada Laboratorium Pengolahan Mineral, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan "Veteran" Yogyakarta diuji kembali untuk mengetahui penurunan kadar sulfur di Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara tekMira Bandung, didapatkan kualitas Batubara yang telah mengalami perubahan. Kandungan sulfur pada hasil flotasi terlihat menurun dapat dilihat pada Gambar 2., Gambar 3., Gambar 4.



Gambar 2. Grafik Kualitas Sulfur Batubara Sesudah Uji Flotasi Menggunakan Larutan Lerak 50 ml



Gambar 3. Grafik Kualitas Sulfur Batubara Sesudah Uji Flotasi Menggunakan Larutan Lerak 100 ml



Gambar 4. Grafik Kualitas Sulfur Batubara Sesudah Uji Flotasi Menggunakan Larutan Lerak 150 ml

3.5. Dampak Penggunaan Reagen Buah Lerak Pada Lingkungan

Penggunaan reagen buah lerak dalam proses flotasi menawarkan keuntungan dari sisi keberlanjutan lingkungan, terutama dibandingkan dengan surfaktan sintesis. Buah lerak mengandung saponin, yaitu biosurfaktan alami yang mampu menurunkan tegangan permukaan air dan memisahkan sulfur dari batubara. Karena bersifat *biodegradable*, biosurfaktan seperti saponin cenderung tidak menimbulkan pencemaran berbahaya seperti yang sering dikaitkan dengan surfaktan kimia sintesis.

Menurut beberapa penelitian, biosurfaktan tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga efektif dalam mengurangi kontaminan berbahaya pada air dan tanah. Selain itu, biosurfaktan dapat mendukung bioremediasi dengan meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang membantu degradasi polutan. Oleh karena itu, penggunaannya dalam proses pengolahan batubara dipandang lebih aman bagi ekosistem.

Biosurfaktan seperti saponin dari buah lerak dianggap aman, tetap perlu dilakukan studi jangka panjang untuk memastikan bahwa residu atau senyawa hasil pemecahan tidak mempengaruhi biota air atau kualitas tanah secara negatif. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa konsentrasi dan durasi penggunaan biosurfaktan memerlukan kontrol ketat agar dampak positif tetap maksimal tanpa memicu akumulasi senyawa tertentu yang bisa berbahaya bagi lingkungan dalam jangka panjang.

Penggunaan reagen buah lerak dalam flotasi batubara memang menawarkan keunggulan sebagai alternatif ramah lingkungan, tetapi juga memiliki beberapa potensi dampak pada lingkungan. Senyawa utama yang terkandung dalam buah lerak adalah saponin, sejenis biosurfaktan yang dapat menurunkan tegangan permukaan air dan memfasilitasi pemisahan partikel selama proses flotasi.

IV. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Pada pengujian didapatkan bahwa :

1. Desulfurisasi batubara menggunakan reagen buah lerak dengan metode flotasi terbukti mampu untuk menurunkan kandungan sulfur yang ada pada batubara. Buah lerak yang memiliki senyawa saponin membantu dalam proses pemisahan sulfur dari batubara. Kandungan sulfur sebelum dilakukan flotasi yaitu 4,19% dan setelah proses flotasi terjadi penurunan kadar sulfur yang berurutan dari 50 ml, 100 ml, 150 ml pada ukuran 35 *mesh* terdapat 1,72%, 1,70%, dan 1,70%. Ukuran 65 *mesh* terdapat 1,66%, 1,68%, dan 1,68%. Ukuran 100 *mesh* terdapat kandungan sulfur 1,82%, 1,84%, dan 1,76%. Kandungan sulfur tertinggi ditemukan pada ukuran 100 *mesh* disebabkan oleh ukuran batubara yang sangat kecil sehingga lebih mudah terbawa oleh gelembung mengakibatkan pembersihannya menjadi kurang efektif. Reagen yang optimal dalam penurunan kadar sulfur berada pada 150 ml karena pada reagen 100 ml ke 150 ml terdapat penurunan sulfur yang signifikan, serta belum berada pada titik jenuh.
2. Penggunaan reagen buah lerak sebagai surfaktan untuk metode flotasi ini terbilang ramah lingkungan, tetapi ada potensi

dampak negatif lingkungan seperti pencemaran air dan penggunaan sumberdaya yang terlalu berlebihan. Maka dari itu dilakukannya pantauan limbah lebih lanjut pada air dan tanah dan penerapan pengolahan limbah yang efektif seperti filtrasi.

4.2. Saran

Pada proses penelitian ini reagen buah lerak lebih baik tidak disimpan dalam rentang waktu yang terlalu lama dan pada suhu ruangan yang relatif rendah dan penggerusan batubara lebih baik menggunakan alat *pulverizer* karena tidak ada campuran besi saat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Ilcham (2021). Desulfurisasi Batubara secara Batch pada Kolom Tegak dengan Metoda Flotasi Larutan Daun Petai Cina. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 5(2), Hal.55–59.
- Aladin, A. (2009). Penentuan Rasio Optimum Campuran CPO: Batubara Dalam Desulfurisasi dan Deashing Secara Flotasi Sistem Kontinyu. *Jurnal Rekayasa Proses*, 3(2), 50.
- Handayani, T., Resti, A. A., Rahmi, M., & ... (2024). Pemanfaatan Buah Lerak Menjadi Sabun Ramah Lingkungan Pada UMKM Jagakarsa. *Jurnal ...*, 4(4). <https://doi.org/10.59818/jpm.v4i4.719>
- Hawa, L. C., Nada, U. Q., & Sumarlan, S. H. (2023). Karakteristik sifat fisikokimia sabun cuci cair menggunakan sari lerak sebagai surfaktan alami. *Agrointek*, 17(1), 213–223.
- Jaya, D. and Soegondo, E. (2016). Pemanfaatan CPO (Crude Palm Oil) Untuk Desulfurisasi Pada Batubara Menggunakan Metode Flotasi. *Eksergi*, 13(2), p.27.
- Kuntaarsa, A. (2020). Desulfurisasi Batubara dengan Metode Flotasi menggunakan Gel Lidah Buaya. *Teknologi Technoscientia*, 12(2), 102–113.
- Maidi, S. and Yunasril (n.d.). Desulfurisasi Batubara dengan Metode Leaching Menggunakan Pelarut Asam Klorida (HCl). *Jurnal Bina Tambang*, 5(2).
- Muhammad, D. (2020). Studi Potensi dan Kualitas Batubara di Wilayah Tenggara Seberang. *Jurnal Teknik / Majalah Ilmiah Fakultas Teknik Unpak*, 21(1).
- Nadiarani, Utari, T., Yulidar, E. Y., Utami, E. D., & Wibowo, E. R. (2017). Studi pemanfaatan ekstrak buah lerak (sapindus rarak dc) untuk uji solubilisasi dan disolusi ibuprofen. *Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*.
- Oulakhir, A., Lyamlouli, K., Danouche, M., Ouazzani, J., & Benhida, R. (2022). *A critical review on natural surfactants and their potential for sustainable mineral flotation*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 22(1), 105–131.
- Pertanian.go.id. (2019). *Lerak Detergen Organik Dari Alam*. Available at:

- <https://pustaka.setjen.pertanian.go.id/index-berita/lerak-detergen-organik-dari-alam>.
- Putri, R.I., Rahmawati, D. and Rindawati, P.I. (2021). Geologi dan Mekanisme Struktur Geologi di Desa Perjiwa Kecamatan Tenggarong Seberang Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geocelbes*, 5(1), pp.55–62.
- Said, M. and Zainal Fanani (2017). Peningkatan Kualitas Batubara Terhadap Sub-Bituminus Dengan Metode *Froth Flotation*. *Jurnal Penelitian Sains*, 11(3).
- Solikhin, A., Alfajri, M., & Hasyim, R. F. (2011). Pemanfaatan Lerak (Sapindus rarak DC) Sebagai Sabun Nabati Yang Ramah Lingkungan. Skripsi, 2011.
- Widodo, S., Sufriadin, N., Thamrin, M., & Alif, K. (2022). *Reduction of sulfur and ash content on Mallowa's coal using flotation column method*. *AIP Conference Proceedings*.