Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)
Vol. 3, No. 11, November 2023, Hal. 473-478
DOI: https://doi.org/10.52436/1.jpti.211
p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

Penurunan Kadar Sulfur Batubara dengan *Fluidized Bed Desulfurizer* Menggunakan *Saturated Steam*

Ayuri Naurah Maharani[*1], Robert Junaidi[2], Muhammad Yerizam[3]

[1,2,3]Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia
Email: [1]ayurinm7@gmail.com, [2]robert.junaidi@polsri.ac.id, [3]yerizam@polsri.ac.id

Abstrak

Penggunaan batubara berkadar sulfur tinggi sebagai bahan bakar akan menghasilkan gas SO_2 yang dapat mengganggu kesehatan manusia, menyebabkan hujan asam dan korosi pada peralatan pabrik. Akibat permasalahan ini, penggunaan batubara sebagai bahan bakar menjadi tidak ramah lingkungan oleh karena itu pada penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar sulfur di dalam batubara sehingga menjadi ramah lingkungan serta menentukan pengaruh ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* terhadap penurunan kadar sulfur. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah desulfurisasi oksidatif batubara di dalam *Fluidized Bed Desulfurizer* menggunakan uap *steam*. Penelitian ini dilakukan dengan perlakuan variasi ukuran partikel batubara yaitu 0,355, 0,600, dan 1,000 mm dan laju alir *steam* dengan variasi 14,71; 29,44; dan 44,15 L/menit. Sedangkan untuk pengujian/analisa kadar sulfur terhadap batubara sebelum dan sesudah proses desulfurisasi dilakukan menggunakan metode ASTM D4239-18e1. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan perlakuan variasi yang paling optimum yaitu pada sampel 4 dengan variasi ukuran partikel sebesar 0,355 mm dan laju alir sebesar 44,15 L/menit.

Kata kunci: *Batubara, Desulfurisasi Oksidatif, Steam, Sulfur*

Reducing Coal Sulfur Content with Fluidized Bed Desulfurizer Using Saturated Steam

Abstract

The use of coal with high sulfur content as fuel will produce SO_2 gas which can interfere with human health, cause acid rain and corrosion of factory equipment. As a result of this problem, the use of coal as fuel is not environmentally friendly, therefore this study aims to reduce the sulfur content in coal so that it becomes environmentally friendly and determine the effect of coal particle size and steam flow rate on reducing sulfur content. The method used in this research is coal desulfurization oxidation in Fluidized Bed Desulfurizer using steam. This research was conducted by treating coal particle size variations of 0.355, 0.600, and 1,000 mm and steam flow rates with variations of 14.71; 29.44; and 44.15 L/min. As for testing/analyzing the sulfur content of coal before and after the desulfurization process was carried out using the ASTM D4239-18e1 method. Based on the research that has been done, the most optimum variation treatment was found in sample 4 with a particle size variation of 0.355 mm and a flow rate of 44.15 L/minute.

Keywords: *Coal, Oxidative Desulfurization, Steam, Sulfur*

1. PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber energi yang penting bagi dunia sebagai bahan bakar pembangkit listrik saat ini 40 % di seluruh dunia termasuk Indonesia (UGRG, 2020). Batubara merupakan jenis batuan sedimen yang dapat terbakar, tersusun atas sisa-sisa tumbuhan yang mengalami proses pembatubaraan, dan memiliki kandungan karbon (C). Menurut [1] reaksi pembentukan batubara dapat diperlihatkan sebagai berikut:

$$5(C_6H_{10}O_5) \rightarrow C_{20}H_{22}O_4 + 3CH_4 + 8H_2O + 6CO_2 + CO$$

Cellulosa lignit metana air

batubara terdiri dari beberapa tingakatan yaitu gambut/peat ($C_{60}H_6O_{34}$), Lignit ($C_{70}OH_5O_{25}$), Sub-Bituminus ($C_{75}OH_5O_{20}$), Bituminus ($C_{80}OH_5O_{15}$) dan Antrasit ($C_{94}OH_3O_3$).

Batubara merupakan salah satu sumber energi yang penting bagi dunia, yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap di seluruh dunia termasuk Indonesia namun kendala dari pemakaian

p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

batubara yaitu adanya kandungan sulfur hasil dari pembakaran batubara, pembakaran batubara berkadar sulfur tinggi menghasilkan gas SO_2 yang berbahaya terhadap kesehatan manusia, lingkungan serta mengakibatkan korosi pada perlatan pabrik. Standar maksimal kadar sulfur yang terkandung pada batubara adalah di bawah 1 % [2].

Sulfur dalam batubara sangat berbahaya, pembakaran batubara yang mengandung sulfur dapat menghasilkan polutan (SOx). Senyawa ini apabila bereaksi dengan uap air di udara dapat membentuk H_2SO_3 (asam sulfit) dan H_2SO_4 (asam sulfat). Bila kedua asam tersebut terkondensasi di udara dan kemudian jatuh bersama-sama dengan air hujan, maka terjadilah hujan asam [3] oleh karena itu perlu dilakukan usaha pengurangan kadar sulfur untuk mengurangi penyebab terjadinya pencemaran lingkungan yaitu dengan melakukan proses desulfurisasi atau pengurangan kadar sulfur di dalam batubara. Desulfurisasi batubara merupakan suatu proses penurunan kadar sulfur dari batu bara. Kandungan sulfur tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, menyebabkan kerusakan (korosif) dan memperpendek umur alat. Agar batu bara tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar makan terlebih dahulu dilakukan proses desulfurisasi. Desulfurisasi batubara dibutuhkan tidak hanya untuk meminimalkan pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh emisi dari sulfur dioksida selama pembakaran, tetapi juga untuk meningkatkan kualitas batubara [4]. Salah satu metode penghilangan sulfur batubara adalah proses desulfurisasi melalui metode oksidatif.

Sekarang ini telah banyak penelitian mengenai desulfurisasi, hal ini membuktikan bahaya yang ditimbulkan karena pembakaran batubara dengan kadar sulfur yang tinggi berbahaya untuk manusia dan lingkungan. Adapun nama-nama peneliti yang melakukan penelitian mengenai desulfurisasi menggunakan metode oksidatif menggunakan udara dan air [5], [6], namun belum ada yang menggunakan uap steam dalam pengoksidatifan sulfur pada batubara sehingga perlu dilakukan pengkajian proses melalui percobaan-percobaan dan pengujian terhadap karakterisasi untuk proses desulfurisasi dengan menggunakan metode oksidatif dari peneliti sebelumnya.

Metode oksidatif merupakan pengolahan batubara dengan campuran uap *steam* yang bertujuan agar sulfur yang terkandung berukurang sesuai standar yang telah ditetapkan. Penurunan kandungan sulfur pada batubara disebabkan karena oksidasi dari *steam* terhadap batubara, pengoksidasian menyebabkan terjadinya difusi pada sulfur. Metode oksidatif merupakan proses yang paling murah dan sederhana, karena menggunakan regent yang tidak mahal dan tidak beracun di bawah tekanan atmosfer. Pada proses ini batubara dikontakkan dengan campuran uap *steam* di dalam *fluidized bed*. Sulfur pirit yang merupakan kandungan utama dari total sulfur di dalam batubara dikonversi secara selektif dimana produk dari proses ini adalah batubara rendah sulfur, resin yang terbentuk selama dekomposisi termal dari sulfur organik, dan gas desulfurisasi (gas yang mengandung sulfur) yang dapat dikonversi menjadi SO_2 cair dan H_2SO_4 [5].

Dari beberapa penelitian tersebut, proses desulfurisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel batubara, laju alir *steam* atau udara, waktu dan temperatur. Oleh karena itu permasalahan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* terhadap penurunan nilai kadar sulfur batubara pada proses desulfurisasi oksidatif batubara. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menurunkan kadar sulfur dari batubara menggunakan metode desulfurisasi oksidatif dan menentukan pengaruh ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* terhadap penurunan nilai kadar sulfur batubara pada proses desulfurisasi oksidatif batubara menggunakan *saturated steam*. Selanjutnya mandaat dari penelitian ini yaitu mahasiswa mampu menurunkan kadar sulfur batubara dengan menggunakan *steam*, mampu mengurangi emisi SO_2 hasil pembakaran batubara sebagai solusi pencemaran udara dan mampu menjadikan batubara sebagai bahan bakar dengan emisi gas yang ramah lingkungan karena berkurangnya kadar SO_2 yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

Variabel penelitian meliputi variabel bebas dan terikat. Pada penelitian ini ukuran partikel batubara 0,355; 0,600; dan 1,000 mm dan laju alir *steam* 14,71; 29,44; dan 44,15 L/menit sebagai variabel bebas. Sedangkan variabel terikat yang dipakai ialah jenis batubara, berat batubara, temperatur *steam*, dan waktu kontak. Pada Gambar 1 menampilkan gambar alat *Fluidized Bed Desulfurizer* yang dipakai dalam proses desulfurisasi batubara.

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan yaitu batubara jenis sub bituminus dan *saturated steam*. Adapun alat-alat yang digunakan yaitu seperangkat alat *Fluidized Bed Desulfurizer*, stopwatch, spatula, timbangan, gelas kimia, wadah sampel, oven, seperangkat alat siever dan grinder.

p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

Gambar 1. Alat *Fluidized Bed Desulfurizer*

2.2. Teknik Pengumpulan Data dan Pengembangan Instrumen

Pada penelitian ini, proses desulfurisasi batubara jenis sub bituminus dilakukan menggunakan alat *Fluidized Bed Desulfurizer*. Alat *Fluidized Bed Desulfurizer* merupakan alat yang terdiri dari ketel uap dengan kapasitas 5 liter dan pemanas menggunakan *coil* listrik sebagai pemanas untuk menghasilkan *saturated steam*. Pada keluaran *steam* dari boiler dipasang *valve* untuk mengatur laju alir *steam* yang dialirkan dan juga dipasang *pressure gauge* untuk mengetahui tekanan *steam* di dalam ketel uap. Selanjutnya, pada alat ini terdapat kolom *Fluidized Bed Desulfurizer* sebagai tempat pengontakkan antara batubara dan *steam*, sulfur *chamber* yang dilengkapi *rockwool* dan air didalamnya bertujuan untuk mengikat sulfur yang terbawa oleh *steam* agar *steam* yang keluar ke udara tidak mengandung sulfur yang tinggi sehingga tidak merusak udara ambien. Adapun tahapan awal yang dilakukan yaitu menghancurkan dan mengayak batubara dengan perlakuan variasi ukuran partikel batubara yaitu 0,355; 0,600; dan 1,000 mm. Kemudian sampel ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam kolom desulfurisasi untuk selanjutnya dikontakkan dengan *steam* selama 15 menit. Tahap selanjutnya yaitu mengatur *set point* temperatur pada 130 ºC dan mengatur laju alir dengan perlakuan variasi laju alir *steam* yaitu 14,71; 29,44; dan 44,15 L/menit. Perlakuan variasi ini dilakukan dengan tujuan agar didapatkan kondisi optimum dari ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* yang digunakan sehingga didapatkan nilai penurunan kadar sulfur yang besar. Setelah dilakukan proses desulfurisasi menggunakan alat *Fluidized Bed Desulfurizer*, sampel dilakukan analisa kadar sulfur dengan metode [7].

Variabel penelitian meliputi variabel bebas dan terikat. Pada penelitian ini ukuran partikel batubara 0,355; 0,600; dan 1,000 mm dan laju alir *steam* 14,71; 29,44; dan 44,15 L/menit sebagai variabel bebas. Sedangkan variabel terikat yang dipakai ialah jenis batubara, berat batubara, temperatur *steam*, dan waktu kontak. Pada Gambar 1 menampilkan gambar alat *Fluidized Bed Desulfurizer* yang dipakai dalam proses desulfurisasi batubara.

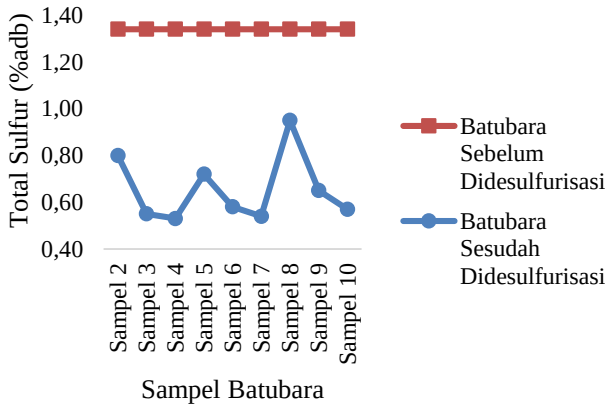
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Penurunan Kadar Sulfur pada Batubara Menggunakan Metode Desulfurisasi Oksidatif dengan Alat *Fluidized Bed Desulfurizer*

Desulfurisasi oksidatif batubara merupakan proses penurunan kadar sulfur pada batubara, dengan proses pengontakan langsung antara batubara dan *steam* secara terus menerus didalam kolom *Fluidized Bed Desulfurizer* sehingga *steam* yang berkontak langsung dengan batubara akan mengurangi kadar sulfur karena terbawa bersama *steam* [6]. Alat *Fluidized Bed Desulfurizer* merupakan alat yang terdiri dari ketel uap dengan kapasitas 5 liter dan pemanas menggunakan *coil* listrik sebagai pemanas untuk menghasilkan *saturated steam*. Pada keluaran *steam* dari boiler dipasang *valve* untuk mengatur laju alir *steam* yang dialirkan dan juga dipasang *pressure gauge* untuk mengetahui tekanan *steam* di dalam ketel uap. Selanjutnya, pada alat ini terdapat kolom *Fluidized Bed Desulfurizer* sebagai tempat pengontakkan antara batubara dan *steam*, sulfur *chamber* yang dilengkapi *rockwool* dan air didalamnya bertujuan untuk mengikat sulfur yang terbawa oleh *steam* agar *steam* yang keluar ke udara tidak mengandung sulfur yang tinggi sehingga tidak merusak udara ambien.

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisa Total Sulfur batubara sebelum dan sesudah desulfurisasi didapatkan penurunan kadar sulfur dari masing-masing sampel, dapat dilihat pada Gambar 2.

p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

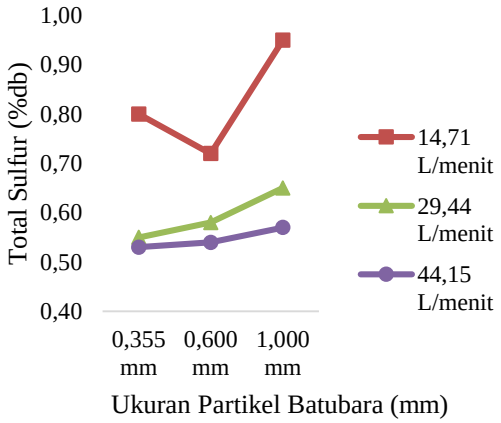


Gambar 2. Grafik Penurunan Kadar Sulfur pada Batubara Menggunakan Metode Desulfurisasi Oksidatif dengan Alat *Fluidized Bed Desulfurizer*

Dari Gambar 2 dapat diamati bahwa pada tiap sampel terjadi proses penurunan kadar sulfur pada batubara menggunakan metode desulfurisasi oksidatif dengan alat *Fluidized Bed Desulfurizer*. Proses penurunan kadar sulfur yang dilakukan didapatkan penurunan kadar sulfur pada batubara yaitu pada sampel 2 sebesar 40,12 %; sampel 3 sebesar 58,98 %; sampel 4 sebesar 60,50 %; sampel 5 sebesar 46,19 %; sampel 6 sebesar 56,68 %; sampel 7 sebesar 59,88 %; sampel 8 sebesar 29,50 %; sampel 9 sebesar 51,85 %; dan sampel 10 sebesar 57,66 %, hal ini membuktikan bahwa ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* berpengaruh terhadap banyaknya penurunan kandungan sulfur, terlihat pada ukuran partikel batubara dan laju alir *steam* yang digunakan terdapat perbedaan penurunan kandungan sulfur pada setiap variasi. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan [6] dimana dalam penelitiannya menyebutkan bahwa peningkatan laju alir oksidan meningkatkan penurunan kadar sulfur dan variasi ukuran partikel batubara terkecil (0,1-0,25 mm) merupakan variasi paling optimum dimana didapatkan penurunan kadar sulfur dari 3,16 % menjadi 1,5 % dengan persentase penurunan kadar sulfur sebesar 52,53 %.

3.2. Analisa Pengaruh Ukuran Partikel Batubara Terhadap Penurunan Kadar Sulfur Batubara dengan Alat *Fluidized Bed Desulfurize*

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah didapatkan pengaruh ukuran partikel batubara terhadap penurunan kadar sulfur batubara menggunakan alat *Fluidized Bed Desulfurizer* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Ukuran Partikel Batubara Terhadap Penurunan Total Sulfur

Dari Gambar 3 dapat diamati bahwa proses desulfurisasi batubara dengan menggunakan *steam* sebagai pengoksidasi dapat menurunkan kadar sulfur dalam batubara yang dipengaruhi oleh ukuran partikel batubara, hal ini dapat dilihat dari Gambar 3 dimana dari proses pengontakan *steam* didapatkan kondisi optimum desulfurisasi

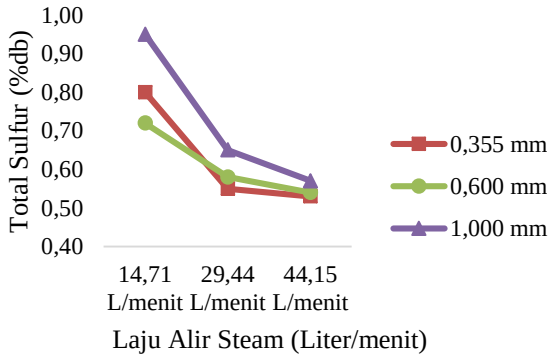
p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

pada sampel 4 dengan ukuran partikel 0,355 mm terjadi penurunan kadar sulfur batubara tertinggi yaitu dari 1,34 % menjadi 0,53 % dengan persentase penurunan sulfur sebesar 60,50 %, sedangkan pada sampel 8 dengan ukuran partikel 1,000 mm terjadi penurunan kadar sulfur terendah yaitu dari 1,34 % menjadi 0,9 5% dengan persentasi penurunan sulfur sebesar 29,50 %.

Tingkat kehalusan ukuran partikel batubara divariasikan berpengaruh terhadap penurunan kadar sulfur ketika dilakukan proses desulfurisasi dengan menggunakan *steam* karena semakin kecil dan halus ukuran partikel batubara maka semakin besar luas permukaannya. Ukuran partikel akan berpengaruh pada luas permukaan, tegangan permukaan, cepat larut adsorbsi, daya larut, dan viskositas dengan kata lain ukuran partikel suatu zat mempengaruhi luas permukaan zat tersebut. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin meningkat pula pengurangan sulfur dalam batubara, dimana hal ini juga sama pada penelitian [8] bahwa penurunan kadar sulfur dilakukan dengan memvariasikan ukuran partikel batubara dan didapatkan penurunan kadar sulfur tertinggi terjadi pada sampel ukuran partikel paling kecil yaitu 325 mesh dari kadar sulfur 2,25 % menjadi 1,60 % dengan persentase penurunan sebesar 28,9 %.

3.3. Analisa Pengaruh Laju Alir *Steam* Terhadap Penurunan Kadar Sulfur Batubara dengan Alat *Fluidized Bed Desulfurizer*

Berdasarkan data hasil percobaan dengan menggunakan alat *Fluidized Bed Desulfurizer* laju alir *steam* berpengaruh terhadap kadar sulfur sebelum dan sesudah dilakukannya percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Laju Alir *Steam* Terhadap Penurunan Total Sulfur

Dari Gambar 4 dapat diamati bahwa pada sampel 4 dengan laju alir *steam* 44,15 L/menit terjadi penurunan kadar sulfur batubara tertinggi yaitu dari 1,34 % menjadi 0,53 % dengan persentase penurunan sulfur sebesar 60,50 %, sedangkan pada sampel 8 dengan laju alir *steam* terjadi penurunan kadar sulfur terendah yaitu dari 1,34 % menjadi 0,95 % dengan persentasi penurunan sulfur sebesar 29,50 %. Perlakuan variasi laju alir *steam* yang dikontakkan dengan batubara dikolom *desulfurizer* menunjukkan bahwa semakin besar laju alir *steam* maka *steam* yang dapat berkontak dengan permukaan batubara akan lebih banyak sehingga menyebabkan penurunan nilai sulfur batubara akan lebih besar. Hal ini juga sama dengan penelitian [9] bahwa pada laju alir udara yang semakin besar, penurunan kadar sulfur semakin besar pula, hal ini disebabkan terjadinya peningkatan *recovery* sulfur dalam batubara dengan meningkatnya laju alir udara dari 3,1–5,1 liter/menit, bahwa dengan meningkatnya laju alir udara maka jumlah gelembung udara sebagai media pembawa partikel hidrofobik (batubara) meningkat, partikel batubara tersebut terdistribusi menyebar dalam suspensi, sehingga peluang *recovery* sulfur menjadi lebih besar.

Proses desulfurisasi dengan menggunakan *saturated steam* merupakan desulfurisasi yang ramah lingkungan karena tidak berdampak pada pencemaran lingkungan yang dapat merusak ekosistem bila dibandingkan dengan menggunakan pelarut kimia atau proses karbonisasi dengan pemanasan [10].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat ditarik kesimpulan yaitu proses penurunan kadar sulfur dengan metode desulfurisasi oksidatif menggunakan *Fluidized Bed Desulfurizer* yang dilakukan didapatkan penurunan kandungan sulfur pada batuabara yaitu pada sampel 2 sebesar 40,12 %; sampel 3 sebesar 58,98 %; sampel 4 sebesar 60,50 %; sampel 5 sebesar 46,19 %; sampel 6 sebesar 56,68%; sampel 7 sebesar 59,88 %; sampel 8 sebesar 29,50 %; sampel 9 sebesar 51,85 %; dan sampel 10 sebesar 57,66 %.Ukuran

p-ISSN: 2775-4227
e-ISSN: 2775-4219

partikel batubara berpengaruh terhadap penurunan kadar sulfur pada batubara dibuktikan pada sampel 4 dengan ukuran partikel 0.355 mm terjadi penurunan kadar sulfur paling signifikan dari 1,34 % menjadi 0,53 % dikarenakan semakin kecil ukuran partikel batubara maka semakin besar luas permukaan batubara sehingga luas area kontak *steam* dengan batubara semakin besar pula hal ini menyebabkan penurunan kadar sulfur lebih optimal. *Saturated steam* mengoksidasi sulfur pada batubara, dibuktikan pada percobaan desulfurisasi menggunakan *saturated steam* dengan laju alir 44,15 L/menit penurunan kadar sulfur lebih optimal yaitu sebesar 60,50 % dibandingkan dengan laju alir 14,71 L/menit dan 29,44 L/menit maka semakin besar laju alir *steam* semakin banyak pula sulfur yang terdesulfurisasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] N. N. M. Agung, W. Nugroho, dan H. Hasan, "Hubungan Kandungan *Total Sulphur* Terhadap *Gross Calorific Value* pada Batubara PT. Carsurin Samarinda," *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, Vol. 7, No. 1, 2019.

[2] M. A. Aziz, H. Fadila, W. Sri, F. Fitriyah, Sulastri, Luktyansyah, M. Insyiah, Siswanto, dan Priyono. "Karakterisasi Batubara Low-Rank Asal Jambi dan Beberapa Daerah di Indonesia Sebagai Bahan Baku Pupuk Humat," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-11, 2022.

[3] A. Ilcham, "Desulfurisasi Batubara secara Batch pada Kolom Tegak dengan Metoda Flotasi Larutan Daun Petai Cina," *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, vol. 2, No. 2, 2020.

[4] S. Maidi, dan Yunasril, "Desulfurisasi Batubara dengan Metode *Leaching* Menggunakan Pelarut Asam Klorida (HCl)," *Jurnal Bina Tambang*, Vol. 5, No. 2, 2020

[5] S. Pysh'yev, H. Bilushchak, dan V. Gunka, "Optimization of oxidation desulphurization of power-generating coal," *Chem Chem Technol*, vol. 1, pp. 105–111, 2012.

[6] S. Pyshyev, Y. Prysiazhnyi, M. Shved, M. Kulazynski, dan D. Miroshnichenko, "Effect of Hydrodynamic Parameters On The Oxidative Desulphurisation Of Low Rank Coal," *Int J Coal Sci Technol*, vol. 5, no. 2, pp. 213–229, 2018.

[7] ASTM D4239-18e1. 2018. *Standard Test Method for Sulfur in The Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion. U.S Department of Defense*.

[8] A. R. Marlina, dan A. I. Y Rahmalina, "Pengaruh Air Laut Terhadap Pengurangan Kadar Sulfur pada Batubara Sub-bituminus," *Jurnal Sains dan Teknologi. STTIND Padang*, 2022.

[9] N. D. Siswati dan A. Festiani, "Desulfurisasi Batubara Menggunakan Udara dan Air," *Makalah Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono.* Jawa Timur: UPN Veteran, 2010.

[10] M. Amin, D. C. Birawidha, K. Isnugroho, Hendronursito., M. A. Muttaqqi, dan M. N. Prilitasari, "Desulfurisasi Batubara Menggunakan Ekstrak Belimbing Wuluh (*Everrhoa Bilimbi L*)", *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, Vol. 16, No. 2, pp. 1-9, 2019.