

Optimasi Pengaruh Konsentrasi *Leaching Agent* (Asam Sitrat Dan Asam Klorida) Pada Proses *Desulfuring* Dan *Deashing* Batubara

Dody Guntama^{*)}, Mubarakah Nuriaini Dewi, Ridwan Ajipradana, Fariz Izzan Makarim dan Ayu Lintang

Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Jayabaya
Jalan Raya Bogor km 28,8, Cimanggis Jakarta Timur

^{*)} *Corresponding author:* dodysopril@gmail.com

Abstract

Coal is a fuel that produces waste that can pollute the environment with high sulfur and ash content. Coal washing is carried out to improve quality before use. The aim of the research is to determine the efficiency of reducing ash (*Deashing*) and sulfur (*Desulfuring*) levels by comparing citric acid with hydrochloric acid as a leaching agent. The independent variables in this study were citric acid concentrations of 0.1%, 1%, 2%, 4%, 8% and hydrochloric acid concentrations of 0.1%, 1%, 2%, 4%, 8%. The methodology begins with coal crushing and sampling using the quartering method. Ash and sulfur will be reduced by leaching treatment with citric acid and hydrochloric acid. Coal is analyzed proximately (Ash, Sulfur, RM (Residual Moisture), Total Water (Total Moisture), Volatile matter, and Calories). The results obtained by citric acid were able to reduce ash content by 56.3% and sulfur content by 61.9% with a concentration of 8%. Meanwhile, hydrochloric acid can reduce ash content by 65.4% and sulfur content by 68.8% with a concentration of 8%. Research shows that leaching can improve coal quality as indicated by an increase in the calorific value of coal, namely 7572 Cal/g in citric acid and a calorific value of 7556 Cal/g in hydrochloric acid compared to control coal without leaching of 6086 Cal/g with a decrease in ash content. best with Hydrochloric Acid.

Abstrak

Batubara merupakan bahan bakar yang menghasilkan limbah yang dapat mencemarkan lingkungan dengan kandungan sulfur dan abu yang tinggi. Pencucian batubara dilakukan guna meningkatkan kualitas sebelum digunakan. Tujuan penelitian untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar abu (*Deashing*) dan sulfur (*Desulfuring*) dengan membandingkan asam sitrat dengan asam klorida sebagai *leaching agent*. Variabel bebas pada penelitian ini adalah konsentrasi asam sitrat 0.1%, 1%, 2%, 4%, 8% dan konsentrasi asam klorida 0.1%, 1%, 2%, 4%, 8%. Metodologi diawali dengan *crushing* batubara dan pengambilan sampel metode *quartering*. Abu dan sulfur akan berkurang dengan adanya perlakuan *leaching* dengan asam sitrat dan asam klorida. Batubara di analisa secara proksimat (Abu, Sulfur, RM (*Residual Moisture*), Air Total (*Total Moisture*), *Volatile matter*, dan Kalori). Hasil yang didapatkan asam sitrat mampu menurunkan kadar abu sebesar 56.3% dan kadar sulfur sebesar 61.9% dengan konsentrasi 8%. Sedangkan pada asam klorida mampu menurunkan kadar abu sebesar 65.4% dan kadar sulfur sebesar 68.8% dengan konsentrasi 8%. Penelitian menunjukkan bahwa leaching dapat meningkatkan kualitas batubara yang ditandai dengan kenaikan nilai kalor batubara yaitu sebesar 7572 Cal/g pada asam sitrat dan nilai kalor 7556 Cal/g pada asam klorida yang dibandingkan dengan kontrol batubara tanpa leaching sebesar 6086 Cal/g dengan penurunan kadar abu terbaik dengan Asam Klorida.

Kata kunci: Batubara, *Deashing*, *Desulfuring*, *Leaching Agent*.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia didominasi oleh konsumsi listrik dan diperkirakan akan meningkat karena pembangunan ekonomi dan pertumbuhan penduduk yang cepat. Untuk dapat memenuhi kebutuhan energi tersebut, pemerintah Indonesia telah menetapkan target pembangkit listrik hingga 135,5 GW pada tahun 2025, yang tertuang dalam Peraturan Presiden (PerPres) No. 22 Tahun 2017. Proyeksi pemerintah Indonesia memiliki rencana untuk pemberhentian ekspor batubara paling lambat tahun 2046 dan penggunaan batubara sebesar 100% dimulai pada tahun 2050. Penggunaan batubara sebagai energi tentunya berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia, di antara limbah yang banyak dihasilkan dari batubara ini adalah padatan. Limbah padat tersebut berupa abu, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). [1]

Abu terbang (*fly ash*) dihasilkan dengan mengubah, melebur, dan gasifikasi zat anorganik yang terkandung dalam batubara, sehingga *fly ash* yang dihasilkan dari batubara berwarna coklat muda, sedangkan *bottom ash* berwarna hitam dan karena diproduksi di dalam tungku, maka akan jadi lebih berat dan memiliki kandungan karbon sisa yang tidak terbakar lebih banyak. Selain sifat fisik yang berbeda, komposisi kimia *fly ash* dan *bottom ash* juga berbeda. Perbedaan yang paling mendasar adalah jumlah silikon dan aluminiumnya. Abu terbang memiliki kandungan Si sebesar 56,1% dan Al sebesar 18,4%, sedangkan abu dasar mengandung Si dan Al sebesar 50,5% dan 14,9%. [2]

Abu batubara diklasifikasikan sebagai limbah B3 kategori 2 yang berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 [3]. Namun, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, kini limbah abu batubara pada boiler pembangkit listrik, merupakan limbah dalam kategori limbah non-B3. Menurut *The U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, *fly ash* tergolong sebagai limbah tidak berbahaya dan tidak menyebabkan pencemaran pada air. *Fly ash* telah banyak digunakan di banyak negara dan tidak menyebabkan masalah kesehatan pada masyarakat.

Namun, salah satu pencemaran yang terjadi dan mempengaruhi kesehatan manusia adalah pencemaran udara. Polusi udara ini dapat menyebabkan saluran udara besar yang masuk ke paru-paru (saluran bronkial) menyempit, membentuk jaringan parut, membengkakan lapisan, dan tersumbat sebagian oleh lendir. Pencemaran ini biasanya terjadi pada *steam boiler* yang masih dilengkapi dengan teknologi lama yang tidak dapat menyerap *fly ash*. Limbah abu batubara saat ini belum tergolong limbah B3 di Indonesia, namun diyakini perlu dilakukan penelitian untuk meningkatkan kualitas batubara guna meningkatkan kualitas lingkungan hidup.

Oleh karena itu, dalam pemanfaatan batubara untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, mengadopsi teknologi batubara bersih (*clean coal technology/CCT*). Teknologi batubara bersih (CCT) adalah teknologi baru dari proses pemanfaatan batubara yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan penerimaan lingkungan dimulai dari proses ekstraksi, persiapan, dan penggunaan batubara [4]. Teknologi batubara bersih yang ramah lingkungan secara bertahap dan efisiensi yang tinggi membuat penggunaan batubara tidak menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan perlu dilakukan.

METODE PENELITIAN

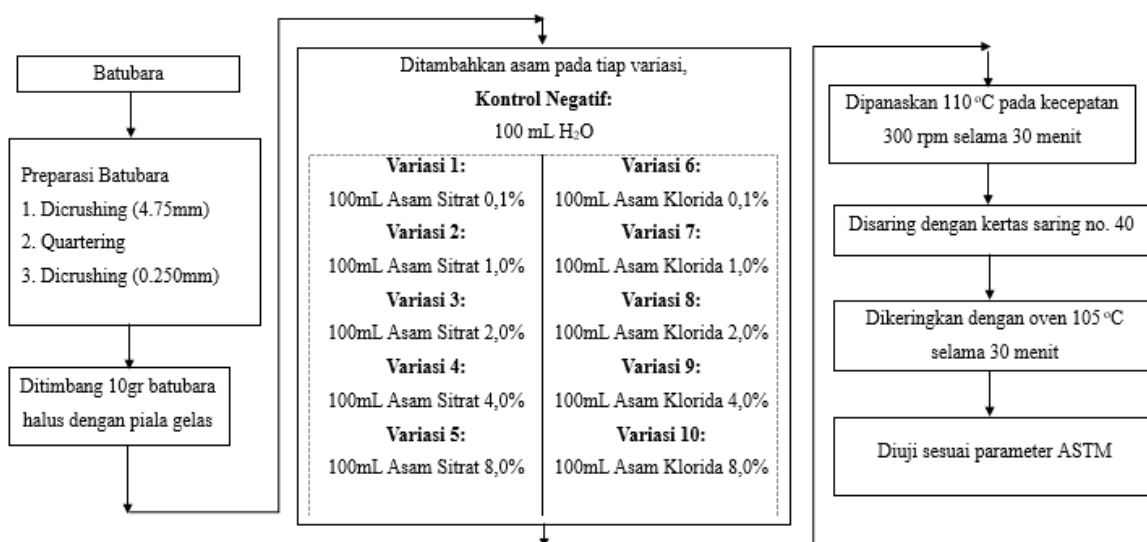
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah piala gelas 250mL dan 500mL, gelas ukur 100mL, kertas saring no 40, corong, penyangga corong, labu ukur 100mL, neraca analitik, oven, tanur,

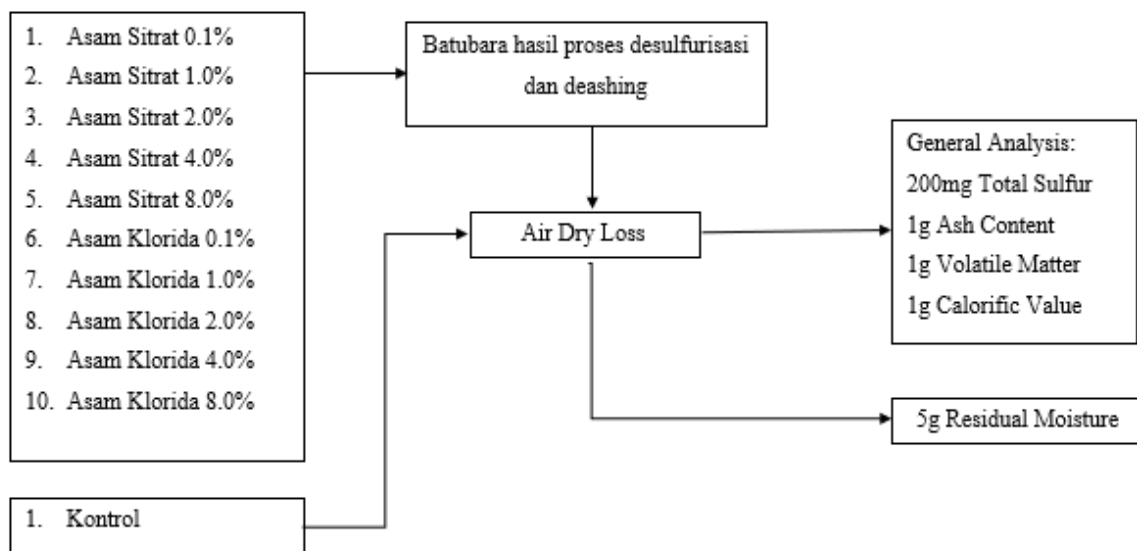
magnetic stirrer, dan *hotplate* Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara yang berasal dari daerah Jambi, asam klorida 35% yang kemudian melalui proses pengenceran untuk menjadi konsentrasi 0.1%, 1%, 2%, 4%, dan 8%, asam sitrat yang dibuat menjadi konsentrasi 0.1%, 1%, 2%, 4%, dan 8%, dan aquaest.

Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri atas 4 tahapan yaitu persiapan sampel sampling, proses desulfurisasi sesuai dengan kondisi operasi, dan proses analisis. Diagram penelitian tersaji pada Gambar 1 dan diagram alir pengujian tersaji pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

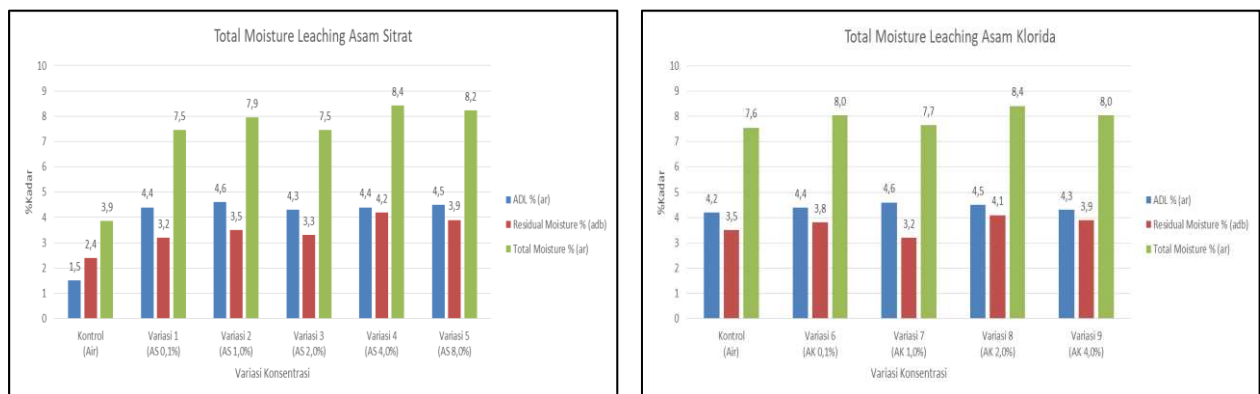


Gambar 2 Diagram Alir Pengujian Kimia

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Total Moisture

Total Moisture adalah jumlah total air yang terkandung dalam batubara dalam bentuk inherent dan adherent pada kondisi batubara sampelnya diambil (as sampled) atau pada pada kondisi diterima (as received). Nilai total moisture merupakan hasil perhitungan nilai free moisture dengan nilai residual moisture. Hasil hubungan antara variasi konsentrasi asam sitrat terhadap perubahan *air dry loss*, *residual moisture* dan *total moisture*.terlampir pada gambar berikut



Gambar 3 (a) Grafik Hubungan Konsentrasi Asam Sitrat Terhadap ADL, RM, dan Total Moisture. (b) Grafik Hubungan Konsentrasi Asam Klorida Terhadap ADL, RM, dan Total Moisture

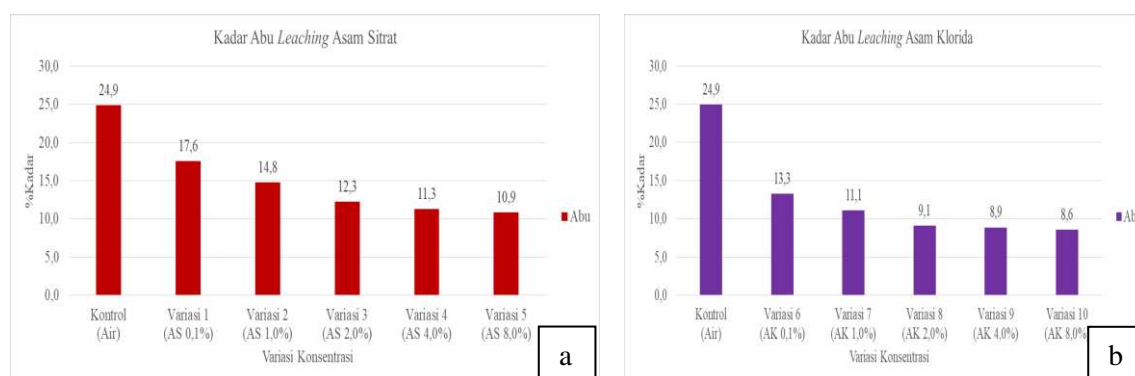
Pada hasil *leaching* batubara dengan asam sitrat pada Gambr 3a didapat nilai *total moisture* tertinggi pada variasi keempat (konsentrasi asam sitrat 4%) yaitu sebesar 8,4% dan nilai *total moisture* terendah ada pada variasi ke 1 (asam sitrat 0.1%) dan 3 (asam sitrat 2%) yaitu sebesar 7,5%.

Gambar 3b adalah grafik hubungan antara konsentrasi asam klorida terhadap ADL, RM, dan Tota Moisture. Pada Gambar 4 didapat nilai *total moisture* tertinggi pada variasi ke delapan (konsentrasi asam klorida 4%) yaitu sebesar 8,4% dan nilai *total moisture* terendah ada pada variasi ke 6 (asam sitrat 0.1%) yaitu sebesar 7,6%.

Semakin kecil kandungan air, makan semakin tinggi nilai kalor batubara dan begitupun sebaliknya [5]. Pada kedua grafik hubungan *total mositure* dengan *leaching agent* diatas dapat dikatakan bahwa hasil *total moisture* semakin naik seiring naiknya konsentrasi *leaching agent*nya. Namun terjadi data yang tidak sesuai dengan kenaikan konsentrasi *leaching agent*nya yaitu pada asam sitrat konsentrasi 2% dan asam klorida konsentrasi 2%. Hal ini bisa terjadi karena penyimpanan sampel sesaat setelah *sampling* tidak tertutup rapat sehingga memungkinkan adanya *moisture* yang masuk atau keluar dari sampel [6].

Analisa Kadar Abu

Ash adalah istilah parametrik dimana bahan yang tidak terbakar yang tersisa setelah batubara benar-benar terbakar adalah abu atau terak. Sebenarnya batubara tidak mengandung ash melainkan mengandung *mineral matter* [6]. Semakin banyak mineral dalam batubara, semakin tinggi kadar abunya. Massa sisa yang tersisa dihitung sebagai persentase massa dari massa awal yang digunakan, yang menghasilkan kadar abu. Salah satu tujuan pencucian batubara adalah untuk menghilangkan kandungan mineral dalam batubara. Semakin tinggi



Gambar 4 (a) Grafik Hubungan Antara Kadar Abu Pada Leaching Agent Asam Sitrat. (b) Grafik Hubungan Antara Kadar Abu Pada Leaching Agent Asam Klorida

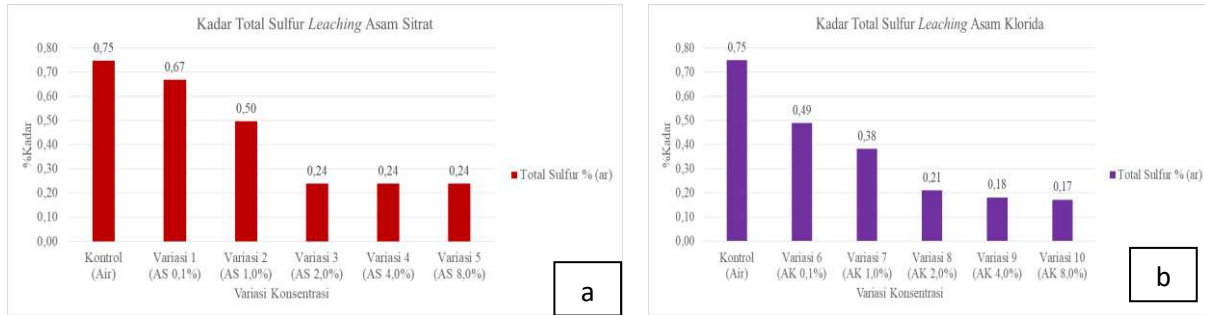
kadar abu pada jenis batubara yang sama, semakin rendah nilai kalorinya [5].

Berdasarkan Gambar 4a grafik hasil kadar abu terhadap konsentrasi asam sitrat., dapat dikatakan bahwa nilai kadar abu semakin menurun seiring kenaikan konsentrasi asam sitrat. Dari hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa penurunan kadar abu yang paling tinggi ada pada konsentrasi variasi 5 (asam sitrat 8%) yaitu memiliki kadar abu sebesar 10,9%. Pada konsentrasi ini didapatkan persentase penurunan kadar abu batubara terhadap kontrol sebesar 56,3%.

Dari gambar 4b grafik hasil kadar abu terhadap konsentrasi asam klorida dapat dikatakan bahwa hasil penurunan kadar abu juga linier dengan kenaikan konsentrasi asam klorida sebagai *leaching agent*nya. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kadar abu terendah ada pada variasi 10 (asam klorida 8%) yaitu sebesar 8,6%. Persentase penurunan kadar abu pada variasi tertinggi ini didapatkan 65,4% terhadap kontrol batubara.

Analisa Total Sulfur

Batubara sulfur tinggi memiliki nilai ekonomi yang rendah. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar tidak hanya menghasilkan gas SO_2 atau SO_3 yang pada akhirnya dapat menyebabkan hujan asam, tetapi juga merusak sistem boiler pembangkit listrik [7]. Berikut adalah Gambar 5 yang menggambarkan hubungan antara Total Sulfur terhadap Konsentrasi Asam Sulfat dan Asam Klorida.



Gambar 5 (a) Grafik Hubungan Antara Total Sulfur Terhadap Konsentrasi Asam Sitrat. (b) Grafik Hubungan Antara Total Sulfur Terhadap Konsentrasi Asam Klorida.

Dari Gambar 5a grafik hubungan antara total sulfur dengan konsentrasi asam sitrat didapatkan hasil total sulfur semakin menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi asam sitrat. Total sulfur berhasil diturunkan pada variasi ke 3 (asam sitrat 2%) yaitu menjadi 0,24% total sulfur. Pada variasi selanjutnya yaitu pada asam sitrat konsentrasi 4% dan 8% nilai total sulfur melandai dan stagnan pada hasil 0,24%. Hasil ini menunjukkan persentase penurunan total sulfur sebesar 68,1% terhadap kontrol batubara.

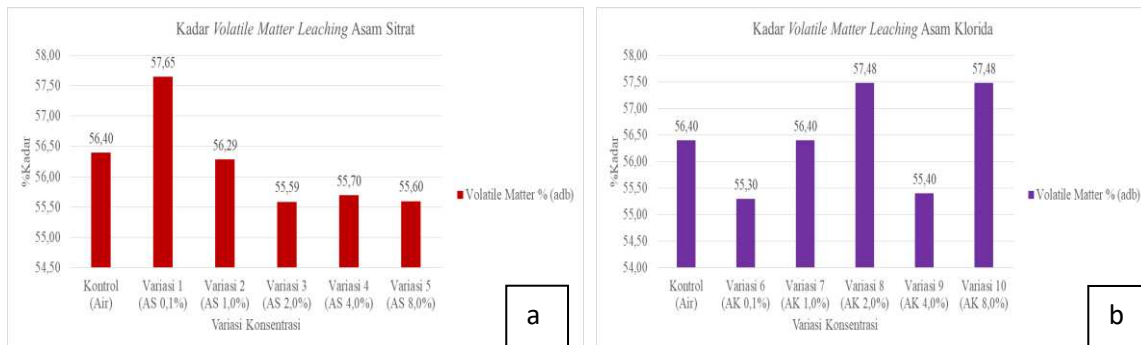
Dari gambar 5b grafik hubungan antara total sulfur dengan konsentrasi asam klorida didapatkan hasil total sulfur semakin menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi asam klorida. Grafik ini menunjukkan hasil total sulfur terendah pada variasi ke 10 (asam klorida 8%) yaitu sebesar 0,17%. Hasil ini menunjukkan persentase penurunan total sulfur sebesar 77,0% terhadap kontrol batubara.

Volatile Matter

Volatile matter adalah zat-zat yang mudah menguap yang terkandung dalam batubara. Zat yang terkandung dalam volatilitas ini biasanya berupa gas hidrokarbon, terutama gas metana. Bahan volatil ini terbentuk dari pemecahan struktur molekul karbon dalam rantai alifatik pada temperatur tertentu. Analisa ini ditentukan di laboratorium dengan memanaskan sejumlah batubara hingga 950 derajat Celcius selama 6-7 menit tanpa udara. *Volatile matter* keluar seperti jelaga karena tidak ada oksigen yang membakarnya [6]. *Volatile matter* digunakan sebagai parameter penentu dalam penentuan peringkat batubara [6].

Gambar 6a menyajikan hasil *volatile matter* terhadap konsentrasi asam sitrat yang menunjukkan bahwa hasil yang didapatkan nilai *volatile matter* menurun seiring kenaikan konsentrasi asam sitrat. Gambar 6b menyajikan grafik hubungan antara nilai *volatile matter* terhadap konsentrasi asam klorida yang menunjukkan hasil yang tidak linear. Nilai *volatile matter* yang tertinggi ada pada variasi ke 10 (asam klorida 8%) yang memiliki nilai *volatile matter* sebesar 57,48%. Sedangkan nilai *volatile matter* terendah ada pada variasi ke 6 (asam klorida 0,1%) yaitu sebesar 55,30%. Nilai *volatile matter* yang berbeda beda ini dapat dipengaruhi oleh *moisture* batubara sehingga batubara yang dikeringkan pada oven akan berbeda dengan hasilnya dengan yang dikeringkan tanpa udara. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi hasil penentuan *volatile matter* ini adalah suhu, waktu, kecepatan pemanasan, penyebaran butir, dan ukuran partikel [6]

Proses pembakaran batubara kadar *volatile matter* yang tinggi dapat mempercepat pembakaran *fixed carbon* dan sebaliknya. Kadar *volatile matter* yang tinggi di dalam batubara akan menyebabkan asap yang lebih banyak sehingga menyulitkan proses



Gambar 6 (a) Grafik Hubungan Volatile Matter Terhadap Konsentrasi Asam Sitrat. (b) Grafik Hubungan Holatile Matter Terhadap Konsentrasi Asam Klorida

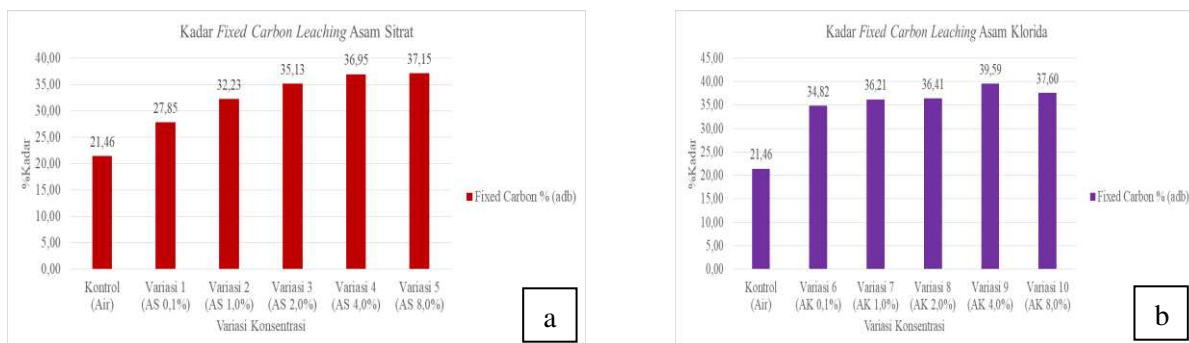
pembakaran [5].

Fixed Carbon

Fixed carbon (FC) adalah kandungan karbon yang tidak menguap pada suhu yang ditentukan oleh *volatile matter*. *Fixed carbon* adalah parameter yang tidak ditentukan secara analisis melainkan melalui perhitungan sebagai berikut:

$$FC = 100 - (\text{Ash} + \text{Volatile matter} + \text{Residual Moisture} + \text{Total Sulfur})$$

Fixed carbon adalah salah satu nilai yang digunakan didalam perhitungan efesiensi peralatan pembakaran. Semakin rendah kandungan karbon batubara maka nilai kalori batubara semakin



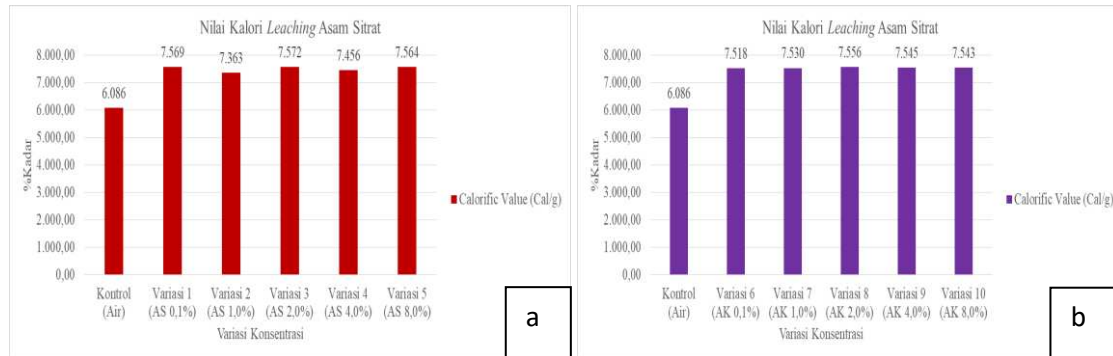
Gambar 7 (a) Grafik Hubungan Antara Fixed Carbon Dengan Konsentrasi Asam Sitrat. (b) Grafik Hubungan Antara Fixed Carbon Dengan Konsentrasi Asam Klorida

menurun [8].

Dari Gambar 7a dan 7b yang menyajikan grafik hubungan antara *fixed carbon* dengan konsentrasi asam sitrat an asam klorida terlihat nilai fixed karbon meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam.

Nilai Kalori

Nilai kalori menunjukkan jumlah panas (*heat*) yang dihasilkan apabila sejumlah tertentu batubara dibakar [6]. Nilai kalori ditentukan dari kenaikan suhu pada sejumlah tertentu batubara biasanya dalam kondisi (adb), dibakar pada alat kalorimeter (*bomb calorimeter*) dengan udara berlebih.

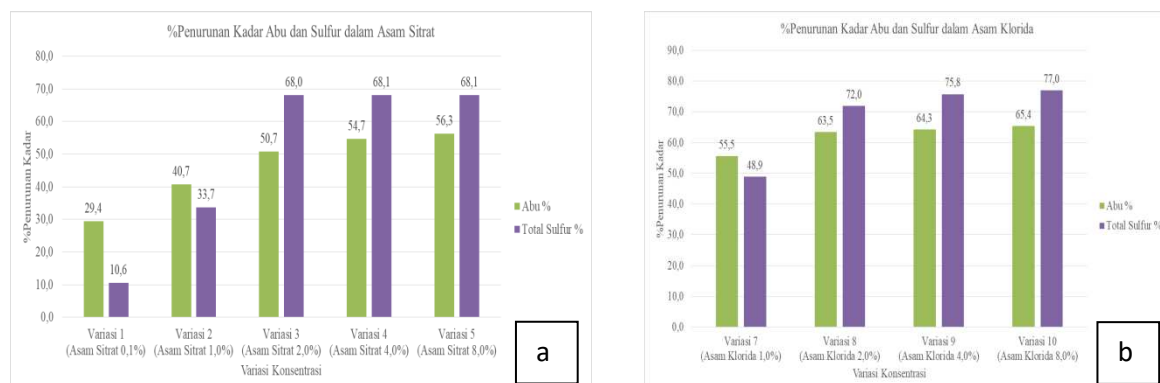


Gambar 8 (a) Grafik Hubungan Nilai Kalor Terhadap Konsentrasi Asam Sitrat pada Proses Leaching. (b) Grafik Hubungan Nilai Kalor Terhadap Konsentrasi Asam Sitrat pada Proses Leaching.

Gambar 8a dan 8b menunjukkan bahwa nilai kalor akan meningkat setelah proses leaching yang dipengaruhi oleh konsentrasi asam. Nilai kalor batubara tergantung pada *rank* batubara. Semakin tinggi *rank* batubara, semakin tinggi pula nilai kalorinya. Pada batubara yang sama nilai kalori dapat dipengaruhi oleh *moisture* dan juga abu. Semakin tinggi *moisture* atau abu, semakin kecil nilai kalorinya [9]. Sedangkan pengaruh karbon menunjukkan semakin rendah kandungan karbon batubara maka nilai kalori batubara semakin turun [9].

Perbandingan Deashing dan Desulfurisasi

Secara umum, penurunan kadar abu dan sulfur terjadi berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi asam yang digunakan



Gambar 9 (a) Grafik Deashing dan Desulfurisasi dengan Asam Sitrat. (b) Grafik Deashing dan Desulfurisasi dengan Asam Klorida

Penurunan kadar abu dan kadar sulfur terjadi secara signifikan seiring dengan kenaikan konsentrasi asam yang digunakan. Pada penurunan total sulfur, penurunan tertinggi terjadi pada variasi ke 5 (konsentrasi 8,0% asam sitrat) yakni sebesar 61,9%. Pada penurunan kadar abu diperoleh penurunan tertinggi pada variasi ke 5 (konsentrasi 8,0% asam sitrat) yakni sebesar 61,9%. Penurunan kadar total sulfur dengan asam klorida tertinggi terjadi pada variasi ke 10 (konsentrasi 8,0% asam klorida) yakni sebesar 68,8%. Pada penurunan kadar abu diperoleh penurunan tertinggi pada variasi ke 10 (konsentrasi 8,0% asam klorida) yakni sebesar 65,4%.

Secara perbandingan, dapat diperhatikan penurunan kadar abu dan sulfur, asam kuat dan asam lemah sebagai *leaching* agent, asam klorida memiliki daya *leaching* yang lebih baik dibandingkan dengan asam sitrat. Menurut Arrhenius, asam kuat merupakan asam yang derajat ionisasinya besar atau mudah terurai dan banyak menghasilkan ion H^+ dalam larutannya. Asam kuat mengion sempurna dan reaksi ionisasinya merupakan reaksi berkesudahan [10]. Sementara asam lemah terion sebagian dan reaksi ionisasinya merupakan reaksi kesetimbangan. Sedangkan asam lemah merupakan asam yang terion sebagian atau sulit terurai. Semakin besar derajat ionisasinya maka semakin dapat bereaksi pada zat anorganik dalam batubara, yang pada kasus kali ini disebut abu.

Tabel 1 Standar Kandungan Abu dan Sulfur pada beberapa Industri

Industri	Kadar Abu (%)	Kadar Sulfur (%)
PLTU	7,8	0,4
Industri Semen	6,0	0,8
Industri Logam	6,0	0,03
Hasil Batubara		
<i>Leaching</i> Asam Klorida	Konsentrasi 8%: 8,6	Konsentrasi 1%: 0,35
<i>Leaching</i> Asam Sitrat	Konsentrasi 8%: 10,9	Konsentrasi 2%: 0,29

Tabel di atas mempresentasikan nilai spesifikasi industri atau hasil *leaching* skala industri yang dibandingkan dengan hasil penelitian. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil kadar abu setelah *leaching* pada konsentrasi tertinggi pada masing-masing asam masih belum memenuhi standar spesifikasi industri. Sedangkan pada kadar sulfur setelah *leaching* sudah memenuhi spesifikasi dimana pada asam sitrat 2% kandungan sulfur sebesar 0,29% dan pada asam klorida 1% kandungan sulfur sebesar 0,35%. Hasil kadar sulfur ini sudah dapat memenuhi kebutuhan spesifikasi batubara pada industri PLTU dan semen. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menurunkan kadar abu yang optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan hasil *leaching* batubara menggunakan asam sitrat yang dibandingkan dengan asam klorida didapatkan hasil bahwa penurunan total sulfur dan abu lebih baik dengan asam klorida. *Leaching* batubara

dilakukan pada suhu 110°C selama 30 menit dimana hasil pada tiap variasi didapatkan hasil yang berbading lurus dengan variasi kontrasnya. Penurunan kadar abu tertinggi dengan asam sitrat 8% sebesar 56.3% sedangkan pada asam klorida 8 % didapatkan nilai tertingginya sebesar 65.4%. Sedangkan penurunan total sulfur tertinggi dengan asam sitrat 8% didapatkan hasil 67.9% sedangkan pada asam klorida 8% didapatkan hasil penurunan total sulfur tertingginya sebesar 68.8%. Sehingga dari data hasil uji coba menunjukkan penurunan kadar yang paling baik adalah dengan menggunakan asam kuat, yang pada kali ini diwakilkan oleh asam klorida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada FTI Jayabaya atas fasilitas yang diberikan dalam proses pengambilan data pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. P. Wardani, S. D. Maulidz, A. Takwanto dan Yulianto Erwan, “Pemanfaatan Fly Ash Sebagai Material Adsorben Untuk Menurunkan Kandungan Logam Fe Pada Limbah Cair Di Unit Waste Water Treatment Plant PT POMI,” *Jurnal Distilat*, vol. 7, no. 1, pp. 51-57, 2021.
- [2] S. Z. dan M. , “Studi Komposisi Morfologi dan Suseptibilitas Mineral Magnetik Abu Ringan Sisa Pembakaran Batu Bara pada PLTU PT IPMOMI Paiton dan PASARAN,” 2014.
- [3] R. I. Presiden, “Peraturan Pemerintah No. 101 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun,” Indonesia, 2014.
- [4] R. L. d. J. G. Speight, “Gasification for SYnthetic Fuel Production,” dalam *Woohead Publishing Series*, 2014.
- [5] R. Permdi, “Anlisis Batubara Dalam Penentuan Kualitas Batubara Untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT Indocement Tungal Perkaas, Tbk,” Universitas Islam Bandung, Bandung, 2015.
- [6] T. Novianti, “Makalah Kimia Batubara,” Universitas Mulawarman, Samarinda, 2014.
- [7] G. S. Nugrainy, S. dan C. , “Upaya Penurunan Emisi SO₂ Dari Bahan Bakar Batubara Kualitas Rendah (Tipe : Subbituminous) dengan Campuran Batu Kapur (Limestone) Pada Proses Pembakaran,” 2019.
- [8] T. A dan T. o. R. A., “Analisis Perbandingan Kualitas Batubra di Lokasi Penambangan dan Stockpile di PT Firman Ketaun Perkasa,” *Jurnal Himasapta*, vol. 1, p. 4, 2019.

- [9] K. I dan o. A. H. Aryansah, “Analisis Kualitas Batubara Sebagai Penentu Faktor Swabakar,” dalam *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 2020.
- [10] A. Lukum, Buku Ajar Dasar-Dasar Kimia Analitik, Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo, 2022.