



Demineralisasi Batubara Berkadar Abu Tinggi dengan *Leaching* Menggunakan Alkali

Mifta Aulia Ikhsana^{1*}, Muhammad Mufti Aziz¹, dan Suryo Purwono¹

¹Program Studi Teknik Kimia, FT, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 5528

*E-mail: miftaauliaikhsana@mail.ugm.ac.id

Abstract

The study was conducted on the demineralization of Jambi coal with high ash content as an effort to improve quality. The coal selected first crushed to -80 + 115 mesh. Demineralization was carried out using leaching process with NaOH 20, 25, and 30% (%weight). The best parameter was used in subsequent leaching process to determine the effect of temperature of 50, 70, 90°C. The result showed that the percentage of demineralization increased with increasing demineralization reduction 34%.

Keywords: demineralization; leaching; ash; NaOH

Pendahuluan

Batubara merupakan bahan bakar fosil terbesar yang distribusinya melimpah di berbagai dunia. Kebutuhan energi dan menipisnya batubara peringkat tinggi membuat perhatian lebih difokuskan pada pemanfaatan batubara peringkat rendah. Batubara dinyatakan pada peringkat rendah di antaranya karena memiliki nilai kalor rendah, kadar air tinggi, dan kandungan mineral yang tinggi. Mineral utama yang biasa ditemukan dalam batubara adalah kuarsa dan bentuk lain dari silika, mineral lempung, pirit, dan karbonat seperti siderit dan ankerite (Mukherjee S dan Bothakur PC, 2001). Batubara berkadar abu tinggi (20% berat) kaya dengan kandungan mineral seperti kuarsa, illit, pirit, gipsum, dan unsur-unsur seperti H, N, S, dan oksigen. Batubara dengan kadar abu yang tinggi juga selalu kaya akan oksida seperti SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, dan K₂O (Ciu L dkk., 2015)

Penggunaan batubara kualitas rendah dalam skala besar menyebabkan pencemaran lingkungan karena timbuan limbah padat dan polutan gas (Meshram dkk., 2015). Berdasarkan data NOAA, indeks gas kaca tahunan (AGGI) pada tahun 2021 mencapai 1,49, yang menunjukkan peningkatan sebesar 49% sejak tahun 1990. Meningkatnya AGGI dari tahun ketahun menjadikan netralitas karbon pada tahun 2050 misi paling mendesak di dunia (NOAA, 2022). Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan kualitas batubara peringkat rendah sebelum digunakan, terutama pada pembangkit listrik termal, pabrik baja, industri semen, dan lain-lain (Behera SK, 2018).

Peningkatan kualitas batubara peringkat rendah bertujuan untuk mengurangi kandungan inert, meminimalkan bahas abrasif, dan meningkatkan kualitas pembakaran. Sifat-sifat pembakaran batubara seperti nilai kalor dan kandungan zat terbang (*volatile matter*) yang mengatur kinerja batubara sangat berkaitan dengan abu, yaitu kandungan maseral. Sehingga metode pembersihan batubara/peningkatan kualitas batubara lebih ditekankan untuk meminimalkan kandungan mineral (Dash SP dkk., 2015 a dan b).

Peningkatan kualitas batubara kualitas rendah dapat dilakukan dengan demineralisasi batubara, baik secara fisika maupun kimia (Gulen J dkk., 2005). Tingkat demineralisasi batubara menggunakan berbagai metode, sebagian besar tergantung pada persentase dan komposisi mineral batubara, jenis mineral yang terkandung, dan asosiasinya pada batubara mentah. Metode demineralisasi fisika didasarkan pada perbedaan sifat fisik mineral (berat jenis dan sifat permukaan) dan bagian karbonasi batubara (Bahera SK dkk., 2017a). Sedangkan metode demineralisasi kimia melibatkan perlakuan dengan pelarut kimia yang berbeda, yang digunakan untuk menghilangkan bahan mineral, seperti mineral yang terdistribusi halus dan yang terikat kuat pada matriks batubara (Ma X dkk., 2014).

Metode demineralisasi kimia meliputi pencucian asam, pencucian alkali, pencucian asam diikuti dengan pencucian alkali, dan pencucian alkali diikuti dengan pencucian asam. Demineralisasi dengan metode kimi adalah proses yang sederhana jika beroperasi dalam kondisi ringan. Proses *leaching* kimia biasanya mencapai kehilangan semua jenis mineral yang ada di batubara dibandingkan menggunakan metode fisika. Meskipun proses demineralisasi kimia belum banyak digunakan dalam skala komersial karena biaya yang besar, terkait dengan kebutuhan bahan kimia, kebutuhan untuk dewatering, dan biaya regenerasi reagen dari larutan bekas. (Waugh dan Bowling, 1984; Wu Z dan Steel KM, 2007; Ryberg MW dkk., 2015; Sriramoju SK dkk., 2017).

Mekanisme *leaching* dapat dikatakan mengiktui langkah-langkah *Shrinking Core Model* (SCM). Terdapat lima langkah SCM yang terjadi secara berurutan selama reaksi. Langkah ke satu adalah difusi reaktan dari badan utama

cairan melalui *film* yang mengelilingi partikel ke permukaan padatan. Langkah ke dua adalah penetrasi dan difusi rekatan melalui lapisan tak bereaksi (*unreacted layer*) ke permukaan inti. Langkah ke tiga adalah reaksi reaktan dengan padatan pada permukaan reaksi inti. Langkah ke empat adalah difusi melalui lapisan tak bereaksi kembali ke permukaan luar padatan. Terakhir, langkah yang ke lima adalah difusi produk melalui *film* cair kembali ke badan utama cairan. Untuk beberapa kasus, beberapa langkah dapat diabaikan. Untuk proses *leaching* ini, karena tidak ada produk yang terbentuk, maka langkah ke empat dan lima dapat diabaikan. Selain itu, resistensi dari langkah-langkah yang berbeda sangat bervariasi. Sehingga, dapat dipertimbangkan bahwa langkah dengan resistensi tertinggi merupakan pengontrol laju (*rate controlling*) (Levenspiel O, 1999).

Berbagai parameter dapat mempengaruhi proses *leaching* untuk demineralisasi batubara, di antaranya adalah ukuran partikel, konsentrasi alkali, suhu, dan waktu kontak. Berbagai studi mengenai demineralisasi batubara berkadar abu tinggi secara kimiawi pada parameter fisik yang berbeda telah dilakukan. Mukherjee S dan Bortakur PC (2001) melakukan studi mengenai demineralisasi dan desulfurisasi kimia batubara dengan kadar sulfur tinggi menggunakan NaOH dan NaOH diikuti HCl 10% (% vol). Batubara yang digunakan ada 2 jenis yaitu batubara Borogolai dan Ledo yang memiliki kadar sulfur 4,3% serta kadar abu masing-masing 8,4 dan 10,4%. Konsentrasi NaOH untuk studi divariasikan sebesar 2, 4, 8, dan 16% (% berat). Metode ini memungkinkan penghilangan abu sekitar 43-50% abu menggunakan NaOH 16% dan NaOH 16% diikuti HCl 10%.

Behera SK dkk. (2017a) telah melakukan penelitian mengenai demineralisasi batubara India menggunakan NaOH dan NaOH yang diikuti H₂SO₄ 20% (% vol) pada berbagai parameter. Konsentrasi NaOH yang digunakan divariasikan pada 50, 100, dan 150 g/L. Persen demineralisasi optimum baik untuk NaOH saja maupun NaOH diikuti 20% H₂SO₄ (% vol) dicapai pada 100 g/L yaitu masing-masing sebesar 27% dan 48%. Selanjutnya, studi dilakukan pada berbagai ukuran partikel (0,11, 0,181, 0,23, 0,37, dan 0,75 mm). Persen demineralisasi optimum menggunakan NaOH saja dan NaOH diikuti H₂SO₄ 20% masing-masing diperoleh pada ukuran partikel 0,23 mm (27%) dan 0,181 mm (54%). Untuk mencari persen demineralisasi pada suhu optimum, pada penelitian ini suhu divariasikan pada 65, 100, dan 150°C. Persen demineralisasi optimum diperoleh pada suhu 250°C, yaitu masing-masing sebesar 23% dan 45%. Terakhir, studi dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak selama 60, 90, dan 120 menit. Persen demineralisasi optimum diperoleh pada waktu kontak selama 90 menit.

Selanjutnya, Behera SK dkk. (2018) melakukan studi mengenai parameter optimum pada proses demineralisasi batubara India berkadar abu tinggi. Studi tersebut dilakukan menggunakan variasi NaOH dan H₂SO₄ sebesar 20% dan 30% (% berat, % vol); variasi suhu sebesar 50 dan 100°C; variasi ukuran partikel sebesar 180, 230, dan 375 µm; dan variasi waktu kontak selama 30, 60, dan 90 menit. Hasilnya melaporkan bahwa persen demineralisasi optimum dicapai menggunakan NaOH 30%, pada suhu 100°C, ukuran partikel 180 µm, dan waktu kontak 90 menit, yaitu sebanyak 46%.

Studi demineralisasi batubara sebagian besar telah diselidiki pada batubara berkadar abu tinggi untuk menghasilkan batubara ultra-bersih. Pada penelitian ini, demineralisasi dilakukan dengan pencucian kimiawi (*leaching*) menggunakan alkali berupa natrium hidroksida (NaOH) dengan variasi konsentrasi 20, 25, dan 30% (% berat), serta variasi suhu 50, 100, dan 110°C, dan variasi waktu kontak yaitu selama 5, 15, 40, 45, dan 60 menit. Sedangkan ukuran partikel yang digunakan adalah -80 + 115 *mesh*, karena ukuran partikel yang kecil akan menghasilkan persen demineralisasi yang optimum. Karakteristik batubara pra dan pasca-perlakuan dapat diselidiki menggunakan analisis proksimat dan ultimat. Sehubungan dengan penggunaan bahan kimia dalam industri yang mahal, maka perlu menganalisis parameter optimum dalam proses demineralisasi. Selain itu, dengan melakukan demineralisasi batubara, kualitas batubara menjadi lebih baik dan menghasilkan lebih sedikit polutan, sehingga netralisasi karbon 2050 dapat tercapai.

Metode Penelitian

Bahan

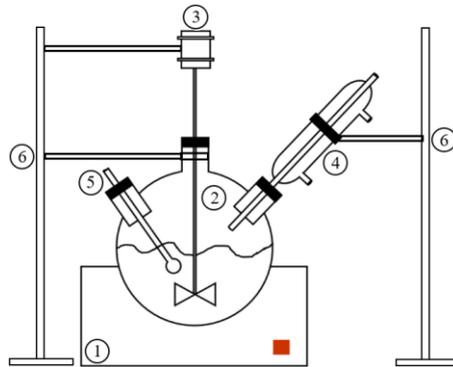
Dalam studi ini, digunakan batubara yang diperoleh dari Jambi. Sampel batubara mentah dihancurkan dan diayak dalam ukuran mesh yaitu -80 + 115 *mesh* untuk studi eksperimental. Sambil batubara mentah yang dibutuhkan diawetkan dalam desikator sebelum dimulai percobaan. Hasil analisis proksimat dan ultimat sampel batubara ditunjukkan pada Tabel 1. Pelarut kimia berupa natrium hidroksida (NaOH) yang digunakan dalam studi tersedia secara komersial. Untuk digunakan sebagai pelarut, NaOH diencerkan menjadi 20, 25, dan 30% (% berat).

Tabel 1. Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara

Analisis Proksimat		Analisis Ultimat	
Parameter	Hasil (%)	Parameter	Hasil (%)
Volatile matter		Carbon	
Fixed carbon		Hidrogen	
Abu		Nitrogen	
		Sulfur	
		Oksigen	

Metode penelitian

Proses *leaching* alkali dilakukan dalam labu bulat leher tiga dengan mengontakkan NaOH 20% (% berat) dengan batubara selama 45 menit sambil diaduk dengan kecepatan 600 rpm (Gambar 1). Temperatur dikontrol pada 90°C. Produk dari proses *leaching* selanjutnya dicuci berulang kali dan dikeringkan. Proses *leaching* dilakukan lagi untuk konsentrasi NaOH yang berbeda yaitu 25% dan 30% (% berat). Konsentrasi yang optimum selanjutnya digunakan untuk mencari suhu operasi dan waktu kontak optimum. Sampel yang sudah dikeringkan selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 4 jam sebelum diuji kadar abunya.



Keterangan:

1. Heating mantle
2. Labu bulat leher tiga
3. Pengaduk motor
4. Condenser
5. Termometer
6. Klem statif

Gambar 1. Rangkaian alat *leaching*.

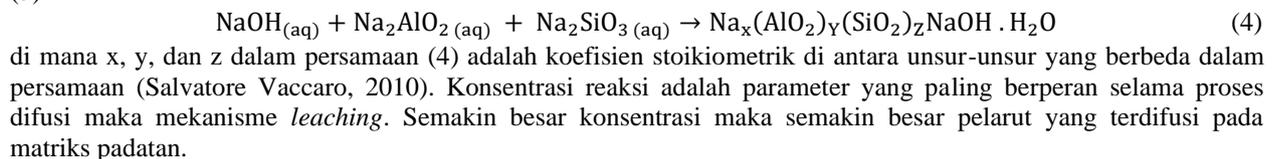
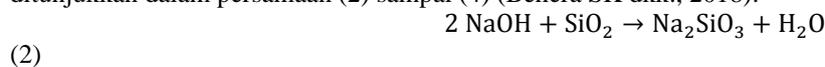
Sampel yang sudah dikeringkan selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 4 jam sebelum diuji kadar abunya. Persen demineralisasi batubara dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Persen demineralisasi (\%)} = \frac{\text{Kadar abu batubara mentah} - \text{Kadar abu batubara setelah leaching}}{\text{Kadar abu batubara mentah}} \times 100\% \quad (1)$$

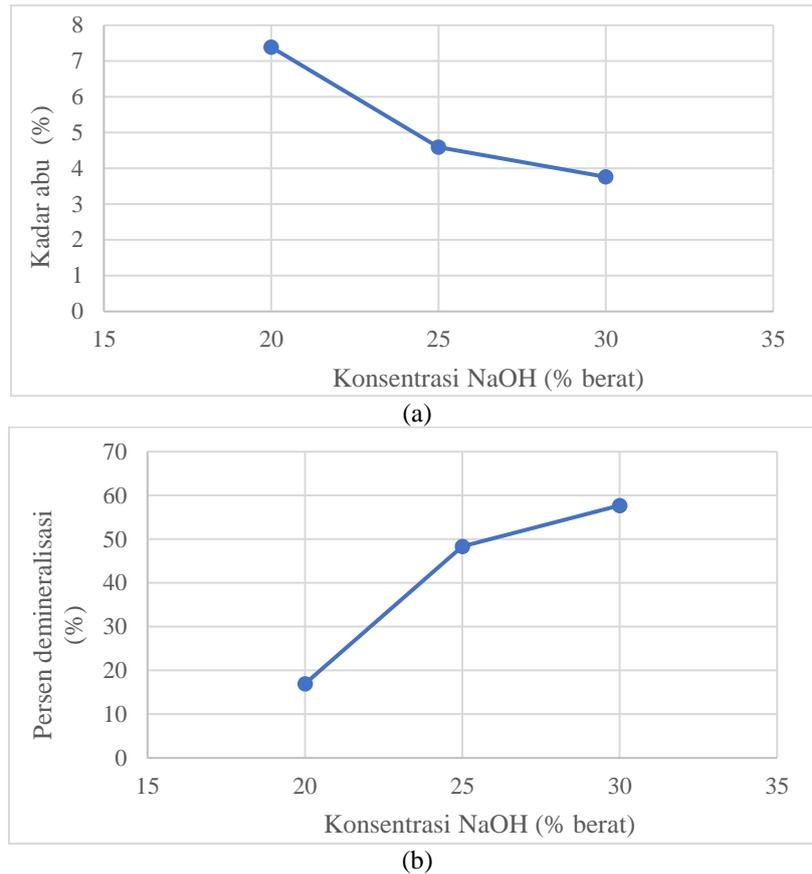
Hasil dan Pembahasan

Pengaruh konsentrasi terhadap desulfurisasi batubara

Sebanyak 85%-90% mineral dalam batubara mengandung alumina dan silika. Alumina dan silika terdapat dalam satu kesatuan yang terpisah atau dalam bentuk campuran dari senyawa aluminosilikat, seperti $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$ dan lempung $(\text{NaMg,Al})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Proses *leaching* diawali dengan difusi pelarut alkali dari permukaan luar matrik batubara, kemudian masuk melalui pori-pori menuju inti batubara. Silika, alumina, dan mineral bantalan tanah liat lainnya mudah larut dengan pelarut alkali selama difusi dan membentuk senyawa natrium silikat, natrium aluminat, dan natrium aluminosilikat (Behera SK dkk, 2018). Kemungkinan reaksi yang terjadi selama proses pencucian alkali ditunjukkan dalam persamaan (2) sampai (4) (Behera SK dkk., 2018):



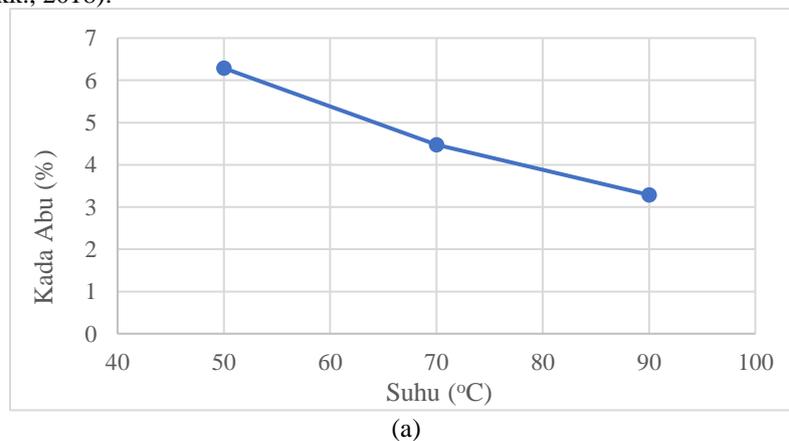
Pada studi ini, penggunaan alkali langsung berpengaruh pada proses demineralisasi. Setelah mengalami proses *leaching* menggunakan aquadest, NaOH 20, 25, dan 30%, kadar abu batubara menurun menjadi 7,39%, 4,59%, dan 3,76% (Gambar 2a). Sehingga dapat dikatakan semakin besar konsentrasi maka semakin banyak abu yang diambil dari batubara. Persen demineralisasi optimum ditemukan pada konsentrasi NaOH 30% (% berat), yaitu sebesar 57,72% (Gambar 2b).

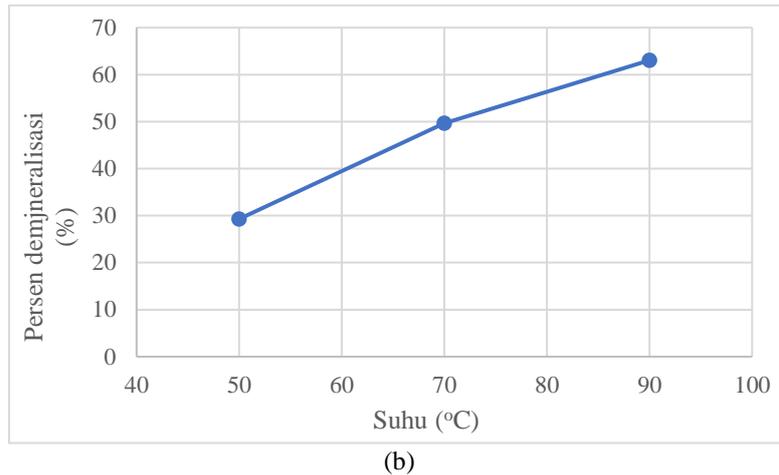


Gambar 2. (a) Kadar abu batubara dan (b) Persen demineralisasi pada berbagai konsentrasi NaOH.

Pengaruh suhu operasi terhadap demineralisasi batubara

Suhu merupakan salah satu parameter yang paling efektif dalam proses *leaching*. Pada studi ini, persen demineralisasi meningkat seiring menurunnya kadar abu dalam batubara. Hal ini mungkin terjadi karena kenaikan suhu reaksi meningkatkan energi panas, sehingga meningkatkan laju reaksi *leaching*. Pada studi ini, proses *leaching* dilakukan menggunakan NaOH 30% (% berat) dengan variasi suhu operasi 50, 70, dan 90°C selama 45 menit. Pada suhu 50°C kadar abu dalam batubara sebesar 6,29%, seiring meningkatnya suhu kadar abu dalam batubara menjadi 4,46% dan 3,29% (Gambar 3a). Persen demineralisasi optimum diperoleh pada suhu reaksi 90°C, yaitu sebesar 63,05% (Gambar 3b). Efek pemanasan tersebut menyebabkan meningkatnya energi aktivasi reaksi yang memudahkan untuk melepaskan gaya ikat antara mineral dan batubara dalam matriks batubara (Behera SK dkk., 2017a; Behera SK dkk., 2018).

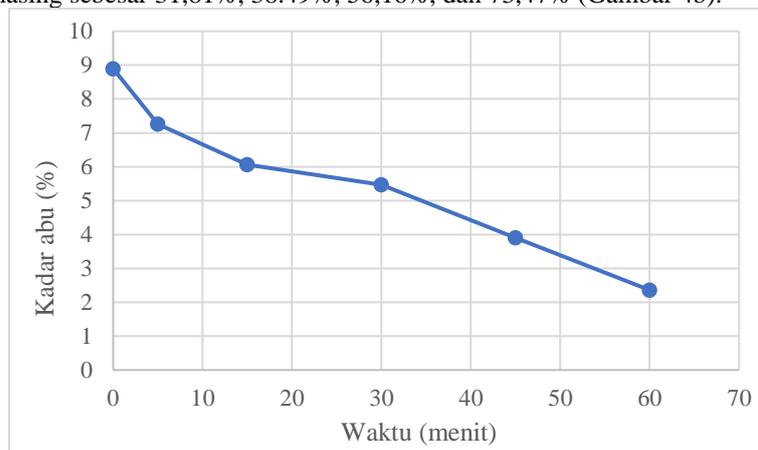




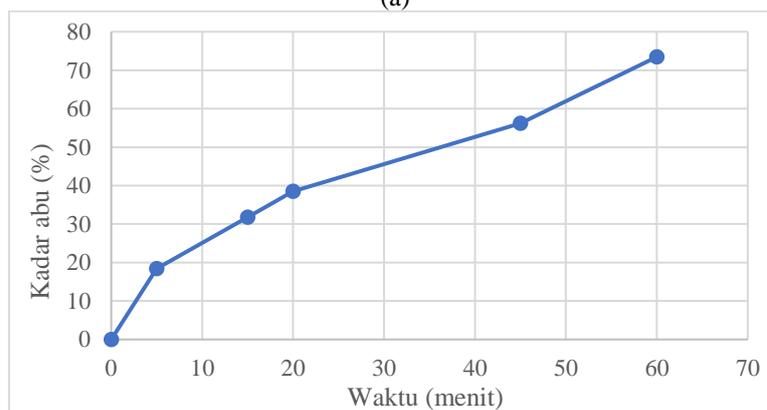
Gambar 3.(a) Kadar abu batubara dan (b) Persen demineralisasi pada berbagai suhu.

Pengaruh waktu kontak terhadap demineralisasi batubara

Waktu kontak memegang peranan yang sangat penting dalam proses pelindian karena menentukan lamanya kontak antara fase mineral dengan pelarut selama proses *leaching* (Behera SK dkk., 2018). Pada studi ini, proses *leaching* dilakukan menggunakan NaOH 30% (% berat), pada suhu 90°C, dan dengan variasi waktu kontak selama 5, 15, 30, 45, dan 60 menit. Studi mengenai waktu kontak, selain untuk mengetahui waktu optimum demineralisasi, tetapi untuk mengetahui laju reaksi antara mineral yang terkandung dalam batubara dengan pelarut NaOH. Pada penelitian ini, semakin lama waktu kontak, semakin sedikit kadar abu yang terkandung dalam batubara (Gambar 4a). Hal ini menunjukkan bahwa reaksi tidak berjalan sangat cepat atau *instantaneous*. Persen demineralisasi yang diperoleh pada waktu kontak 5 menit adalah 18,42%, yang terus meningkat pada waktu kontak 15, 30, 45, dan 60 menit, yaitu masing-masing sebesar 31,81%, 38,49%, 56,16%, dan 73,47% (Gambar 4b).



(a)



(b)

Gambar 4.(a) Kadar abu batubara dan (b) Persen demineralisasi pada berbagai waktu kontak.



Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses *leaching* menggunakan pelarut alkali berupa NaOH dapat menurunkan kadar abu. Tingkat demineralisasi batubara tergantung pada peningkatan konsentrasi pelarut, suhu, dan waktu kontak selama proses *leaching*. Persen demineralisasi yang dapat dicapai selama proses *leaching* menggunakan NaOH adalah 50-74%. Konsentrasi pelarut akan sangat berpengaruh pada proses difusi selama *leaching* sedangkan suhu akan sangat berpengaruh terhadap reaksi kimia. Diharapkan dengan diketahuinya parameter optimum, dapat dilakukan studi lanjutan kinetika reaksi proses *leaching* untuk proses demineralisasi beserta tahanan yang paling mempengaruhi.

Daftar Pustaka

- Behera SK, Chakraborty S, Meikap BC. Chemical demineralization of high ash indian coal by using alkali and acid solutions. *Fuel* 2017a; 196: 102-109.
- Behera SK, Chakraborty S, Meikap BC. Demineralization mechanism and influence of parameters on high ash indian coal by chemical leaching of acid and alkali solution. *Int J Coal Sci Technol* 2018; 5: 142-155.
- Ciu L, Guo Y, Wang X, Du Z, Cheng F. Dissolution kinetics of aluminum and iron from coal mining waste by hydrochloric acid. *Chin J Chem Eng* 2015; 23(3): 590-596.
- Dash PS, Lingam RK, Kumar SS, Suresh A, Banerjee PK, Ganguly S. Effect of elevated temperature and pressure on the leaching characteristics of indian coals. *Fuel* 2015a; 140: 302-308.
- Dash PS, Sriramoju SK, Kargupta K, Banerjee PK, Ganguly S. Characterization of chemical beneficiated indian coals. *Int J Coal Prep Util* 2015b; 35(5): 257-272.
- Levenspiel. *Chemical reaction engineering* – 3rd edition. New York: John Wiley & Sons. 1999: 569-571.
- Gulen J, Doymaz I, Piskin S, Toprak S. Removal of mineral matter from silopi-harput asphaltite by various acid treatment. *Energy Source Part A Recov Util Environ Effects* 2005; 27(15): 1457-1464
- Ma X, Zhang M, Min F. Study of enhanced low-quality coal oxidative desulphurization and deashing by using HNO₃ and microwave pretreatment. *Environ Technol* 2014; 35: 36-41.
- Meshram P, Purohit BK, Sinha MK, Sahu SK, Pandey BD. Demineralization of low grade coal – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015; 41: 745-761.
- Mukherjee S, Borthakur PC. Chemical demineralization/desulphurization of high sulphur coal using sodium hydroxide and acid solutions. *Fuel* 2001; 80(14): 2037-2040.
- AOAA. The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI), 2022. <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html> (diakses 13 Mei 2023)
- Ryberg MW, Owsianiak M, Laurent A, Hauschild MZ. Power generation from chemically cleaned coals: do environmental benefits of firing cleaner coal outweigh environmental burden of cleaning?. *Energy Environ Sci* 2015; 8: 2435-2447.
- Salvatore V. Demineralization and desulfurization process to generate clean coal. *Chemical Engineering Transactions*; 21: 1489-1494.
- Sriramoju SK, Dash PS, Suresh A, Ray T. Integrated process for coal chemical demineralization and spent caustic regeneration - a pilot scale study. *Journal of Cleaner Production* 2021; 327: 1-12.
- Wagh AB, Bowling KM. Removal of mineral matter from bituminous coals by aqueous chemical leaching. *Fuel Process Technol* 1984; 9(3): 217
- Wu Z, and Steel KM. Demineralization of a UK bituminous coal using HF and ferric ions. *Fuel* 2007; 86: 2194-2200.

